



Optimización del proceso de impregnación de la madera de *Eucalyptus sp.* y *Pinus caribaea* var. *Caribaea*

Optimization of the impregnation process of *Eucalyptus sp.* and *Pinus caribaea* var. *caribaea*

Julio Rojas Cruz

Estudiante de Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río «Hermanos Saíz Montes de Oca», Pinar del Río, Cuba.
Correo electrónico: julio.rojas@estudiantes.upr.edu.cu

Recibido: 18 de julio 2018

Aprobado: 02 de mayo de 2019

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la Unidad Empresarial de Base Planta de Impregnación de Postes, perteneciente a la Empresa Agroforestal Macurije, Provincia Pinar del Río, Cuba, durante los meses de noviembre 2017 a marzo del 2018, con el objetivo de realizar una valoración económica del proceso de impregnación. Como metodología se utilizó un análisis económico de los costos en que incurre el proceso de impregnación de acuerdo con las especies de *Eucalyptus sp.* y *Pinus caribaea* var. *Caribaea*; además, se propuso un modelo de programación lineal para minimizar los mismos. Los principales resultados mostraron que la especie que mejor resultado aportó fue el *Eucalyptus sp.* La UEB gasta anualmente alrededor de 1 millón de cuc por concepto de preservante, solamente al utilizar el *Pinus caribaea* var. *caribaea* como especie principal para la producción de 30 000 Postes de Servicios Públicos, que es más factible la venta de

ABSTRACT

The present work was developed in the Base Business Unit of Impregnating Plant of Posts, belonging to the Macurije Agroforestry Company, Pinar del Río Province, Cuba, during the months of November 2017 to March 2018, with the objective of making an economic valuation of the impregnation process. The methodology used was an economic analysis of the costs incurred by the impregnation process according to the species of *Eucalyptus sp.* and *Pinus caribaea* var. *caribaea*, also proposed a linear programming model to minimize them. The main results showed that the species with the best results was *Eucalyptus sp.* The UEB spends around 1 million cuc annually for the preservative concept, only when using the *Pinus caribaea* var. *caribaea* as the main species for the production of 30,000 Public Utilities Posts, being more feasible the sale of this species as sawn wood, obtaining gains of 2% over current ones. The optimal solution of the model

esta especie como madera aserrada, obteniendo ganancias del 2% por encima de las actuales. La solución óptima del modelo arrojó que en la UEB es más factible solo se debería producir Postes de Servicios Públicos de *Eucalyptus*, lo que significaría un ahorro superior al 50 % de los costos actuales del proceso de Impregnación y se pudiera duplicar la producción actual, si se contara con suficiente materia prima. La utilización del *Eucalyptus* permitirá la producción de postes de más de 12 m., los cuales actualmente son importados por parte de la Unión Eléctrica Nacional.

Palabras clave: Análisis económico; *Eucalyptus*; Impregnación de Postes; *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

showed that in the UEB it is more feasible only public utility poles of *Eucalyptus* sp should be produced, which would mean a saving of more than 50% of the current costs of the impregnation process, being able to double the current production if It will have enough raw material. The use of *Eucalyptus* sp will allow the production of posts of more than 12 m, which are currently imported by the National Electric Union.

Keywords: Economic analysis; *Eucalyptus* sp.; Pole impregnation; *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

INTRODUCCIÓN

La falta de conocimientos adecuados acerca de la preservación de la madera entre los productores y consumidores, que utilizan este material, han tenido como consecuencia la pérdida de grandes cantidades de maderas, que por naturaleza no son resistentes al ataque de los agentes biológicos destructores de ellas, lo que sustenta la razón de la impregnación de la madera antes de ser utilizada en procesos de transformación Salas,(2005).

La importancia de los Postes de Servicios Públicos (PSP) es relevante solo por el hecho de que el 100 % de los ciudadanos del país, directa o indirectamente, reciben el servicio de los mismos, pues son los transmisores de luz y energía para el hogar, iluminación pública y para la seguridad, los centros de salud, de recreación, culturales, para todo género de industria, para la defensa y aún, en gran medida, para las comunicaciones.

En Cuba, en el trayecto entre Mantua y Ciego de Ávila, el 55 % de los postes son de hormigón; esta cifra, entre Ciego y

Guisa, aumenta al 65 %, según conteo realizado por el autor por carreteras y, en algunas ciudades, esta diferencia del 10 % pudiera estar dada por el hecho de que la única planta de impregnación de madera está bien al extremo occidental del país, donde se concentran las plantas que producen postes de hormigón en el centro y oriente, situación que debe revertirse para bien de la economía nacional, con la instalación, de al menos, una planta de impregnación de maderas en el centro y otra en oriente.

