



Cultivation shifts in forest plantations of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, in Uruapan, Tabasco

Turnos forestales en plantaciones maderables de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, en Balancán, Tabasco

Elizabeth Trujillo-Ubaldo¹, Plácido Salomón Álvarez-López^{2*}, Víctor Rafael Valdovinos Chávez³, Gaudencio Benítez Molina⁴ y Luz Orieta Rodríguez González²

Abstract:

Commercial timber plantations in Mexico have become an opportunity for increasing the production and productivity of the subsector, as well as for reducing the pressure on the natural forest areas and increasing the income of rural families. The objective of this research was to analyze the relationship and behavior between three different types of shifts: 1) Technical: Maximum Average Production (MAP) and Maximum Total Production (MTP); 2) Economic: Hotelling and Faustmann; and 3) economic-environmental: Hartman— in plantations of *Eucalyptus grandis* in the municipality of Balancán, Tabasco, Mexico, and to provide elements that may contribute to decision-making in the forestry companies. Data from three inventories provided by the company *Productora de Plantaciones del Sureste* were used. The type of average interest rates of the certificates of the Treasury of the Federation (CETES) (8 %), an average price of \$107.00 tCO₂e⁻¹ (tab average used by the European Climate Exchange Carbon from 2010 to 2014), a cost of establishment of the planting of \$38 000 ha⁻¹, a price of roundwood of \$650.00 m⁻³, and a cost of \$2 000.00 ha⁻¹ yr⁻¹ were considered. The estimated shifts were the following: MAP (10.24 years), Faustmann (10.82 years), Hotelling (11.32 years), Hartman (11.64 years) and MTP (97.2 years). We conclude that the number of years increases as economic-environmental aspects are incorporated in the estimation of shifts.

Keywords: Carbon capture; forestry companies; Schumacher growth model; economic shifts; environmental-economic shifts; technical shifts.

Resumen:

Las plantaciones forestales maderables comerciales en México se han convertido en una oportunidad para incrementar la producción y productividad del subsector, así como para disminuir la presión sobre las zonas forestales naturales y aumentar los ingresos de las familias rurales. La presente investigación tuvo como objetivo, analizar la relación y el comportamiento existente entre tres tipos de turnos: 1) técnicos: Máxima Producción Media (MPM) y Máxima Producción Total (MPT); 2) económicos: *Hotelling* y *Faustmann*; y 3) económico-ambiental: *Hartman*, en plantaciones de *Eucalyptus grandis* ubicadas en el municipio Balancán, Tabasco, México; y aportar elementos que contribuyan a la toma de decisiones en las empresas forestales. Se utilizaron los datos de tres inventarios proporcionados por la empresa "Productora de Plantaciones del Sureste", se consideró el tipo de interés promedio de Certificados de la Tesorería de la Federación (Cetes) (8 %), un precio promedio del carbono de \$107.00 tCO₂e⁻¹ (tabulador promedio usado por *European Climate Exchange Carbon* de 2010 a 2014), un costo de establecimiento de la plantación de \$38 000 ha⁻¹, un precio de la madera en rollo de \$650 m⁻³ y un costo de renta de tierra \$2 000 ha año⁻¹. Los turnos estimados fueron los siguientes: MPM (10.24 años), *Faustmann* (10.82 años), *Hotelling* (11.32 años), *Hartman* (11.64 años) y MPT (97.2 años). Se concluye que a medida que se incorporan aspectos económico-ambientales en la estimación de los turnos, se observa un alargamiento o incremento en el número de años.

Palabras clave: Captura de carbono; empresas forestales; modelo de crecimiento tipo *Schumacher*; turnos económicos; turno económico-ambiental; turnos técnicos.

Fecha de recepción/Reception date: 13 de diciembre de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 30 de abril de 2018.

¹Posgrado en Desarrollo Económico Local. Universidad Autónoma de Nayarit. México.

²Escuela de Economía y Finanzas. Universidad Autónoma de Guadalajara. México.

³División de Ciencias Económico-Administrativo. Universidad Autónoma Chapingo. México.

⁴Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología. Comisión Nacional Forestal. México.

Autor por correspondencia: salomones141@gmail.com

Introducción

Con la incorporación de México al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y de Comercio (GATT, por sus siglas en inglés) en 1986 y la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN) en 1994, las presiones sobre sus recursos naturales se incrementaron. Autores como Barton y Merino (2004) especulan que estas han sido factores que contribuyen al deterioro de los recursos forestales; pero no exclusivos del libre comercio, pues existen causas que rebasan los intercambios comerciales; por ejemplo: los malos planes de administración forestal, el crecimiento de la mancha urbana, el aumento de las tierras agrícolas y ganaderas, y la tala clandestina.

