

Producción de oxígeno en *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede. En la región Montaña del estado de Guerrero, México

*Oxygen production of *Pinus teocote* Schl. et Cham. and *Pinus oocarpa* Schiede. From the Mountain of Guerrero, Mexico*

*Produção de oxigênio em *Pinus teocote* Schl. et Cham. e *Pinus oocarpa* Schiede. Na região montanhosa do estado de Guerrero, no México*

Juan Manuel Ríos Camey*

Universidad Autónoma de Nuevo León, México

jmrc_x25@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4546-0265>

*Autor para correspondencia

Oscar Alberto Aguirre Calderón

Universidad Autónoma de Nuevo León, México

oaguirre16@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5668-8869>

Bernardo López López

Universidad Intercultural del Estado de Guerrero, México

lopez_020986@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4639-1145>

Beatriz Calleja Peláez

Universidad Autónoma de Nuevo León, México

beatriz.calleja07@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7944-2834>

Resumen

El objetivo de este estudio fue cuantificar la producción de oxígeno de las especies *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede. ubicadas en las áreas forestales de la región de Montaña del estado de Guerrero (México). Para ello, se empleó la ecuación de Schumacher $y_i = \exp(b_0 + b_1/x)$, la cual permitió estimar el punto óptimo de producción de oxígeno mediante el cruce del incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA). Los resultados muestran que los aumentos en la emisión de oxígeno se pueden predecir adecuadamente a través de la edad, pues se obtuvieron valores de R^2 de 0.99 para *Pinus teocote* Schl. et Cham. y de 0.98 para *Pinus oocarpa* Schiede. En concreto, se puede indicar que *Pinus oocarpa* Schiede. produjo 1856 kg O₂ árbol⁻¹ a los 71 años, mientras que *Pinus teocote* Schl. et Cham. solamente emitió 952 kg O₂ árbol⁻¹ a los 76 años. Por tal motivo, se puede concluir que la primera especie generó más del doble de oxígeno que la segunda, de ahí que se recomiende su empleo para las plantaciones forestales o reforestaciones de servicios ambientales.

Palabras clave: modelos de crecimiento, oxígeno, *Pinus oocarpa* Schiede., *Pinus teocote* Schl. et Cham., servicios ambientales.

Abstract

The objective of this study was to quantify the oxygen production of the species *Pinus teocote* Schl. et Cham. and *Pinus oocarpa* Schiede. located in the forest areas of the Mountain region of the state of Guerrero (Mexico). For this, the Schumacher equation $y_i = \exp(b_0 + b_1/x)$ was used, which allowed us to estimate the optimal point of oxygen production by crossing the annual current increase (ICA) and the annual average increase (IMA). The results show that increases in oxygen emission can be predicted adequately through age, since R^2 values of 0.99 were obtained for *Pinus teocote* Schl. et Cham. and from 0.98 for *Pinus oocarpa* Schiede. In particular, it can be indicated that *Pinus oocarpa* Schiede. produced 1856 kg O₂ tree⁻¹ at age 71, while *Pinus teocote* Schl. et Cham. only issued 952 kg O₂ tree⁻¹ at age 76. For this reason, it can be concluded that the first species generated more than twice as much oxygen as the second, which is why its use is recommended for forest plantations or reforestation of environmental services.

Keywords: growth models, oxygen, *Pinus oocarpa* Schiede., *Pinus teocote* Schl. et Cham., environmental services.

Resumo

O objectivo deste estudo foi quantificar a produção de espécies de oxigénio *Pinus teocote* Schl. et Cham. e *Pinus oocarpa* Schiede. localizado nas áreas de floresta da região montanhosa do estado de Guerrero (México). Por isso, foi usada a equação que permitiu Schumacher estimar a produção óptima de oxigénio através do cruzamento do incremento corrente anual (ICA) e o aumento médio anual (IMA). Os resultados mostram que os aumentos na emissão de oxigénio pode ser adequadamente previsto através dos valores antigos para R^2 de 0,99 para *Pinus teocote* Schl. et Cham. e de 0,98 para *Pinus oocarpa* Schiede. Em particular, pode ser indicado que *Pinus oocarpa* Schiede. produziu 1856 kg O_2 $arbol^{-1}$ aos 71 anos, enquanto *Pinus teocote* Schl. et Cham. emitiu apenas 952 kg de O_2 $arbol^{-1}$ aos 76 anos. Portanto, pode-se concluir que a primeira espécie gerado mais de duas vezes o segundo oxigênio, daí o uso de plantações florestais ou reflorestamento de serviços ambientais recomendadas.

Palavras-chave: modelos de crescimento, oxigênio, *oocarpa* Schiede *Pinus*, *Pinus teocote* Schl. et Cham., serviços ambientais.