En Cuba, durante más de 40 años se utilizó el poste de eucalipto y no de pino; en Brasil, a pesar de tener grandes extensiones de pino, se impregnan e instalan cada año cerca de 300 mil de eucalipto y tienen instalados más de 8 millones; Argentina y Uruguay priorizan igualmente la producción de postes de eucalipto; Suráfrica prohíbe utilizar pino y obliga utilizar eucalipto mediante legislación. Es decir, en los países que existen condiciones edafoclimáticas propicias para el eucalipto, está altamente priorizado su uso como PSP por razones netamente económicas y técnicas, además, pudiera agregársele ecológicas. En la década del 2010, se

importaron por decenas de miles PSP de pino, procedentes de EEUU. Canadá y Chile, de eucaliptos importaron Etecsa de Argentina.

Una de las aplicaciones de este estudio es entregar antecedentes necesarios que permitan, tanto a productores como consumidores, utilizar este material con mejores perspectivas de ingreso. Por lo que el objetivo del mismo es: optimizar el proceso de impregnación de PSP en la Unidad Empresarial de Base de la Planta de Impregnación de Postes perteneciente a la EAF Macurije.

Localización de la Empresa Agroforestal Macurije

La presente investigación se realizó en la Unidad Empresarial de Base de la Planta de Impregnación de Postes (Figura 1), perteneciente a la Empresa Agroforestal Macurije, localizada en la región más occidental de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Geográficamente, limita al norte (N) con el litoral costero; al nordeste (NE), con el Municipio Minas de Matahambres, específicamente con el Consejo Popular Santa Lucía (EAF Minas de Matahambres); al este (E), con el municipio San Juan y Martínez (EAF Pinar del Río); al sur (S), con el municipio Sandino (EAF Guanahacabibes) y al sudeste (SE), con el litoral del Golfo de México.

MATERIALES Y MÉTODOS



Fig. 1- Localización geográfica de la Unidad Empresarial de Base de la Planta de Impregnación de Postes.

Diagnóstico de los factores que afectan el rendimiento del proceso de impregnación en la UEB Planta de Impregnación, perteneciente a la Empresa Agroforestal Macurije

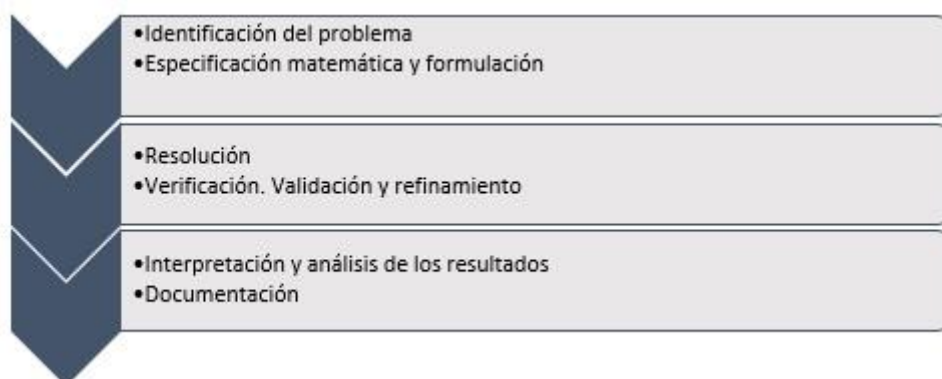
En la realización del diagnóstico, se tuvo en cuenta, de forma general, los factores internos y externos que pueden incidir en el normal desarrollo, dentro del proceso productivo de la planta. El mismo se desarrolló a través de entrevistas, recorridos, revisión de base de datos y, sobre todo, con el criterio de los productores con mayor experiencia y conocimiento en la entidad.

El diagnóstico permite caracterizar el sistema de gestión del proceso de impregnación de la plana y para ello se utilizarán los criterios que permiten evaluar los principales elementos que inciden negativamente en el mismo, teniendo en cuenta lo planteado en la NRAG: 2009 correspondiente a la preservación de madera. Postes de servicio público, preservados.

Planteamiento del modelo de programación lineal

Para el planteamiento del modelo de programación, se siguieron las etapas de planteamiento utilizadas por Linares et

al.(2001); Felipe *et al.*(2001); Garófalo (2003) y Vera (2008). Esos pasos representan las siguientes etapas:



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existencia de materia prima de *Eucalyptus sp.* con posibilidades de utilizarse para la producción de postes.

