

Modelo para la gestión estratégica de la producción de carbón vegetal en la EFI Pinar del Río a través de programación lineal

Model for a strategic management for production of charcoal in the Pinar del Rio's Integral Forest Company by linear programming

Autor: Van Anh Nguyen Thi. Ing.Forestal. Email:vananh@ext.upr.edu.cu

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo elaborar un modelo para la gestión estratégica de la producción de carbón vegetal en la EFI Pinar del Río mediante la programación lineal y el sistema informático Win QSV, con vistas a maximizar las utilidades y propiciar la gestión del proceso de producción de carbón vegetal. Para ello se tomó información primaria sobre el plan de producción de carbón vegetal de la empresa en el año 2013 para el mercado nacional e internacional. Los resultados indican que el modelo matemático-económico resulta una herramienta efectiva para la planificación de la producción de carbón vegetal en la empresa, permitiendo la proyección del potencial de producción de carbón vegetal para lograr una ganancia máxima, a partir del volumen óptimo de producción destinado para los dos mercados. Se proponen un conjunto de acciones que permitirán a largo plazo optimizar el proceso de producción sostenible de carbón vegetal.

Palabras clave: programación lineal, optimización, carbón vegetal

ABSTRACT

This aim of the study was to develop a model for the strategic management of the production of charcoal in the Pinar del Rio's integral forestry company by linear programming and software Win QSV in order to maximize profits and promote the management of the production process charcoal. It was taken primary information on charcoal production of this company in 2013 for domestic and international

markets. The results indicate that the mathematical-economic model is an effective tool for planning the production of charcoal in the company, allowing the projection of the potential of charcoal production to achieve maximum profit from optimal output volume aimed for the two markets. It's proposed a group of actions that will optimize long-term sustainable production process of charcoal.

Keywords: linear programming, optimization, charcoal

INTRODUCCIÓN

La conciencia cada vez más generalizada de la importancia de los recursos forestales y la necesidad de su gestión ha de efectuarse de acuerdo a los principios de sostenibilidad, lo cual ha supuesto el inicio de múltiples acciones encaminadas a lograr estos objetivos (García, 2004).

El grado de responsabilidad de la empresa forestal con la sociedad y el medio ambiente, así como el nivel de aplicación de los estándares que conlleva una gestión sostenible de los recursos que maneja está influenciado por las posiciones de los diferentes grupos de interés frente a la producción (Fernández, 2012). En este contexto, la sostenibilidad del proceso de producción forestal tiene gran importancia, pues favorece la conservación del equilibrio de los ecosistemas, obteniendo a la vez aumentos considerables. Los métodos matemáticos, son considerados herramientas importantes para lograr la producción sostenible, garantizando no solo una mejora en la ganancia de producción, sino también una disminución de los impactos negativos provocados al medio.

En países que mantienen un alto desarrollo en la producción forestal, son muchas las experiencias existentes en este campo. La técnica más usada ha sido la programación matemática y dentro de los modelos de optimización, los de programación lineal (León, 1999).

La actividad forestal, como otras ramas de la economía, ha tenido un desarrollo vertiginoso unido al importante papel y los impactos ambientales que se derivan del mismo, lo que ha promovido un incremento considerable en el número de variables que intervienen en el proceso así como en sus magnitudes. Todo esto ha traído

consigo que las decisiones empíricas se alejen cada vez más de la eficiencia (Sampson *et al.*, 1970).

Garófalo (2003), señala que la utilización de la programación lineal se ha visto, como una necesidad dentro del sector forestal y que en el mundo de hoy de seguir tomando decisiones sin considerar los factores más influyentes en este sistema, tanto en la actividad de silvicultura, aprovechamiento, ordenación y protección se derivan errores que ponen en riesgo la calidad de estos procesos.

Los esfuerzos iniciales de utilizar la programación lineal para la planificación detallada no fueron exitosos por sus propias limitaciones, aunque sentó las bases para reconocer el concepto de integridad espacial en la planificación del manejo forestal (León, 1997). En este contexto, aún son muchos los campos dentro de este sector en el que sus potencialidades siguen vigente, ejemplo de ello es el uso en las industrias carboneras.

En la Empresa Forestal Integral (EFI) Pinar del Río, el carbón vegetal resulta uno de los rubros económicos principales, de gran importancia tanto para el mercado nacional e internacional por la alta demanda del mismo. Sin embargo, en los últimos años sus producciones han disminuido progresivamente resultando insuficiente para satisfacer las demandas actuales. Paralelamente, se presentan situaciones organizativas y de planificación, además de limitaciones con los envases que ponen en riesgo los rendimientos del carbón vegetal producto a la desintegración de volúmenes considerables. Estos elementos permitieron identificar como problema de investigación: La producción de carbón vegetal no se sustenta en mecanismos de gestión que permita la sostenibilidad. Para ello se trazó como objetivo elaborar modelo para la gestión estratégica de la producción de carbón vegetal mediante la programación lineal.

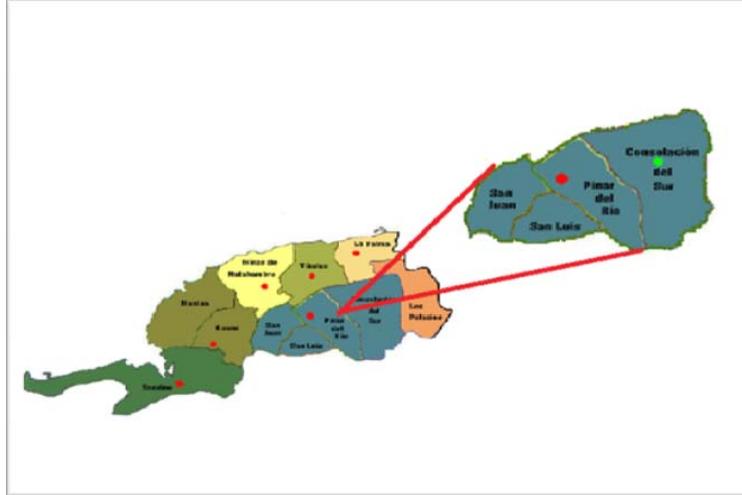
MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica del área de estudio.

Este trabajo se realizó en la EFI Pinar del Río, ubicada en la parte centro y sur de la provincia del mismo nombre, la cual abarca patrimonio que corresponde a los municipios San Juan y Martínez, San Luís, Pinar del Río y Consolación del Sur, limitando geográficamente al norte con los municipios Minas de Matahambre y

Viñales; al sur con el Mar Caribe; al este con el municipio Los Palacios y al oeste con el municipio Guane (Figura 1).

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.



Caracterización de la EFI Pinar del Río.

La EFI Pinar del Río cuenta con una superficie total de 42 244.0 ha, el área forestal está representada por 38 504,4 ha y el área boscosa por 29 540,9 ha, con un índice de boscosidad de 11,6 %. Está dividida en tres Unidades Silvícolas: San Juan y Martínez, Pinar del Río y Consolación del Sur, resultando la primera de ellas la de mayor extensión con un patrimonio forestal que representa el 44,8 % de la superficie total de la empresa (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de la superficie forestal (ha) por Unidades Silvícolas.

Unidad Silvícola	Superficie forestal por municipios (ha)				Superficie total (ha)
	San Juan	San Luís	P. Río	C. del Sur	
<i>EFI</i>	18946,0	6245,4	6765,5	10287,1	42244,0
Consolación del Sur				10287,1	10287,1
Pinar del Río		6245,4	6765,5		13010,9
San Juan y Martínez	18946,0				18946,0

Fuente: Proyecto de Ordenación Forestal EFI Pinar del Río (Guelmez y Acosta, 2007)

La producción forestal en la EFI Pinar del Río está caracterizada por una gama de productos, dentro de los que se destacan:

- Leña para combustible y otros usos.
- Carbón vegetal para la población y otros usos.
- Madera rolliza para las construcciones rurales.
- Cujes para el secado de tabaco.
- Madera aserrada para diferentes usos.
- Resina de pino.
- Semilla de diferentes especies maderables y frutales.
- Producción de posturas de distintas especies forestales y frutales.
- Producciones de carpintería.

El carbón vegetal se ha convertido en los últimos tiempos en uno de los principales rubros de la entidad, sin embargo la empresa aunque cuenta con bosques energéticos, éstos no tienen la finalidad de producción de carbón vegetal (Guelmez y Acosta, 2007).

Metodología utilizada para construir el modelo matemático

Para la elaboración del modelo se tomó información primaria del plan de producción de carbón vegetal del año 2013 de la EFI Pinar del Río tanto del mercado nacional e internacional. Para ello se aplicó la metodología establecida por Pilar (1982), a partir de la cual se realizó una descripción del problema a modelar. Se identificaron los elementos que constituyen variables, parámetros e índices según los pasos siguientes:

Paso 1: Los supuestos del modelo

Se poseyó dos supuestos fundamentales la proporcionalidad y la aditividad al modelo de programación lineal.

Paso 2: Definición de las variables de decisión

Se identificaron las variables de decisión con cada una de las actividades que deben realizarse en el proceso de producción de carbón vegetal.

Se definieron las variables de forma conceptual, dimensional y temporal teniendo en cuenta la no negatividad de las mismas.

Paso 3: Definición de la función objetivo

Se elaboró la función objetivo como una función lineal, la cual contenía todas las variables de decisión. El objetivo global de la función fue maximizar la producción de carbón vegetal.

Paso 4: Construcción del sistema de restricciones

Se construyó el sistema de restricciones teniendo cuenta la necesidad objetiva de considerar las existentes limitaciones cuantitativas de los recursos disponibles, la demanda de producción y los insumos por unidad de producto.

Paso 5: Generación de una solución

Para el desarrollo de este paso se obtuvo la solución del modelo matemático y se realizó un análisis post óptimo de la solución a través del uso del software profesional Win QSB ver.01.

RESULTADOS

Modelo matemático-económico para la optimización y gestión de la producción de carbón vegetal

A continuación se muestra la definición de las variables empleadas para el modelo:

- X_1 : volumen de producción de carbón vegetal (sacos) destinado para el mercado nacional
- X_2 : volumen de producción de carbón vegetal (sacos) destinado para el mercado internacional

Condición de no negatividad: $X_i \geq 0$ ($i = 1, 2$)

Se estableció la función objetivo basado en los precios y costos de producción de cada tipo de carbón vegetal:

$$\text{Max} = (18 - 15,25)X_1 + (115 - 50) X_2$$

Restricciones:

- Disponibilidad de leña en m³ para producir carbón vegetal
 - o $0,71 X_1 + X_2 \leq 26574 \text{ m}^3$ (1)
- Plan de producción de carbón vegetal en el año 2013 (sacos) de la EFI Pinar del Río
 - o $X_1 + X_2 \leq 34000 \text{ sacos}$ (2)
- Plan de producción de carbón vegetal para el mercado nacional en el año 2013 (sacos) de la EFI Pinar del Río
 - o $X_1 \geq 13584 \text{ sacos}$ (3)
- Punto equilibrio de la producción de la EFI pinar del Río
 - o $X_1 + X_2 \geq 9000 \text{ sacos}$ (4)

En la Tabla 2, se muestran los resultados del modelo económico- matemático, permitiendo la proyección del potencial de producción de carbón vegetal para lograr una ganancia máxima, a partir del volumen óptimo de producción destinado para los dos mercados resultando una ganancia máxima aproximada de 1 138 mil pesos si se producen 13 584 sacos de carbón para el mercado nacional y 16 929 sacos para mercado internacional considerando el uso de la totalidad de leña disponible.

En cuanto a las otras restricciones relacionadas con el plan de producción de la empresa resulta que solo se puede lograr la óptima solución cuando el plan establecido tenga un valor mínimo de 30 513 sacos. El plan de producción para el mercado nacional no debe sobrepasar un volumen de 25 607 sacos para garantizar la optimalidad del modelo.

El reporte combinado que se obtuvo a partir de la solución del modelo también permite realizar un análisis post-óptimo cuando se hacen cambios en las alternativas relacionadas con los costos, precios, plan de producción y la

disponibilidad de leña. El coeficiente económico del modelo indica la diferencia entre precio y costo, demostrando que esta puede aumentar hasta 46,15 pesos/saco para el mercado nacional, y disminuir hasta 3,87 pesos/saco para el mercado internacional sin afectar a la solución óptima. Además demuestra que no se pierde la optimalidad de la solución si la disponibilidad de leña se encuentra en el rango de 9 645 hasta 30 060 m³.

Tabla 2. Resultados del modelo matemático- económico a través del programa WinQSB.v

	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	13.584,0000	2,7500	37.356,0000	0	basic	-M	46,1500
2	X2	16.929,3600	65,0000	1.100.408,0000	0	basic	3,8732	M
	Objective	Function	(Max.) =	1.137.764,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	26.574,0000	<=	26.574,0000	0	65,0000	9.644,6410	30.060,6400
2	C2	30.513,3600	<=	34.000,0000	3.486,6400	0	30.513,3600	M
3	C3	13.584,0000	>=	13.584,0000	0	-43,4000	0	25.606,8900
4	C4	30.513,3600	>=	9.000,0000	21.513,3600	0	-M	30.513,3600

Fuente: Elaboración propia.

La tabla simple final (Tabla 3), muestra el efecto que causa los cambios en las alternativas establecidas en la solución óptima básica y en la ganancia, los cuales pueden ser favorables según las necesidades de la empresa. Se demostró que por cada m³ de leña que se aumente se obtendrán 65 pesos de ganancia; para ello se debe producir 1 saco de carbón destinado al mercado internacional, y eliminar 1 saco destinado al mercado nacional. Al considerar que la disminución de la demanda nacional es favorable para la solución general, los resultados indican que por cada saco de carbón vegetal menos en el mercado nacional se puede producir 0,71 sacos de carbón para el mercado internacional y obtener una ganancia de 43,4 pesos.

Tabla 3. Resultados de la tabla simple final del modelo obtenido a través del programa WinQSB.

Basis	C(j)	X1	X2	Slack_C1	Slack_C2	Surplus_C3	Surplus_C4	Artificial_C3	Artificial_C4	R. H. S.	Ratio
X2	65,00	0	1,00	1,00	0	0,71	0	-0,71	0	16.929,36	
Slack_C2	0	0	0	-1,00	1,00	0,29	0	-0,29	0	3.486,64	
Surplus_C4	0	0	0	1,00	0	-0,29	1,00	0,29	-1,00	21.513,36	
X1	2,75	1,00	0	0	0	-1,00	0	1,00	0	13.584,00	
	C(j)-Z(j)	0	0	-65,00	0	-43,40	0	43,40	0	1.137.764,38	
	* Big M	0	0	0	0	0	0	-1,00	-1,00	0	

Fuente: Elaboración propia.

Propuesta de modelo para la gestión estratégica de la producción sostenible de carbón vegetal

La propuesta de modelo para la gestión estratégica de la producción sostenible de carbón vegetal en las condiciones de la EFI Pinar del Río, se sustentó en los resultados el modelo matemático-económico, como herramienta que aportó las bases para la planificación de la producción de carbón vegetal, considerando a la vez el reordenamiento de la política energética del país y la situación con los suministros de combustibles para la cocción de alimentos, sobre todo en zonas rurales, el impacto ambiental de la utilización irracional, así como la demanda para mercado nacional e internacional. Para lo cual se define un conjunto de acciones que permitirán optimizar la producción de carbón vegetal, siendo necesario disponer de recursos materiales, tecnologías, elementos organizativos y de planificación. Estas acciones se proponen a largo plazo, bajo la dirección y control del subdirector de producción de la EFI Pinar del Río, jefe de comercialización, director de la empresa y los representantes del Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña:

- Desarrollo de un Taller nacional de intercambio para la implementación de un sistema dendroenergético optimizado que permita el aprovechamiento racional, eficiente y sostenible del potencial energético de la empresa.
- Empleo de tecnologías de extracción de impacto reducido y el enfoque de buenas prácticas para el aprovechamiento, tomando como núcleo central alternativas para utilizar los residuos derivados de la producción carbón vegetal.

- La adopción de un escenario alternativo que implique el establecimiento de plantaciones energéticas.
- La definición de los criterios e indicadores para el manejo sostenible de los bosques como base para incursionar en el proceso de certificación, acentuado aún más por la demanda del producto en el mercado internacional.
- Lograr mayor autonomía para la gestión eficiente de la producción de la empresa.
- Eliminar paulatinamente los intermediarios entre las entidades productoras de los envases y las empresas productoras de carbón vegetal.
- Desarrollar programas de capacitación sobre el proceso de gestión de marketing forestal.
- Compatibilizar los intereses económicos de los empresarios con la responsabilidad social.
- Perfeccionar el proceso de toma de decisiones sobre la cadena productiva y el mercado del producto.

DISCUSIÓN

La producción de carbón vegetal, se caracteriza al igual que otras producciones, por tener una serie de decisiones interdependientes que difieren tanto en el nivel donde se deciden como en la importancia y plazo en el que deben definirse. No obstante, para cualquier nivel de decisión el uso de modelos en la gestión de la producción ha facilitado los procesos de toma de decisiones, mejorando la eficiencia tanto productiva como económica de las empresas forestales, generando a la vez una disminución de los costos involucrados en las operaciones forestales. Su éxito se debe a la adaptabilidad de los modelos de optimización a un amplio rango de problemas que varían con el tipo de empresa, con el entorno ecológico (plantaciones o bosque nativo) y con el enfoque de interés (estratégico, táctico u operativo) (Garófalo, 2003).

En este sentido el modelo económico matemático resultó con un margen de ganancia a partir del potencial productivo de leña, lo cual se traduce en máximos

niveles de eficiencia económica. La eficiencia económica refleja los resultados finales de la producción en la entidad, lo cual expresa el efecto resultante de la utilización de los bienes de capital en su conjunto a los diferentes niveles, o sea, es la obtención del máximo de producción por unidad de superficie o con el mínimo de gasto (Recompenza y Angarica, 2010).

Mc Killopet *al.* (1967), demostraron que la programación lineal puede ser utilizada para solucionar el problema de la confección del plan de producción y los niveles de inventario.

Según Girard (2002), la producción sostenible y el uso de carbón vegetal mediante la gestión y planificación adecuada de las fuentes de suministro, junto con infraestructuras comerciales racionales y un uso eficiente, pueden tener también un notable efecto positivo al ayudar a conservar los recursos, reducir la migración desde zonas rurales o forestales y elevar los ingresos de la población.

La solución obtenida a partir de la modelación matemática permitirá la puesta en práctica dependiendo de la adaptación de los miembros de la empresa y decisores de la actividad de producción de carbón vegetal, evidenciándose dificultades en la planificación de los indicadores económicos y productivos, resultando el modelo matemático-económico una herramienta que contribuirá significativamente a asentar las bases teóricas para la planificación eficiente de la producción de carbón vegetal.

CONCLUSIONES

- El modelo matemático-económico resultó una herramienta efectiva para la planificación de la producción de carbón vegetal en la EFI Pinar del Río.
- Se definen un conjunto de acciones a largo plazo como parte del modelo para la gestión estratégica de la producción sostenible de carbón vegetal el cual permitirá optimizar el proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERNÁNDEZ, A. I. *Impactos de la producción clandestina de carbón vegetal sobre los patrones espaciales de degradación forestal en la cuenca de Cuitzeo,*

Michoacán. México: Universidad nacional autónoma de México, 2012. Disponible en: <http://redd.ciga.unam.mx/files/FernandezAna.pdf>.

- GARCÍA, Q. Y. *Gestión de marketing para los productos forestales: una herramienta eficaz para el tejido empresarial cubano*. La Habana, Cuba: Memorias del Congreso Forestal de Cuba, 2004.
- GARÓFALO, M. C. *Tratamiento multicriterio en la planificación operativa del proceso de aserrado de la madera*. Tesis de maestría inédita, Universidad de Pinar del Río, 2003.
- GIRARD, P. (). Dendroenergía- Producción y uso del carbón vegetal en África. *Unasylva*, 2002, **211**.
- GUELMEZ, J. L. Y ACOSTA, E.P. *El proyecto de organización y desarrollo de la economía forestal para el periodo 2008-2017 de la EFI Pinar del Río*, 2007.
- KILLOP, MC. Y HOVER-NIELSEN, S. Plannig sawmill production and inventories using Linear Programming. *Forest Products Journal*, 1967.
- LEÓN, M. A. *Contribución de la Investigación de Operaciones a la planificación del desarrollo forestal sostenible*. Ensayo para mínimo de problemas sociales de la ciencia. Universidad de Pinar del Río. Cuba, 1997.
- LEÓN, M. A. *Tratamiento Económico – Matemático en el perfeccionamiento de la ordenación de plantaciones puras*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Pinar del Río. Cuba, 1999.
- PILAR, F. Programación matemático I. La Habana: Editorial Félix Varela, 1982.
- Recompenza, C. y Angarica, L. *Introducción a la economía agrícola*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 2010.
- Sampson, G. y Fasick, C. *Operations Research Application in Lumber Production FPES Southeast Section meeting*. St. Peterburg, 1970.

Aceptado: 22/06/2013