Históricamente, la producción maderable en México procede de los bosques naturales (Álvarez *et al.*, 2015; Lujan *et al.*, 2016); en promedio, durante el periodo de 1990 a 2014, 84 % de la producción provino de los bosques de coníferas, 11 % de los bosques de latifoliadas y 5 % de los tropicales (Semarnat, 2014). Por ello, se puso especial atención en la estimación de turnos biológicos o técnicos (Semarnat, 2010).

En 1995, se incentivó el establecimiento de las plantaciones forestales maderables comerciales (PFMC), con la finalidad de aumentar la producción y productividad del subsector de materias primas, disminuir la presión sobre las zonas forestales naturales y aumentar los ingresos de las familias rurales (Luján *et al.*, 2016). Asimismo, surgieron como una opción productiva para convertir terrenos agropecuarios que habían perdido su vegetación, en terrenos forestales capaces de producir materias primas para abastecer la industria forestal y proveer de servicios ecosistémicos (Conafor, 2016). Andreoni y Bussoni (2014) señalan que la demanda creciente de productos maderables puede abordarse mediante una estrategia adaptativa, a través del mejoramiento genético en plantaciones.

Por otra parte, con la puesta en marcha de la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad 2013-2018 (Enaipros) y de la Estrategia Nacional REDD+ (Reducción de Gases de Efecto Invernadero por Deforestación y Degradación de los Bosques) por parte de la

Conafor, uno de los grandes retos es incrementar la producción forestal maderable y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero; por tal motivo, las PFMC se consideran como una opción viable para el logro de esos objetivos (Geréz y Pineda, 2011; Conafor, 2016).

Con la implementación de ambas estrategias, se ha promovido el establecimiento de PFMC de especies tropicales de rápido crecimiento como: *Tectona grandis* L. F., *Gmelina arborea* Roxb., *Cedrela odorata* L., y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (Conafor, 2016). Con ello, surgió la necesidad de tener turnos forestales viables de acuerdo a las necesidades actuales (turnos técnicos, económicos y económico-ambientales).

La aplicación de la teoría del turno económicamente óptimo en PFMC no ha sido tratada con suficiente profusión en la literatura forestal de México. Autores como Medema y Lyon (1985), en uno de los primeros trabajos que abordan el problema, aplicaron la formulación y solución de *Faustmann* propuesta en 1849, mediante un procedimiento iterativo para el cálculo de la edad óptima. Tait (1986), Chang (1998), y Smart y Burgess (2000) emplearon dicha formulación, por medio de una solución generalizada, mediante programación dinámica. Respecto a los turnos forestales que incorporan como entrada la producción maderable y la captura de carbono, existen citas desde la década de los noventa (Hoen y Solberg, 1994; Van *et al.*, 1995; Romero *et al.*, 1998).

Si bien, hay estudios a nivel internacional de turnos forestales, la problemática básica de la administración y de los aprovechamientos maderables en México gira en torno a los pocos esfuerzos realizados por investigar turnos adecuados y, en mayor medida, para el estado de Tabasco, a pesar de ser una de las principales entidades con PFMC (Conafor, 2016).

En esta investigación se planteó la siguiente hipótesis: a medida que se incorporan aspectos ambientales en la estimación de los turnos económicos, la edad óptima de corta es mayor, con lo que se observa un alargamiento en el número de años del turno forestal. El objetivo, fue analizar el comportamiento y la relación entre tres tipos de turnos forestales en plantaciones maderables

comerciales de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, ubicadas en el municipio Balancán, Tabasco, México; bajo el cálculo de las modalidades: técnicos, económicos y económico-ambiental; así como, aportar elementos que contribuyan a la toma de decisiones en las empresas forestales.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se localiza en el municipio Balancán, en la región Usumacinta de Tabasco, México. Se encuentra en las coordenadas 17°48' latitud norte y 91°32' longitud oeste; colinda al norte con Campeche, al sur con los municipios Tenosique y Emiliano Zapata, al este con el estado de Campeche y la República de Guatemala, al oeste con el municipio Emiliano Zapata y Campeche (Municipios.mx, 2016) (Figura 1).