Desde el año 2000 hasta el presente, se han plantado en la Empresa Forestal Integral Macurije 1633.9 has. de *Eucalyptus sp.*, con diferentes objetivos de plantación; de ellas, para cujes 1151.0 has., corresponden al municipio de Mantua 108.8 ha.; para la producción de postes de servicio público 482.9 ha.; de estas, le pertenecen al propio municipio 200.0 ha. (Pérez, 2012).

Análisis económico del proceso de impregnación

Análisis del plan de producción

Según el plan de producción de la UEB Planta de Impregnación, anualmente se producen unos 30 000 postes; 21 000 postes para la Unión Nacional Eléctrica y 9 000 a la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (Etecsa). La planta tiene la capacidad de producir siete clases de postes de trece dimensiones diferentes (anexo 1); pero producto de la demanda actual solo se producen postes de dos clases fundamentales IV y V; de la primera, se producen PSP de 9,2; 10,7 y 12,2 m; mientras de la clase V las dimensiones utilizadas son solamente las 7,5 y 9,2 m., esta última es la más demandada con un 52% del total de postes producidos por la entidad (figura 2)

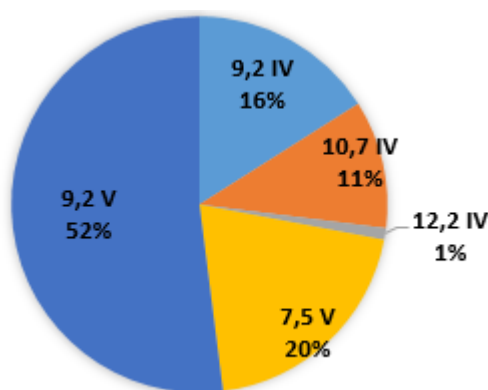


Fig. 2- Porcentaje de producción de Postes del Servicio Público por clase y dimensiones

Balance económico de la producción de PSP de *Pinus caribaea* var. *caribaea* Morelet

Actualmente, el 90% de la producción de la planta es solamente de PSP de *Pinus caribaea* var. *caribaea* Morelet., con un consumo de 210 t. de preservante, lo que

representa el 93 % del total con el que se cuenta anualmente. Este alto consumo viene dado por el hecho de que el 80 % de la madera de esta especie es impregnable, mientras que de la especie de *Eucalyptus* solo el 50 %, lo que significa un ahorro considerable de preservante.

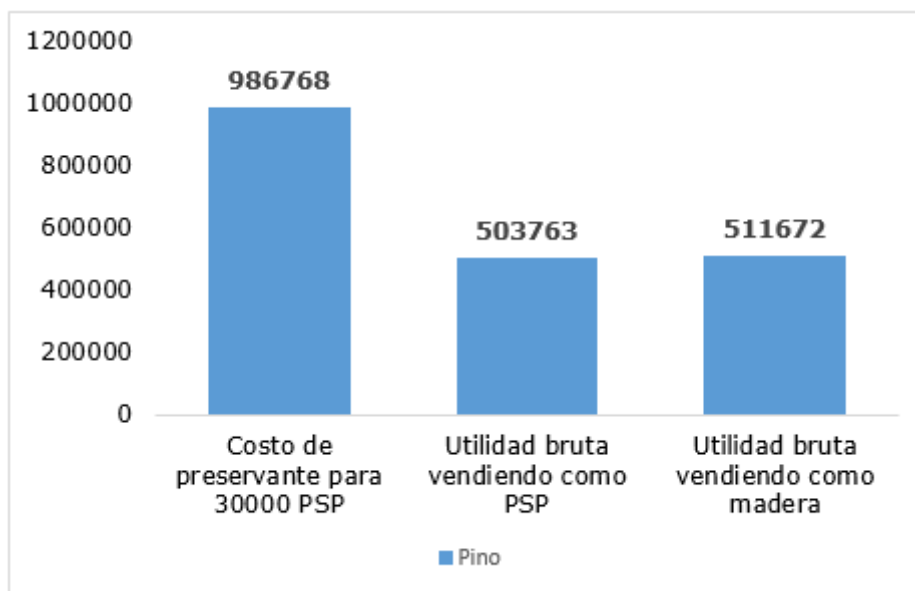


Fig. 3- Balance económico de PSP de Pinus

La figura 3 muestra los costos que representaría elaborar los 30 000 PSP de *Pinus*, teniendo un costo de 986 768 cuc por concepto de preservante solamente, con una utilidad bruta de 503 763 cuc; y si se convirtieran los PSP, en su totalidad, en madera aserrada, es decir, 7 281 m³ y fuera vendido como tal, obtendríamos una utilidad bruta de 511 672 cuc, lo que aumentaría nuestra ganancia en un 1,6 %.