Fecha recepción: Julio 2018

Fecha aceptación: Noviembre 2018

Introducción

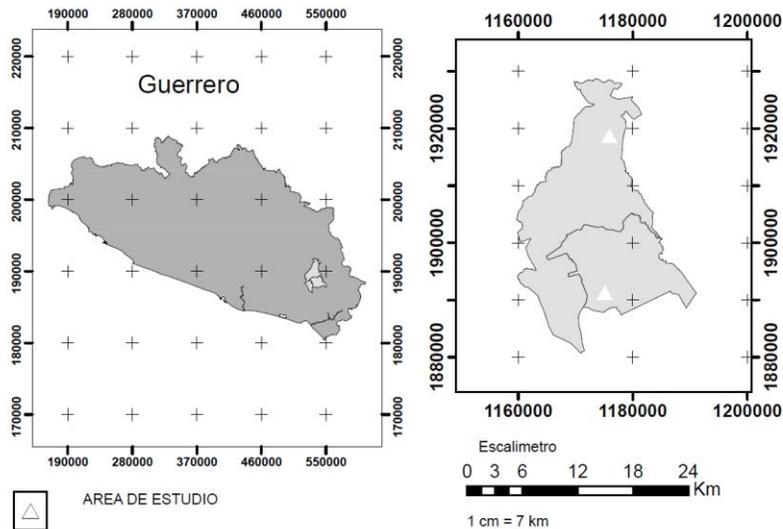
Los bosques son ecosistemas constituidos principalmente por árboles, los cuales son determinantes para la conservación de la vida en nuestro planeta, ya que a través del proceso químico de la fotosíntesis generan uno de los ingredientes esenciales para la subsistencia: el oxígeno (Cabudivo, 2017; De Lima, Rojas, Méndez, Salazar y Salmerón, 2017; Pérez-Urria, 2009). Sin embargo, en la etapa final de madurez de esos ecosistemas, la emisión neta de oxígeno disminuye debido a que los árboles solo son capaces de producir la cantidad que requieren para su propia respiración (Azcón, Fleck, Aranda y Gómez, 2008), de ahí que sea determinante conocer cuál es la verdadera capacidad de los bosques para generar dicho elemento durante todas las etapas de su vida, tarea que se puede concretar analizando las concentraciones de carbono en sus diferentes edades (Medina 2010) y mediante el ajuste de modelos de crecimiento en diversas especies forestales (Carillo, 2008).

Por este motivo, el objeto de la presente investigación fue evaluar la capacidad de producción de oxígeno de dos de las especies más abundantes en la región Montaña del estado de Guerrero (México): *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede. (Álvarez, Balboa, Merino y Rodríguez, 2005; Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014). La hipótesis nula (H_0) planteada fue la siguiente: existen diferencias entre estas dos especies en cuanto a la generación de oxígeno, lo cual se podría usar como argumento para planificar programas de reforestación que contribuyan a la producción de este elemento y a la valoración de servicios ambientales.

Materiales y métodos

El área de estudio de la presente investigación se encuentra ubicada entre las siguientes coordenadas geográficas: 98° 39' 24" LW y 17°19' 30" LN (figura 1) a una altitud promedio de 2100 m s. n. m. (Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática [Inegi, 2016]), y está constituida por los municipios Iliatenco y Malinaltepec, donde crecen de manera natural las especies de pinos mencionadas. Además, tiene un clima templado semicalido, con lluvias intensas en los meses de julio y agosto. La temperatura oscila entre los -3 °C y los 26 °C, mientras que el tipo de suelo en su mayoría es regosol, abundante en materia orgánica (Inegi, 2008; Inegi, 2014).

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio



Fuente: Inegi (2016)

Delimitación del área de estudio

Previo al muestreo, se hicieron recorridos de campo para ubicar las áreas de bosque donde crecen de forma natural las especies *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede. En total, se seleccionaron áreas estratificadas y representativas con presencia de bosques maduros de las mencionadas especies, las cuales abarcan un total de 105 hectáreas. El criterio para la elección de estas fue su amplia distribución en la región Montaña del estado de Guerrero, México.

Selección y derribo de árboles

Para estimar la producción de oxígeno se escogieron árboles muestra, para lo cual se consideró lo propuesto por Méndez, Luckie, Capó y Nájera (2011), quienes describen los criterios, el número y los árboles a extraer. Posteriormente, se seleccionaron 40 árboles (libres de plagas y enfermedades) de *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede., los cuales tenían todas las categorías de diámetro y altura del área de estudio. La muestra de árboles fue derribada durante dos sesiones en un periodo no mayor a tres meses para evitar variaciones en el follaje y contenido de humedad.