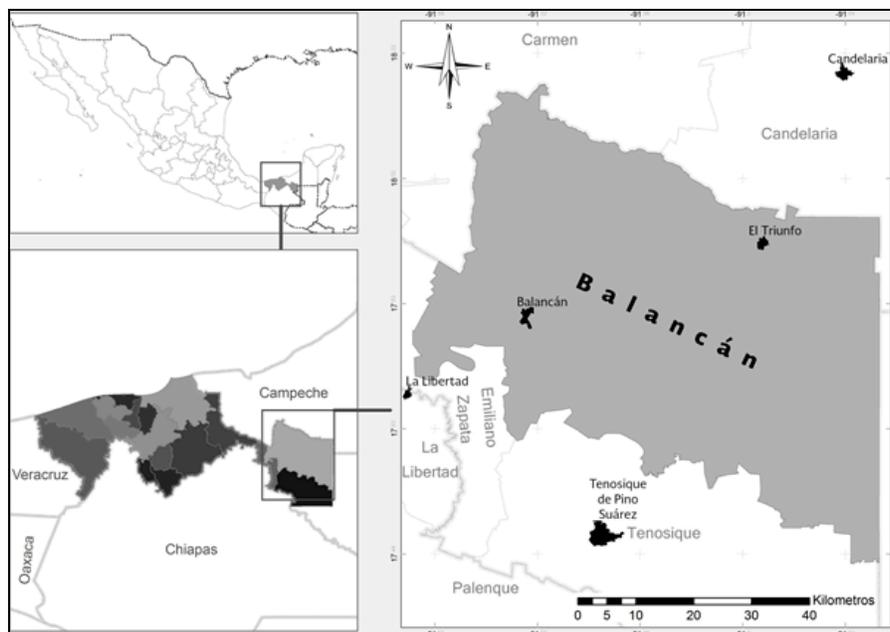


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Modelo de crecimiento ajustado

Se ajustó un modelo de crecimiento tipo *Schumacher*, el cual relaciona el volumen de madera con la edad y asume que la tasa de crecimiento varía inversamente con la edad (López y Valles, 2009).

$$V(t) = \beta_0 \exp\left[-\beta_1\left(\frac{1}{t}\right)\right] \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

$V(t)$ = Volumen de madera en el año t ($m^3\text{árbol}^{-1}$)

t = Edad (años)

β_i = Parámetros, para $i = 0$ y 1

Turnos forestales

Se estimaron cinco turnos forestales: dos técnicos (máxima producción total y máxima producción media), dos económicos (turno de *Hotelling*, 1931; turno de *Faustmann*, 1849) y uno económico-ambiental (turno de *Hartman*, 1975). Los tres últimos, bajo la determinación del valor monetario de la producción maderable, como lo plantean Romero *et al.* (1998).

Turnos técnicos. El enfoque técnico representa un análisis raso, debido a su poca complejidad para manipular la función de crecimiento o producción. La máxima producción total está en el punto más alto de la función de producción; de tal forma que, el turno óptimo de corta es cuando la producción marginal es igual a cero. Asimismo, la función de máxima producción media se obtiene dividiendo la función de producción entre la edad de la plantación (t) (Bonilla y Alarcón, 2015).

Turnos económicos. Concepto en la economía y administración forestal que incorpora aspectos de tipo económico, tales como: costos de producción, precios de la madera,

y tasa de interés. Dada la importancia teórica y práctica, se analizaron dos turnos económicos: la formulación de *Hotelling* de 1931 y la aproximación de *Faustmann* de 1849 (Díaz, 1997).

El procedimiento sugerido por *Hotelling* consiste en maximizar el Valor Actual Neto (VAN) de la inversión:

$$\text{MáxVAN} = pV(t) \exp(-it) - k \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

p = Precio de la madera (pesos mexicanos)

$V(t)$ = Volumen de madera en el año t ($\text{m}^3 \text{árbol}^{-1}$)

i = Tipo de descuento

t = Edad (años)

k = Costo de la plantación (pesos mexicanos árbol^{-1})

Por lo tanto, la condición de equilibrio de la Ecuación 2 está dada por la siguiente expresión:

$$\frac{V'(t)}{V(t)} = i \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

$V'(t)$ = Producto marginal de madera en el año t

El modelo sugerido por *Faustmann* incluye una variable de renta de la tierra, de esta manera, la expresión 2 se convierte en:

$$\text{MáxVAN} = pV(t)\exp(-it) - k - R\int_0^t \exp(-it)dt \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