Importaciones

De acuerdo con Pérez (2012), la demanda actual de postes satisface las necesidades de ETECSA no así el caso de

la UNE, la cual importa anualmente alrededor de 6 396 postes, especialmente de dimensiones superiores a los 10 m. (Tabla 1) ya que las especies de *Pinus* no cumplen con el diámetro mínimo de rabiza para postes de clase IV y V, mayores de 10 m. de longitud (anexo 2). Esto concuerda con lo planteado por especialistas de la UNE provincial, que alegan el uso de importaciones a la inexistencia de postes de más de 35 pie, por parte de la Planta de Impregnación, lo cual se pudiera subsanar con la impregnación de PSP de *Eucalyptus* los cuales, con un correcto manejo silvicultural, cumplirían con las medidas establecidas en la NRAG (2009).

Tabla1- Importaciones de Postes del Servicio Público

Dimensiones (m)	Cantidad	Procedencia	Especie
10.7	5000	Canadá	Pino
16.7	800	Canadá	Pino
18.2	120	Canadá	Pino
19.7	60	Canadá	Pino
9.0	416	Canadá	Pino
Total	6396		

Solución del Modelo Matemático de Programación Lineal

Resolución e interpretación del modelo de programación lineal obtenido

I. Planteamiento del PL

Tabla 2- Planteamiento del PL

Variable >	X1	X2	X3	X4	Direction	R.H.S
Minimize	1298.8	5102.2	713.2	2855.5		
h-m	2	3.3	2	3.3	<=	2000
Kg	291.2	457.6	159.9	256.1	<=	229616
PIV	1	1			>=	128
PV			1	1	>=	334
PM	1	1	1	1	>=	600
Lower Bound	0	0	0	0		
Upper Bound	M	M	M	M		
Variable Type	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

II. Reporte combinado y tabla simple final

Tabla 3- Reporte combinado

Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c[i]	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c[i]	Allowable Max. c[i]
X1	128,0000	1298,8000	166246,4000	0	basic	713,2000	5102,2000
X2	0	5102,2000	0	3803,4000	at bound	1298,8	M
X3	472,0000	713,2000	336630,4000	0	basic	0	1298,8000
X4	0	2855,5000	0	2142,3000	at bound	713,2000	M
Objective	Function	(Min)=	502876,8000				
Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
h-m	1200,0000	<=	2000,0000	800,0000	0	1200,0000	M
Kg	112746,4000	<=	229616,0000	116869,6000	0	112746,4000	M
PIV	128,0000	>=	128,0000	0	585,6000	0	266,0000
PV	472,0000	>=	334,0000	138,0000	0	-M	472,0000
PM	600,0000	>=	600,0000	0	713,2000	462,0000	1000,0000

Tabla 4- Tabla simple final

		X1	X2	X3	X4	Slack_h-m	Slack_Kg	Surplus_PIV	Surplus_PV	Surplus_PM	Artificial_PIV	Artificial_PV	Artificial_PM	
Basis	C(i)	1298,80	5102,20	713,20	2855,50	0	0	0	0	0	0	0	0	R.H.S
Slack_h-m	0	0	1,30	0	1,30	1,00	0	0	0	2,00	0	0	-2,00	800,00
Slack_Kg	0	0	166,40	0	96,20	0	1,00	131,30	0	159,90	-131,30	0	-159,90	116869,60
X1	1298,80	1,00	1,00	0	0	0	0	-1,00	0	0	1,00	0	0	128,00
X3	713,20	0	0	1,00	1,00	0	0	1,00	0	-1,00	-1,00	0	1,00	472,00
Surplus_PV	0	0	0	0	0	0	0	1,00	1,00	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	138,00
	C(i)-Z(i)	0	3803,40	0	2142,31	0	0	585,60	0	713,20	-585,60	0	-713,20	502876,80
	*Big M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	0

La solución muestra (tabla 3 y 4) que deben producirse PSP solo de *Eucalyptus*, tanto de clase IV como V, lo que ahorraría 502876,8 cuc anualmente, con la utilización solamente de 1200 h-m y 112746.4 kg. de preservante, lo que permitiría la utilización de estos recursos para elevar la producción de PSP hasta 138 impregnaciones más de clase V, lo que equivale a 8690 postes por encima del plan previsto por la UEB o utilizar estos recursos en diversificar la producción de dicha unidad y no solo en la elaboración de PSP.