Cada árbol se ubicó y se marcó para su fácil identificación. Luego, antes de ser derribado, se midió en pie para determinar el diámetro normal (DN) a 1.30 m con una cinta diamétrica, la

altura total en metros (m) y la altura de fuste limpio (AFL) con un clinómetro electrónico Haglof. Esta información se registró en los formatos de campo previamente elaborados (Gayoso, Guerra y Alarcón, 2002; Soriano, Ángeles, Martínez, Plascencia y Razo, 2015). Para evitar daños al arbolado adyacente, se empleó el método de derribo direccional, para lo cual se usó una motosierra Stihl MS 382 de 24". Asimismo, y para evitar la pérdida de componentes vegetales, se colocó una lona sobre el suelo donde cayó el árbol para su posterior seccionado.

Obtención de peso verde

Derribado el árbol, inmediatamente se separó en dos componentes: hojas-ramas y fuste. El primero de ellos se colocó en costales y se pesó con una báscula digital colgante TecNova-300 kilogramos, la cual tiene una precisión de hasta 100 gramos. Al mismo tiempo, se pesó una muestra representativa de 5 % de hojas-ramas y se empaquetó en bolsas de papel para su traslado al laboratorio. El componente fuste se dividió en trozas: las dos primeras a longitud comercial (2.5 m), y las posteriores a cada metro hasta alcanzar la sección de puntas del árbol, lo cual facilitó el pesado en campo.

De cada troza se obtuvieron rodajas a diferentes alturas de corte, las cuales se pesaron en verde y se obtuvo el diámetro promedio de cada lado de las trozas con una cinta diamétrica Forestry Suppliers FOI0-0106. Las rodajas totales de cada árbol fueron etiquetadas y empaquetadas en bolsas para su traslado al laboratorio. Para obtener el peso verde aéreo de cada árbol se aplicó la siguiente ecuación:

$$PVA = PCHR + PF + PR$$

Donde

PVA = peso verde aéreo árbol (kg)

PCHR = peso verde de componente hojas-ramas (kg)

PF = peso verde fuste (kg)

PR = peso verde rodajas (kg).

Secado y análisis de muestras

En el laboratorio, las muestras hojas-ramas y rodajas se introdujeron en una estufa de secado (marca Felisa FE-293 de tipo convencional) a una temperatura promedio de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar peso anhidro, para lo cual se monitoreó el peso de cada muestra cada tercer día con una báscula de alta precisión. Secadas las muestras, se lijaron y se contabilizaron anillos de crecimiento a lo largo de todo el fuste mediante el procedimiento de análisis troncales. Con base en lo anterior, se obtuvieron diferentes edades, diámetros y alturas durante la vida del árbol. Posteriormente se capturó en hoja de cálculo Excel 97-2003.

Cuantificación de biomasa aérea

La biomasa área de cada componente se obtuvo extrapolando el peso verde aéreo total de campo con el peso verde de muestras y peso seco de muestras de cada componente. Para su obtención se aplicaron las ecuaciones propuestas por Schelegel, Gayoso y Guerra (2000) modificadas:

$$BAC = \frac{(Pvm) * (PVA)}{Pvc}$$

Donde

BAC = biomasa área total árbol⁻¹ (kg)

PVm = peso verde muestra de componente (kg)

PVA = peso verde aéreo árbol (kg)

PVc = peso seco muestra de componente (kg).

Obtención del carbono almacenado

El carbono (C) almacenado (kg) de cada especie se obtuvo a través del producto de la biomasa aérea por la fracción de carbono estandarizado como 50 % de la biomasa del árbol (Gayoso *et al.*, 2002; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2010; Schelegel *et al.*, 2000).

Estimación de la producción de oxígeno

La producción de oxígeno está directamente ligada a la acumulación de carbono (C), por lo que Nowak *et al.* (2007) indican que el oxígeno (O₂) producido durante la fotosíntesis y consumido durante la respiración se puede estimar con la proporción de pesos atómicos de la molécula de CO₂ con el peso del átomo de carbono (C) y oxígeno (O₂) que lo componen, de este modo:

$$O = C * F$$

Donde:

O = producción neta de O₂ (kg)

C = carbono almacenado en la biomasa (kg)

F = factor de conversión a oxígeno tomando como base los pesos atómicos de las moléculas de carbono y oxígeno (32/12).

En tal sentido, se ajustó el modelo ampliamente usado en estudios de crecimiento forestal de Schumacher (López *et al.*, 2017; Murillo *et al.*, 2017; Pacheco, Juárez, Martínez y Ortiz, 2016), el cual se expresa de la siguiente forma:

$$y = \exp(b0 + b1/x)$$

Donde

y = oxígeno producido en kg

x = edad del árbol en años

exp = exponencial

b0 y b1 = parámetros del modelo.

Para estimar el turno absoluto (máxima producción de oxígeno) se obtuvo el incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA) en cada especie estudiada, según la siguiente ecuación:

$$ICA = \text{diferencia incremento} / \text{diferencia tiempo}$$

$$IMA = \text{incremento} / \text{edad}$$

Posteriormente, con el modelo ajustado, se derivaron los incrementos en ICA e IMA, y con x , y con a , según las fórmulas siguientes:

$$ICA = Dy/Dx = -a/x^2 \exp(a + b/x)$$

$$IMA = Dy/Da = -1/x \exp(a + b/x)$$

Los valores promedios se estimaron mediante la función Proc Means del programa estadístico Statistical Analysis Software System (SAS, 2002), y el ajuste alométrico se realizó con el método de mínimos cuadrados, mediante el procedimiento no lineal Proc Nlin Model del mismo programa.

Resultados y discusión

Pacheco *et al.*, (2016) ajustaron modelos de regresión para estimar el incremento en una muestra de 20 árboles *Pinus montezumae* Lamb., dominantes en bosques de Oaxaca. Asimismo, Marroquín, Méndez, Jiménez, Aguirre y Yerena (2018) emplearon una muestra de 50 árboles para la estimación de biomasa y carbono en plantaciones jóvenes de 22 años de edad de *Pinus halepensis* y *Pinus cembroides* en Saltillo, Coahuila (México).

En el presente estudio, sin embargo, para estimar la producción de oxígeno se utilizaron 20 árboles de *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede. Este número se consideró adecuado por tratarse de bosques naturales donde se pueden hallar diferentes categorías diamétricas, lo que hubiera implicado, si se hubiese aumentado el tamaño de la muestra, mayores costos en el muestreo, mano de obra y tiempo.

Ahora bien, los valores mínimos para el diámetro normal de los árboles derribados fueron de 5.6 cm para *Pinus teocote* Schl. et Cham. y 4.7 cm para *Pinus oocarpa* Schiede., con valores máximos de 58.3 cm y 38.6 cm, respectivamente. En cuanto a la altura total (m), el intervalo fue de entre 6 m y 23 m para *Pinus teocote* Schl. et Cham., mientras que en *Pinus oocarpa* Schiede. los valores oscilaron entre 5 m y 25 m. La edad promedio fue ligeramente superior en *Pinus teocote* Schl. et Cham., con 9 años respecto a *Pinus oocarpa* Schiede.; sin embargo, la concentración de oxígeno difirió entre especies, asociado al ritmo de crecimiento de la especie reflejado en diámetro, área basal y volumen (tabla 1).

Tabla 1. Parámetros estadísticos descriptivos de *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede. para la región Montaña del estado de Guerrero

Estadísticos (<i>Pinus teocote</i> Schl. et Cham.)	DN (cm)	HT (m)	E (años)	O (kg)
N.º de observaciones	20	20	20	20
Mínimo	5.60	6.17	7	5.88
Máximo	58.3	23	55	610
Media	28.86	17.06	30.35	248.91
Desviación estándar	15.34	5.59	13.39	205.68
Coeficiente de variación (%)	53.15	32.76	44.11	82.63
Varianza	235.31	31.24	179.29	42 304.26
Estadísticos (<i>Pinus oocarpa</i> Schiede.)	DN (cm)	HT (cm)	E(años)	O(kg)
N.º de observaciones	20	20	20	20
Mínimo	3.5	5	4	3.49
Máximo	38.6	25	40	880.63
Media	20.46	15.85	21.45	288.23
Desviación estándar	10.84	5.44	10.53	287.24
Coeficiente de variación (%)	52.98	34.32	49.09	99.65
Varianza	117.50	29.5936	110.8809	82506.81

Nota: DN = diámetro normal (cm); HT = altura total (m); O = oxígeno producido.

Fuente: Elaboración propia

Estimación de producción de oxígeno

El modelo de crecimiento forestal de Schumacher en su forma $y = \exp(a + b/x)$ presentó muy buenos ajustes para la predicción de la producción de oxígeno. Se obtuvo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.99 para *Pinus teocote* Schl. et Cham. y 0.98 para *Pinus oocarpa* Schiede., con valores de error estándar (Syx) de 0.80 y 1.76, respectivamente; asimismo, ambos modelos alométricos son altamente significativos ($p < 0.0001$), por lo que se puede decir que el modelo predice adecuadamente la producción de oxígeno en cualquier edad del arbolado, es decir, etapas juveniles o maduras del bosque (tabla 2).

Tabla 2. Estadísticos obtenidos para la predicción de la producción de oxígeno (kg) para *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede. en la región Montaña del estado de Guerrero

Especie		Coficiente	E. E.	Valor de <i>p</i>	R ²	Sxy	C. V.
<i>P. teocote</i>	<i>b0</i>	7.8370	0.14	< 0.0001	0.99	0.80	11.46
	<i>b1</i>	-74.3134	2.45	< 0.0001			
<i>P. oocarpa</i>	<i>b0</i>	8.5001	0.10	< 0.0001	0.98	1.76	19.67
	<i>b1</i>	-68.1942	1.80	< 0.0001			

Nota: E. E. = error estándar del coeficiente de regresión; R² = coeficiente de determinación; Sxy = error estándar del modelo de regresión; C. V. = coeficiente de variación; b0, b1 = parámetros de la regresión.

Fuente: Elaboración propia

El modelo exponencial obtenido para la producción de oxígeno en *Pinus teocote* Schl. et Cham. fue el siguiente:

$$O = \exp(7.837 + (74.3134/E))$$

Donde

O = producción de oxígeno (kg)

E = edad (años).

Asimismo, para *Pinus oocarpa* Schiede. el modelo alométrico fue el siguiente: $O = \exp(8.5001 + (-68.19/E))$

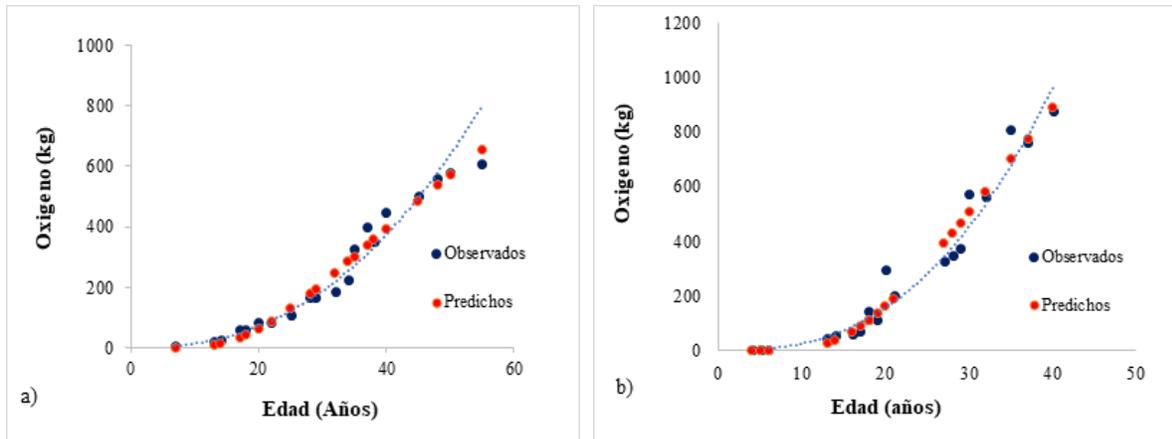
Donde

O = producción de oxígeno (kg)

E = edad (años).

En la figura 2 se pueden apreciar los valores observados y predichos del modelo para estimar la producción de oxígeno en *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede.

Figura 2. Comportamiento de observados y predichos del modelo para predicción de oxígeno: a) *Pinus teocote* Schl. et Cham., b) *Pinus oocarpa* Schiede. en la región Montaña del estado de Guerrero (México)



Fuente: Elaboración propia

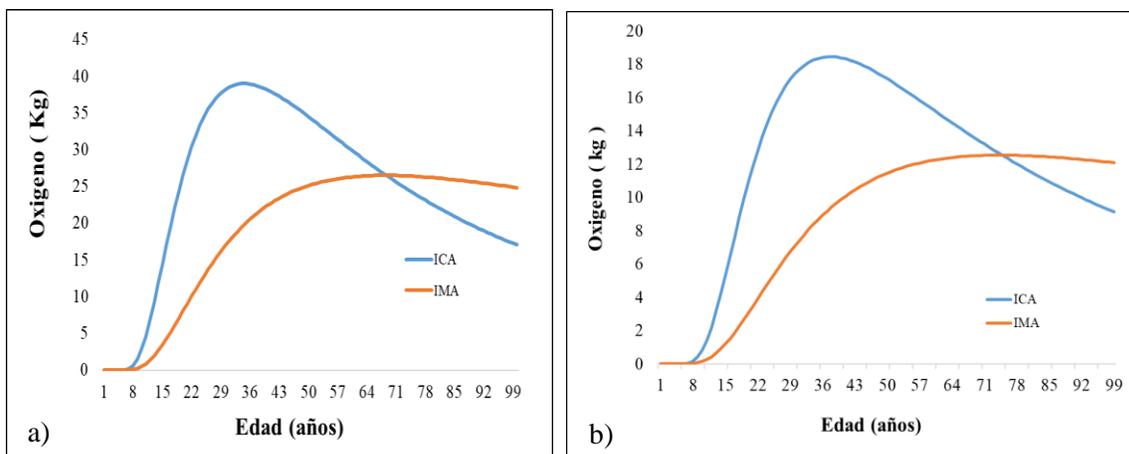
En este sentido, Guerrero (2013) ajustó el modelo de Schumacher en su forma exponencial para estimar la producción de oxígeno de *Pinus cembroides* en plantaciones forestales del sureste de Coahuila (México), lo que le permitió conseguir valores de R^2 de 0.82 y Syx de 0.96. Resultados similares se encontraron en la presente investigación, donde la edad fue buen predictor de oxígeno para *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede. en la región Montaña del estado de Guerrero. De forma similar, Hernández *et al.* (2015) ajustaron modelos de crecimiento de altura-edad para *Pinus teocote* Schl. et Cham. en el estado de Hidalgo, donde el modelo de Schumacher presentó los mejores ajustes con valores de R^2 de 0.97 y Syx de 3.34.

Por otra parte, se debe indicar que los parámetros estadísticos del modelo difieren con lo reportado por Pacheco *et al.* (2016), quienes registraron incrementos en altura para índices de sitio de *Pinus montezumae* Lamb., con base en la edad del arbolado, ajustando el mejor modelo el de Champan-Richards un R^2 adj de 0.94, Sxy de 1517.5 y CME de 12.33; sin embargo, para estudios de biomasa, carbono y, en este caso, producción de oxígeno, se ha corroborado que el modelo exponencial de Schumacher ha conseguido mejores ajustes (López, Méndez, Zermeño, Cerano y García, 2017; Murillo, Domínguez, Martínez, Lagunes y Aldrete, 2017; Pacheco *et al.* 2016).

Producción de oxígeno e incrementos

El cruce de ICA e IMA (turno absoluto de máxima producción de oxígeno) ocurrió a los 76 años para *Pinus teocote* Schl. et Cham. con una máxima generación de oxígeno de 11 kg árbol⁻¹; mientras que para *Pinus oocarpa* Schiede. la máxima producción se dio a los 70 años con 26 kg por árbol⁻¹ (figura 3).

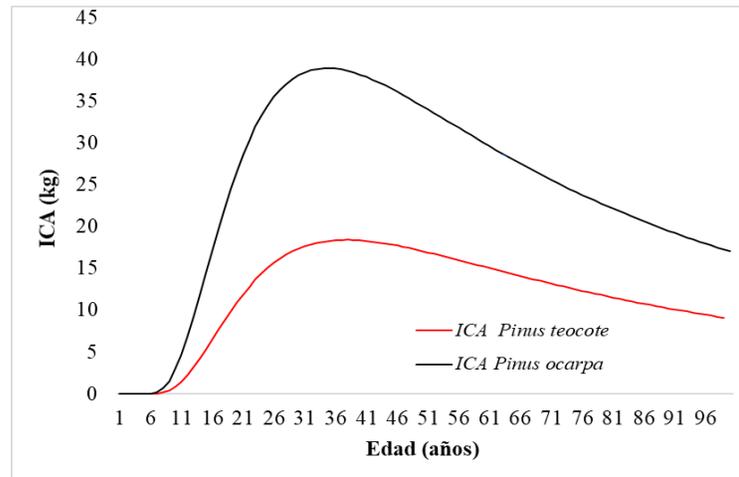
Figura 3. Producción de oxígeno para a) *Pinus oocarpa* Schiede. y b) *Pinus teocote* Schl. et Cham. en la región Montaña del estado de Guerrero



Fuente: Elaboración propia

El máximo ICA obtenido para *Pinus teocote* Schl. et Cham. fue de 18.4 kg de O₂ año⁻¹ a la edad de 38 años, mientras que *Pinus oocarpa* Schiede. produjo 39 kg de O₂ año⁻¹ a la edad de 35 años. Igualmente, es preciso notar que *Pinus teocote* Schl. et Cham. presentó los mismos aumentos en oxígeno hasta los siete años de edad, mientras que posteriormente el ritmo de crecimiento fue mayor en *Pinus oocarpa* Schiede. con notables diferencias marcadas en la producción de oxígeno respecto a *Pinus teocote* Schl. et Cham. (figura 4).

Figura 4. Incremento corriente anual (ICA) de la producción de oxígeno para *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede. en la región Montaña del estado de Guerrero

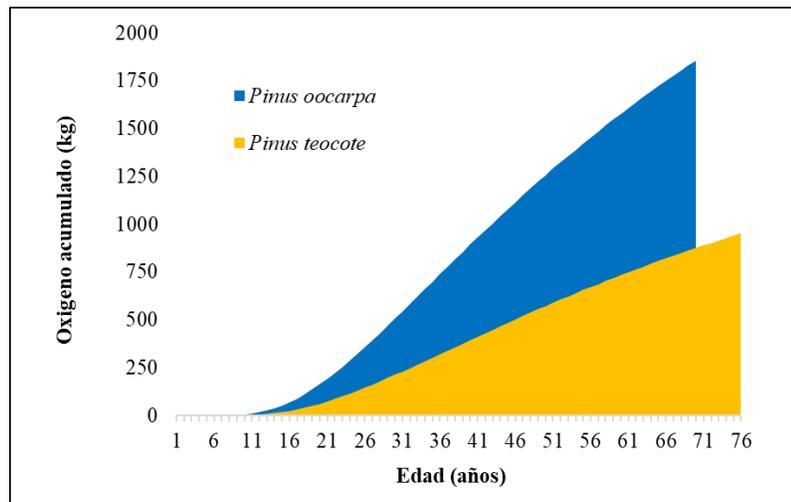


Fuente: Elaboración propia

Producción acumulada de oxígeno

Considerando el turno absoluto, máxima producción de oxígeno acumulado durante toda la vida del árbol, *Pinus oocarpa* Schiede. produjo 1856 kg O₂ arbol⁻¹ a los 71 años, mientras que *Pinus teocote* Schl. et Cham. solamente emitió 952 kg O₂ arbol⁻¹ a los 76 años (figura 5).

Figura 5. Producción acumulada de oxígeno en *Pinus oocarpa* Schiede. y *Pinus teocote* Schl. et Cham. en la región Montaña, Guerrero (México)



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con Perry y LeVan (2003), una persona consume en promedio 0.84 kg de oxígeno por día, lo que significa que a partir de los resultados conseguidos se requieren 12 árboles de 70 años de edad de *Pinus oocarpa* Schiede. y 25 árboles de *Pinus teocote* Schl. et Cham. para producir el oxígeno diario que requiere una persona (tabla 3).

Tabla 3. Aportación diaria y por persona de oxígeno en *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede. en la región Montaña del estado de Guerrero

Especie	Turno absoluto	Oxígeno acumulado (kg)	Oxígeno anual (kg)	Oxígeno diario (kg)	Arboles necesarios /persona/día
<i>Pinus oocarpa</i> Schiede.	70	1,855.58	26.50	0.072	11.57
<i>Pinus teocote</i> Schl. et Cham.	75	940.25	12.53	0.034	24.46

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, Canfield (2014) indica que la cantidad de oxígeno necesaria por persona es superior cuando la altitud es mayor respecto al nivel del mar (~ 40 % más en altitudes mayores a los 3000 m s. n. m.), lo que se debe a la diferencia en la presión atmosférica. Esto significa que se

requerirían más concentraciones de oxígeno en la atmósfera para abastecer las demandas diarias por persona.

Conclusiones

Según los datos reportados, se puede concluir que el modelo de crecimiento ajustado predice adecuadamente el oxígeno (kg) con base en la edad del arbolado de las especies estudiadas, pues se hallaron valores de R^2 de 0.99 para *Pinus teocote* Schl. et Cham. y de 0.98 para *Pinus oocarpa* Schiede.

Asimismo, se comprobó que *Pinus oocarpa* Schiede. produce más del doble de oxígeno que *Pinus teocote* Schl. et Cham., por lo que se puede recomendar para proyectos de pagos por servicios ambientales en la región Montaña del estado de Guerrero o en hábitats similares de crecimiento de esta especie.

Por último, se debe promover el cuidado de los recursos forestales, ya que —como se ha constatado— se necesita un número considerable de las especies estudiadas para aportar los requerimientos diarios de oxígeno de una persona.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo monetario otorgado para la realización del estudio mediante la beca Conacyt, así como a la Universidad Intercultural del Estado de Guerrero por las facilidades brindadas para el trabajo de campo y laboratorio.

Referencias

- Álvarez, J., Balboa, M., Merino, A. y Rodríguez, R. (2005). Estimación de la biomasa arbórea de *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster* en Galicia. *Recursos Rurais*, (1), 21-30.
- Azcón, J., Fleck, I., Aranda, X. y Gómez, N. (2008). Fotosíntesis, factores ambientales y cambio climático. En Azcón, J., Talón, M. (coord.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (pp. 247-263). España: McGraw-Hill.
- Canfield, D. E (2014). *Oxígeno: una historia de cuatro mil millones de años*. Barcelona (España): Editorial Planeta.
- Carrillo, E. G. (2008). *Casos prácticos para muestreo e inventarios forestales*. México: Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales.
- Cabudivo, C. (2017). *Servicio ambiental de secuestro de CO₂ y emisión de O₂ del bosque natural arboretum el Huayo por niveles de dureza de la madera en Puerto Almendra, Loreto-Perú-2015* (tesis de maestría). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Facultad de Agronomía. Recuperado de <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/5260>.
- De Lima, S., Rojas, M., Méndez, J., Salazar, K. y Salmerón, A. (2017). Servicios ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauración ecológica. *Biocenosis*, 31(1-2).
- Gayoso, J., Guerra, D. y Alarcón, D. (2002). *Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas: medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Gernandt, D. S. y Pérez de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de *Pinophyta* (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 126-133.
- Guerrero, L. (2013). *Cuantificación de biomasa, carbono y producción de oxígeno en Pinus cembroides Zucc. en Mazapil, Zacatecas, México* (tesis profesional). México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Recuperado de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/1065>.
- Hernández R., J., García M., García C. X., Hernández R. A., Muñoz F. H., y Samperio J. M. (2015). Índice de sitio para bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham. en el oriente del estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 24-37.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2008). Conjunto de datos vectoriales. Unidades climáticas. Escala 1:1 000 000. n/p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2014). Conjunto de datos vectoriales. Perfiles de suelos. Escala 1:1 000 000. n/p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2016). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Serie VI. (Capa Unión). Escala 1:250 000. n/p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2010). Aspectos del cambio climático incluidos su potencial ambiental y sus consecuencias socioeconómicas.
- López, J., Méndez, J., Zermeño, A., Cerano, J. y García, M. (2017). Impacto de descortezadores en el incremento radial de *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(41), 82-108.
- Marroquín, P., Méndez, J., Jiménez, J., Aguirre, O. y Yerena, J. (2018). Estimación de biomasa aérea en *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus halepensis* Mill. en Saltillo, Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 94-110.
- Medina V. J. (2010). La dieta del dióxido de carbono (CO₂). *Conciencia Tecnológica*, (39), 50-53.
- Méndez, J., Luckie, S., Capó, M. y Nájera, J. (2011). Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *P. pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 45(4), 479-491.
- Murillo, Y., Domínguez, M., Martínez, P., Lagunes, L. y Aldrete, A. (2017). Índice de sitio en plantaciones de *Cedrela odorata* en el trópico húmedo de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(1), 15-31.
- Pacheco, G., Juárez, W. S., Martínez, D. y Ortiz, R. (2016). Análisis del crecimiento e incremento y estimación de índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en Santiago Textitlán, Sola de Vega, Oaxaca. *Foresta Veracruzana*, 18(2), 21-28.
- Pérez-Urria, E. (2009). Fotosíntesis: aspectos básicos. *Reduca (Biología)*, 2(3).
- Perry, J. and Le Van, M. D. (2003). Air purification in closed environments: overview of spacecraft systems. *Army Natrick Soldier Center*. Retrieved from <http://nsc.natick.army.mil/jocotas/ColProPapers/Perry-LeVan>.

- Schelegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. (2000). *Manual de procedimientos. Muestreos de biomasa forestal. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial*. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile.
- Soriano, M., Ángeles, G., Martínez, T., Plascencia, F. y Razo, R. (2015). Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 49(4), 423-438.
- Statistical Analysis Software System (SAS) (2002). SAS version 9 for Windows. Copyright ©2002 SAS Institute Inc. Cary, NC 27813, USA All. Rights Reserved.

Rol de Contribución	Autor (es)
Conceptualización	Juan Manuel Ríos Comey
Metodología	Juan Manuel Ríos Comey (Principal) Oscar Alberto Aguirre Calderón (Apoyo)
Software	No Aplica
Validación	Oscar Alberto Aguirre Calderón (Principal) Juan Manuel Ríos Comey (Apoyo)
Análisis Formal	Bernardo López López
Investigación	Juan Manuel Ríos Comey (Principal) Bernardo López López (Apoyo) Beatriz Calleja Peláez (Apoyo)
Recursos	Universidad Autónoma de Nuevo León (Principal) Universidad Intercultural del Estado de Guerrero (Apoyo)
Curación de datos	Juan Manuel Ríos Comey
Escritura - Preparación del borrador original	Juan Manuel Ríos Comey (Principal) Bernardo López López (Apoyo)
Escritura - Revisión y edición	Oscar Alberto Aguirre Calderón (Principal) Beatriz Calleja Peláez (Apoyo)
Visualización	Juan Manuel Ríos Comey
Supervisión	Oscar Alberto Aguirre Calderón (Principal) Beatriz Calleja Peláez (Apoyo)
Administración de Proyectos	Juan Manuel Ríos Comey
Adquisición de fondos	Juan Manuel Ríos Comey, Oscar Alberto Aguirre Calderón, Bernardo López López y Beatriz Calleja Peláez