R = Renta de la tierra (pesos mexicanos)

dt = Diferencial de la edad

Y la condición de equilibrio de la Ecuación 4 es:

$$\frac{V'(t)}{V(t)} - \frac{R}{pV(t)} = i \dots\dots\dots(5)$$

Turno económico-ambiental. La idea básica de *Hartman* consiste en introducir una función $G(t)$ que mide el flujo de servicios no madereros o ingresos (ambientales, recreativos o ecosistémicos) generados por una masa forestal con una edad de t años, además de la curva de producción $V(t)$ (Romero, 2001). El modelo de *Hartman* planteado es:

$$\text{MáxVAN} = pf(t)\exp(-it) + G(t) - R\int_0^t \exp(-it)dt - k \dots\dots\dots(6)$$

De donde la condición de equilibrio está dada por:

$$\frac{V'(t)}{V(t)} - \frac{[R - G(t)]}{pV(t)} = i \dots\dots\dots(7)$$

La curva de rendimientos no madereros sugerida por *Hartman* es una función de producción, en la cual, las productividades marginales pueden decrecer, pero nunca son negativas. La función $G(t)$ se calculó mediante el valor del carbono capturado en la plantación.

Estimación del carbono capturado

El carbono acumulado (capturado) por hectárea, se estimó en función del rendimiento volumétrico a través de la cantidad de carbono existente por cada m³ de madera. Se consideró la densidad de la madera y el contenido de carbono en biomasa estimada con el procedimiento de Smith *et al.* (1993).

La cantidad de CO₂e (carbono equivalente) del Cuadro 1 solo incluye el carbono contenido en la biomasa del fuste, el de las ramas y el follaje se calculó mediante factores de conversión de biomasa aérea total, a partir de la biomasa del fuste. La producción de biomasa del fuste respecto al área total para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden fue de 88 %; por lo tanto, el factor de conversión fue: 100/88=1.136. Así, la cantidad de CO₂e, total por cada m³ de madera fue de 0.919 toneladas.

Cuadro 1. Estimación del carbono capturado por *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.

Variable	<i>Eucalyptus grandis</i>
Densidad (t m ⁻³)	0.46
Contenido de carbono en biomasa (% en forma decimal)	0.48
Proporción carbono/volumen (tC m ⁻³)	0.46 × 0.48 = 0.22
Proporción CO ₂ e volumen de madera (tCO ₂ e m ⁻³) [†]	$0.22 \left(\frac{44}{12} \right)^{\ddagger} = 0.809$

Fuente: Téllez *et al.* (2008).

[†] = CO₂equivalente; [‡] = 44 corresponde al peso molecular de CO₂ y 12 al peso molecular de C.

El valor de los beneficios por la captura de carbono $G(t)$ se estimó con el planteamiento de Van *et al.* (1995) y la modificación del mismo realizada por Stainback y Alavalapati (2002):

$$G(t) = p_c \cdot \alpha \left[\underbrace{V(t) \cdot \exp(-it) + i \int_0^t V(t) \cdot \exp(-it) dt}_{\pi_{CO_2Tot}} \right] - \underbrace{p_c \cdot \alpha \cdot \beta \cdot V(t) \cdot \exp(-it)}_{\pi_{CO_2Des}} \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

$G(t)$ = Valor neto de los beneficios por capturar carbono (pesos mexicanos)

π_{CO_2Tot} = Valor total del árbol en pie por capturar carbono (pesos mexicanos)

π_{CO_2Des} = Valor descontado por la madera cosechada (pesos mexicanos)

p_c = Precio del carbono (\$/ tCO_2e)

α = Constante que expresa la proporción de CO_2e por m^3 de madera

$V(t)$ = Volumen de madera en el año t (m^3 árbol $^{-1}$)

i = Tipo de descuento

t = Edad (años)

dt = Diferencial de la edad

β = Proporción descontado de la madera cosechada

Se consideró un valor de β igual a 0.10; es decir, en todo el proceso de cosecha y aserrío se libera 10 % del carbono capturado.

Procedencia de la información

En la presente investigación se utilizaron datos de tres inventarios forestales (2009, 2010 y 2011) realizados por la empresa "Productora de Plantaciones del Sureste" (Proplanse) en plantaciones de *Eucalyptus grandis* ubicadas en el municipio Balancán, Tabasco, México. El diseño de muestreo fue aleatorio estratificado, y se definieron como unidades de muestreo sitios de dimensiones fijas. La ecuación para cubicar árboles en pie se obtuvo de Proplanse, la cual es una modificación al modelo australiano.

$$V = 0.00003805 - 0.00009789 * d^2 + 0.0001325 * d * a + 0.00002967 * d^2 * a$$

Donde:

V = Volumen en metros cúbicos sin corteza (m^3)

d = Diámetro normal en metros (m)

a = Altura total del árbol en metros (m)

Se consideró el tipo de interés promedio o descuento proporcionado por Cetes (8 %) y un precio promedio del carbono de \$107.00 por tonelada de CO₂e (tabulador promedio usado por *European Climate Exchange Carbon* de 2010 a 2014), los datos referentes a los costos de la plantación (\$38 000 ha⁻¹, pesos mexicanos), el precio de la madera (\$650 m⁻³, pesos mexicanos) y la renta de la tierra (\$2 000 ha⁻¹ año⁻¹, pesos mexicanos) fueron proporcionados por la empresa Proplanse.



Resultados y Discusión

Con base en los resultados obtenidos, se formuló la función de producción tipo *Schumacher*:

$$V(t) = 1.040509 * \exp[-10.249764(1/t)] \quad \forall t \geq 0 \dots\dots\dots (9)$$

La función de producción muestra un coeficiente de correlación alto ($R^2 = 0.9989$), que indica un ajuste y bajos niveles de Suma de Cuadrados del Error (SCE = 0.00062).

Turnos técnicos. La función tipo *Schumacher* tiene una asíntota horizontal, lo cual implica que no decrece. Para tal fin, se obtuvo una aproximación discriminando 10 % de la producción total, debido a que los incrementos marginales son mínimos, tal como se muestra:

$$(1 - \alpha) \lim_{t \rightarrow \infty} V(t)$$

Donde:

α = Porcentaje de la producción por discriminar (10 % en este estudio)

Al resolver dicha ecuación y sustituir en la función de producción (Ecuación 9), la Máxima Producción Total (MPT) se alcanza a los 97.20 años de edad de la plantación. La función de producción tipo *Schumacher* resultó ser un modelo inadecuado para el cálculo de la MPT debido a que el modelo ajustado permite proyectarse 25 % a futuro, de acuerdo a lo establecido por Montgomery *et al.* (2007); es decir, predice aceptablemente hasta el año 19 (la información presentada es de tipo indicativo).

La Máxima Producción Media (MPM) corresponde a los 10.24 años de edad de la plantación (Figura 2).

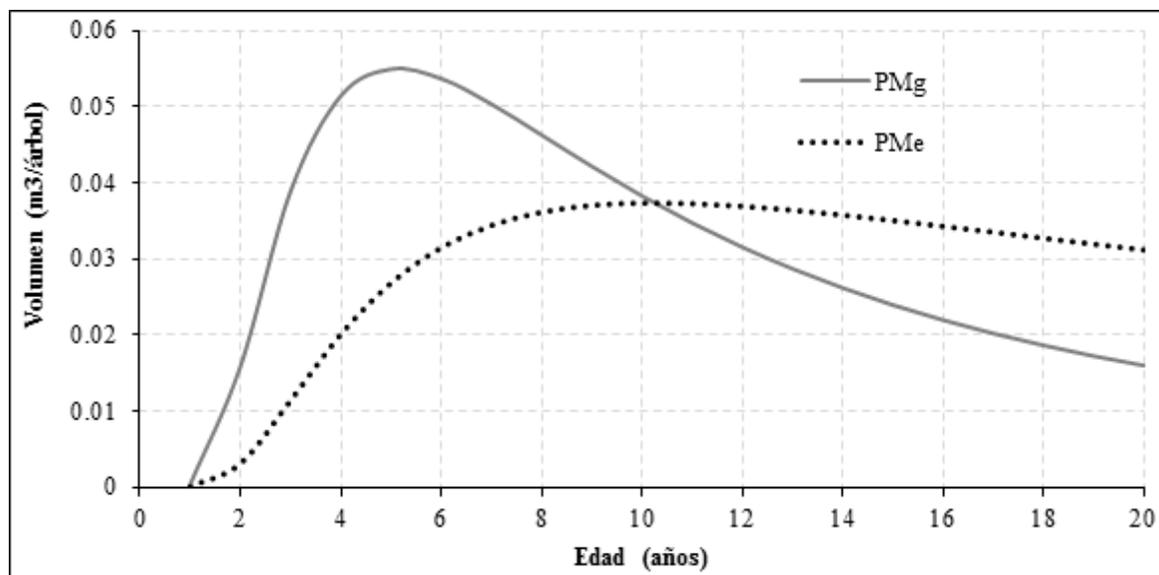
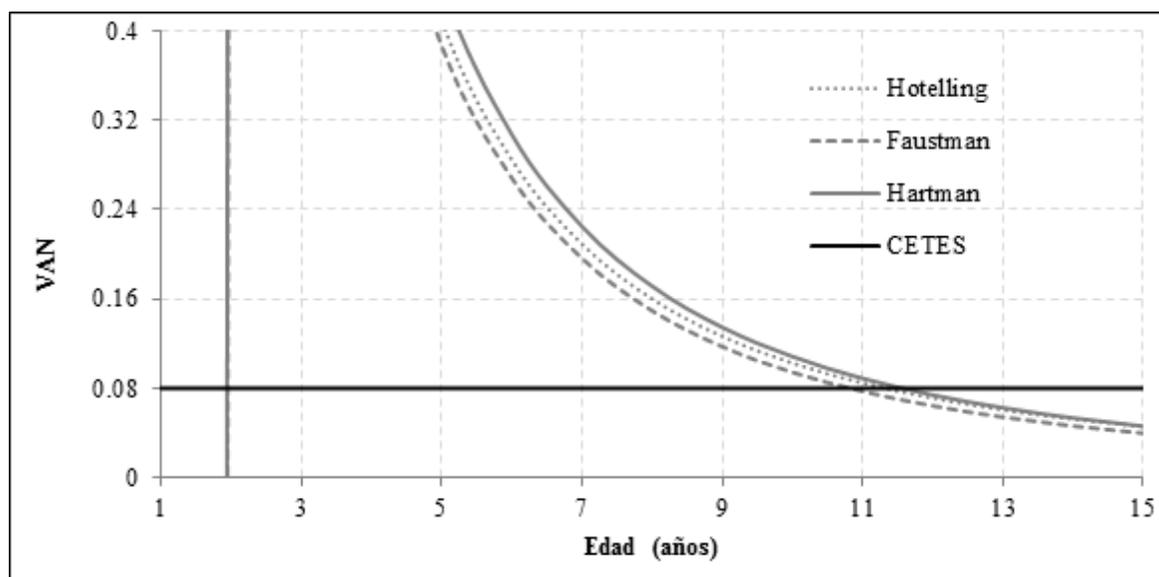


Figura 2. Curvas de Producción Marginal (PMg) y Producto Medio (PMe) para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, derivadas de la función *Schumacher* ajustada.

Turnos económicos. Una vez sustituidos los valores económicos en las formulaciones de *Hotelling* y *Faustmann*, se calcularon las curvas de equilibrio, que para el turno de *Hotelling* fue de 11.32 años y de 10.82 años para el de *Faustmann* (Figura 3, Cuadro 2).





VAN = Valor Actual Neto

Figura 3. Curvas de equilibrio de *Hotelling*, *Faustmann* y *Hartman* para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, derivada de la función *Schumacher* ajustada.

Cuadro 2. Sinopsis de los turnos forestales estimados para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.

Turnos	Tipo	Turno forestal (años)
Técnicos	Máxima producción total	97.20
	Máxima producción media	10.24
Económicos	<i>Hotelling</i>	11.32
	<i>Faustmann</i>	10.82
Económico-Ambiental	<i>Hartman</i>	11.64

Turno económico-ambiental. Al integrar los valores económicos y ambientales en la formulación de *Hartman*, se obtuvo la función de equilibrio (Figura 3, Cuadro 2), cuyo turno se alcanza a los 11.64 años de edad.

Los turnos forestales estimados constituyen un aporte novedoso tanto para los inversionistas en las PFMC del municipio Balancán, Tabasco, como para algunos lugares con características biofísicas similares al área de estudio, ya que podrían emplearse como un punto de referencia en la administración de las plantaciones.

De acuerdo con Frangi *et al.* (2016) y Santiago *et al.* (2015), *Eucalyptus grandis* es de rápido crecimiento; por ello, los turnos forestales son cortos en comparación con otras especies destinadas al aserrío. A continuación, se presenta una breve comparación y la relación que guardan los cinco turnos considerados.

Se observó que existe una relación creciente en el turno forestal al incorporar variables económico-ambientales, como la captura de carbono. En términos generales, disminuyó a medida que se consideró un número mayor de aspectos económicos en su determinación (costos), y al incluir factores ambientales y recreativos (ingresos), el turno forestal aumentó. Dicho comportamiento fue el siguiente: Máxima Producción Media (10.24 años), turno de *Faustmann* (10.82 años), turno de *Hotelling* (11.32 años), turno de *Hartman* (11.64) y Máxima Producción Total (97.20 años).

Al centrar el análisis en el de *Hartman*, se observó que en comparación con el de *Hotelling* hubo un incremento de 3.2 meses; con respecto al de *Faustmann*, el aumento fue de 9.8 meses, y con relación a la MPM fue de 16.8 meses.

En el estado de Oaxaca se han estimado datos similares para esta especie (Téllez *et al.*, 2008), después de analizar dos escenarios: 1) madera para celulosa y 2) madera para aserrío y celulosa, con un enfoque económico. En el primero se determinó que el turno varía de 6.9 a 9.0 años, para el segundo de 9.0 a 13.5 años; al incorporar un ingreso por captura de carbono, el turno aumentó entre 12 y 20 meses, o bien de 17 a 30 meses, respectivamente. Algunos autores estiman que los turnos forestales

de *Eucalyptus grandis* en Colombia fluctúan de 6 a 8 años (Restrepo y Alviar, 2010; Gómez *et al.*, 2012).

Es importante mencionar que el alargamiento en el turno forestal obedece a la génesis (estructura) de cada modelo; sin embargo, al extenderse el turno forestal se favorece la generación de madera de duramen (mayor cantidad) y la captura de carbono. Dias *et al.* (2016) refieren que el género *Eucalyptus* con turnos cortos presenta buenos crecimientos, pero mala calidad para madera y papel, así como para el secado. Por lo anterior, una ampliación en el turno posibilita la obtención de madera con mejores características anatómicas.

Conclusiones

A medida que se incorporan aspectos económico-ambientales en la estimación de los turnos forestales para *Eucalyptus grandis*, se observa un incremento en la edad óptima de corta.

La estimación de los turnos forestales para *E. grandis* evidencian una máxima producción media, turno de *Faustmann*, turno de *Hotelling*, turno *Hartman* y máxima producción total.

El turno de *Hartman* es adecuado para un aprovechamiento forestal sustentable, en tanto que retoma los aspectos de la propuesta de *Faustmann* e incorpora el valor de servicios ambientales y recreativos que proporciona la plantación.

El alargamiento del turno forestal incrementa el volumen de biomasa, con la posibilidad de obtener mayor madera de duramen para celulosa, así como más cantidad de carbono capturado, lo que incrementa el beneficio social.

Agradecimientos

Al Conacyt por el financiamiento proporcionado para la realización de esta investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Elizabeth Trujillo-Ubaldo: análisis e interpretación de los datos y elaboración del manuscrito en lo relativo a la introducción, resultados, discusión y conclusiones; Plácido Salomón Álvarez-López: trabajo de campo, elaboración del manuscrito en lo relativo a la introducción, resultados, discusión y conclusiones; Víctor Rafael Valdovinos Chávez: elaboración del manuscrito en lo relativo a la introducción, resultados, revisión general y aplicación de correcciones; Gaudencio Benítez Molina: apoyo en resultados, discusión del escrito, revisión general y aplicación de correcciones; Luz Orieta Rodríguez González: elaboración del manuscrito en lo relativo al *abstract* e introducción, revisión general, diseño de figuras y mapas.

Referencias

Álvarez L., P. S., A. Perales S. y E. Trujillo U. 2015. El subsector forestal mexicano y su apertura comercial. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6 (29): 8-23.

Andreoni, M. I. y A. Bussoni. 2014. Evaluación económica de dos programas de mejoramiento genético en *Eucalyptus grandis*. *Agrociencia Uruguay*. 18 (1): 153-162.

Barton B., D. y L. Merino P. 2004. La experiencia de las comunidades forestales en México: Veinticinco años de silvicultura y construcción de empresas forestales comunitarias. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F., México. 269 p.

Bonilla G., J. A. y J. A. Alarcón N. 2015. Turnos técnico y económico de la tala para arboles de Romerillo Blanco en Ecuador. *Ecología Aplicada* 14 (2):127-137.

- Chang, S. J. 1998. A generalized Faustmann model for the determination of optimal harvest age. *Canadian Journal of Forest Research* 28 (5): 652-659.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2016. Plantaciones Forestales Comerciales. Jalisco, México. <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/plantaciones-forestales/> (20 de agosto 2015).
- Dias S., B. C., J. Tarcísio L. and J. R. Moreira D. 2016. Analysing the drying behavior of juvenile and mature *Eucalyptus saligna* wood in drastic drying test for optimal drying schedule. *Maderas, Ciencia y Tecnología* 18 (4): 543-554.
- Díaz, B., L. 1997. Turno forestal económicamente óptimo: Una revisión. *Revista Española de Economía Agraria* 180: 181-224.
- Frangi, J., C. Pérez, J. Goya, N. Tesón, M. Barrera y M. Arturi. 2016. Modelo empírico integral de una plantación de *Eucalipto grandis* en Concordia, Entre Ríos. *Bosque (Valdivia)*. 37 (1): 191-204.
- Geréz F., P. y M. del R. Pineda L. 2011. Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD+. *Madera y Bosques* 17 (3): 7-27.
- Gómez, E. A., L. A. Ríos y J. D. Peña. 2012. Madera, un Potencial Material Lignocelulósico para la Producción de Biocombustibles en Colombia. *Información Tecnológica* 23 (6): 73-86.
- Hoen, H. F. and B. Solberg. 1994. Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. *Forest Science* 40 (3): 429-451.
- López H., J. A. y A. G. Valles G. 2009. Modelos para la estimación del índice de sitio para *Pinus durangensis* Martínez en San Dimas, Durango. *Ciencia forestal en México* 34 (105): 185-196.

- Luján A. C., J. M. Olivas G., H. G. González H., S. Vázquez A., J. C. Hernández D. y H. Luján A. 2016. Desarrollo forestal comunitario sustentable en la región norte de México y su desafío en el contexto de la globalización. *Madera y Bosques* 22 (1): 37-51.
- Medema, E. L. and G. W Lyon. 1985. The determination of financial rotation ages for coppicing tree species. *Forest Science* 31 (2): 398-404.
- Montgomery, D. C., E. A. Peck. y G. G. Vining. 2007. Introducción al análisis de regresión lineal. (3a ed.). Ed. Grupo patria cultural. México, D. F., México. 587 p.
- Municipios.mx. 2016. Todos los municipios de México.
<http://www.municipios.mx/tabasco/balancan/>(20 de agosto de 2016).
- Restrepo, C. y M. Alviar. 2010. Tasa de descuento y rotación forestal: el caso del *Eucalyptus saligna*. *Lecturas de Economía* (73): 149-164.
- Romero, C. 2001. Economía de los recursos ambientales y naturales. 2ª ed. Alianza editorial. Madrid, España. 216 p.
- Romero, C., V. Ros and L. Díaz B. 1998. Optimal forest rotation age when carbon captured is considered: theory and applications. *Journal of the Operational Research Society* 49 (2): 121-131.
- Santiago S., D. G., E. Valadez M. y D. Cibrián T. 2015. Identificación molecular del complejo *Botryosphaeria* sp. asociado a canchros y secamiento de yemas en *Eucalyptus* sp. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6 (32): 93-106.
- Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2010. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2010, Subsecretaria de Recursos Naturales.
http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43385/ANUARIO_2010.pdf
(20 de agosto de 2016).
- Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2014. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2011, Subsecretaria de Recursos Naturales.

Dirección General Forestal.

http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43388/ANUARIO_2011.pdf

(20 de agosto de 2016).

Smart, J. C. R. and J. C. Burgess. 2000. An environmental economic analysis of willow SRC production. *Journal of Forest Economics* 6 (3):193-225.

Smith, T. M., W. P. Cramer, R. K. Dixon, R. Leemans, R. P. Neilson and A. M. Solomon. 1993. The global terrestrial carbon cycle. *Water, Air, and Soil Pollution* 70(1-4): 19-37.

Stainback, G. A. and J. R. R. Alavalapati. (2002). Economic analysis of slash pine forest carbon sequestration in the southern US. *Journal of Forest Economics* 8 (2): 105–117.

Tait, D. E. 1986. A dynamic programming solution of financial rotation ages for coppicing tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 16 (4): 799-801.

Téllez, M. E., M. D. J. González G., H. M. De los Santos P., A. M. Fierros G., R. J. Lilieholm and A. Gómez G. 2008. Rotación óptima en plantaciones de eucalipto al incluir ingresos por captura de carbono en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31 (2): 173-182.

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



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**—sin excepción— se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.