Análisis óptimo y sensibilidad del modelo corrido

En el modelo cuantitativo obtenido, los distintos coeficientes pueden estar sujetos a cambios post-óptimo. La solución óptima es obtenida y analicemos la posibilidad de obtención de una nueva solución óptima cuando hayan cambiado, por ejemplo, las disponibilidades de los recursos (h-m, Kg de preservante y demanda), cambio en los coeficientes tecnológicos (ai, j), incorporación de una nueva variable (Nuevo producto Xj) y adición de una nueva restricción. Es necesario para el tomador de decisiones

conocer en qué rango se pueden mover los distintos coeficientes mencionados, manteniéndose la presente solución óptima. Los coeficientes y rangos necesarios para el análisis post-óptimo

se encuentran en la tabla simplex final (tabla 3).

Utilidad bruta de la producción de PSP de *Eucalyptus* y *Pinus*

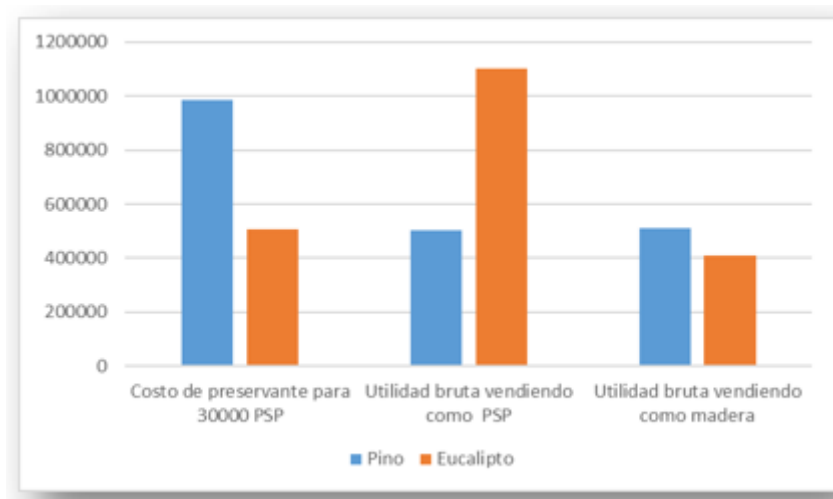


Fig. 4- Comparación entre PSP de *Eucalyptus* y *Pinus*

De centralizarse la producción de PSP, utilizando *Eucalyptus*, la UEB ahorraría 478856 cuc por concepto de preservante, lo que representa el 51 % de los costos actuales y una utilidad bruta de 1102559 cuc, equivalente a un 200 % por encima de la ganancia que se obtendría, si la producción se realizara PSP de *Pinus* (figura 4)

producción actual si se contara con suficiente materia prima.

La utilización del *Eucalyptus* permitirá la producción de postes de más de 12 m., los cuales actualmente son importados por parte de la Unión Eléctrica Nacional.

CONCLUSIONES

La UEB gasta anualmente alrededor de 1 millón de cuc por concepto de preservante, solamente al utilizar el *Pinus caribaea var caribaea* como especie principal para la producción de 30 000 PSP, lo que es más factible la venta de esta especie como madera aserrada, obteniendo ganancias del 2% por encima de las actuales.

El modelo arrojó que, si se desea una factibilidad óptima en la UEB, solo se deben producir PSP de *Eucalyptus*, lo que significaría un ahorro superior al 50 % de los costos actuales del proceso de Impregnación, pudiéndose duplicar la

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FELIPE P., RODRÍGUEZ B., RUIZ N., GONZÁLEZ L., MORALES A., ÁLVAREZ P. 2001. *Programación matemática I*, Editorial Félix Varela.
- GARÓFALO, M. 2003. *Tratamiento multicriterio en la planificación operativa del proceso de aserrado de la madera*.
- LINARES, P.; RAMOS, A.; SÁNCHEZ, P.; SARABIA, A.; VITORIANO, B. 2001. *Modelos matemáticos de optimización*. Madrid, España.

SALAS, V.N., 2005. *Impregnabilidad de la madera de Eucalyptusnitens*. S.l.: Universidad Austral de Chile.

PÉREZ, S., 2012. *Propuesta de la utilización de los postes de servicio público de Eucalyptussp como*

alternativa para una mayor efectividad económica en la EFI Macurije. S.l.: s.n.

VERA, O. 2008. *Elaboración de un Modelo Matemático de Programación Lineal para la optimización de la maquinaria agrícola en la Empresa Tabacalera San Luís*. Cuba

Copyright (c) Julio Rojas Cruz



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional