



Influencia de la calidad de sitio sobre el crecimiento de una plantación de *Pinus patula* Schlttdl. et Cham.

J. Ángel García-Aguilar¹

Vicente Arturo Velasco-Velasco²

Gerardo Rodríguez-Ortiz^{2*}

José Raymundo Enríquez-del Valle²

¹ Maestría en Ciencias de la Productividad de Agroecosistemas. Instituto Tecnológico del Valle e Oaxaca (ITVO). México.

² División de Estudios de Posgrado e Investigación. ITVO. México.

*Autor por correspondencia; correo-e: grodriguez.itvo@yahoo.com

Resumen:

El objetivo del presente estudio fue evaluar la influencia de la calidad de sitio sobre el crecimiento e incremento de una plantación de *Pinus patula* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, establecida en 1995. Se distribuyeron, sistemáticamente, 30 sitios de 400 m² para realizar inventario del arbolado. Se consideraron variables dendrométricas, y a dos árboles dominantes de cada sitio se les extrajo una viruta para obtener el incremento medio anual (IMA), el incremento corriente anual (ICA) y el ancho de anillos en madera temprana y

tardía. Con la información de altura y edad de la plantación y bosque natural, se ajustaron funciones para estimar el índice de sitio (IS) con el método de la curva guía a una edad base de 40 años. Se realizaron análisis de varianza utilizando como variable clasificatoria la calidad de sitio, se estimó el incremento en madera temprana y tardía mediante modelos de regresión. La calidad de sitio influye en variables dasométricas y de crecimiento en *P. patula* ($p = 0.0001$); se determinó que el ancho total de anillo en IS bajo y excelente fue de 5 vs. 8.85 mm, respectivamente. Los incrementos en madera temprana y tardía están positivamente correlacionados con la calidad del sitio ($p = 0.0001$); por lo tanto, la gravedad específica de la madera es menor en sitios de mayor calidad. El crecimiento óptimo para las variables madera temprana y tardía varía en relación a la calidad del sitio. El crecimiento e incremento de *Pinus patula* está determinado por la calidad de sitio.

Palabras clave: Curva guía, densidad específica, índice de sitio, madera tardía, madera temprana, *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

Fecha de recepción/Reception date: 21 de febrero de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 19 de julio de 2017.

Introducción

En la actualidad es necesario contar con información confiable sobre la calidad de las áreas forestales donde se establecen plantaciones con fines comerciales, en especial con especies de rápido crecimiento como *Pinus patula* Schltdl. et Cham., debido a que existe una fuerte relación de las variables ambientales con los rendimientos. Por lo tanto, se requiere evaluar

alguna característica del árbol para visualizar la influencia de todos los actores que determinan la productividad de un área; por lo regular se evalúa la altura dominante (Arteaga-Martínez, 2000).

En este sentido, el manejo forestal centra su interés en la calidad del sitio en que se desarrolla un taxon, para ordenar los rodales, de acuerdo con su potencial productivo (Esse *et al.*, 2007; Torres-Rojo y Valles-Gándara, 2007). En terminología forestal, la calidad de estación se refiere a la capacidad de un área específica para sustentar el crecimiento de árboles, y se evalúa por un índice denominado índice de sitio (IS), que se expresa por la altura máxima que alcanzan los árboles dominantes y codominantes de un rodal, en un tiempo determinado (edad base) (Cornejo *et al.*, 2005; Vargas-Larreta *et al.*, 2010).

Ugarte-Guerra y Domínguez-Torrejón (2010) afirman que la magnitud de crecimiento de los árboles es función de las potencialidades definidas por su genotipo, cuyo nivel de expresión es influenciado por la condición del sitio (Davel y Ortega, 2003). Con base en lo anterior, Martínez-Salvador *et al.* (2013) señalan la importancia de conocer el impacto de los factores ambientales sobre el crecimiento y productividad en las plantaciones forestales debido a que son una alternativa para obtener bienes y servicios a corto plazo, en especial para satisfacer las altas demandas de la industria maderera (Pérez *et al.*, 2012; Martínez-Zurimendi *et al.*, 2015).

En la literatura existen numerosas investigaciones que evalúan la calidad de sitio en diferentes especies forestales; la estiman mediante modelos matemáticos, o la relacionan con alguna variable del ambiente. Sin embargo, hay pocos trabajos que abordan la influencia de la calidad de sitio sobre el crecimiento de los árboles y las repercusiones en algunas variables anatómicas de la madera.

Diversos autores lo hacen a partir de modelos matemático-estadísticos, y han obtenido coeficientes de determinación altos (Cornejo *et al.*, 2005; Hernández-Ramos *et al.*, 2014; Rodríguez-Carrillo *et al.*, 2015). González *et al.* (2013) evaluaron las clases de calidad de sitio en *Pinus caribaea* var. *caribaea* Morelet en

Cuba, con base en variables del suelo, su modelo explicó solo 30 % de la variación de la calidad de sitio. Davel y Ortega (2003) estimaron el IS, mediante 12 variables ambientales, y obtuvieron un modelo que explica 67 % de la variación total.

En estudios sobre calidad de sitio únicamente se evalúan los máximos rendimientos de un área, no se indaga sobre la influencia de la calidad de sitio en la densidad específica de la madera, ancho de anillos, incrementos en madera temprana y tardía, variables que son de interés para la industria, ya que de ello depende el procesamiento y la calidad final de sus productos (León, 2010). Para documentar esos aspectos en el presente estudio se planteó evaluar la influencia de la calidad de sitio sobre el crecimiento e incremento de una plantación de *Pinus patula* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Materiales y Métodos

Área de estudio y muestreo

La investigación se realizó en una plantación de *Pinus patula* de 4.1 ha, ubicada a 12 km al noreste de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, a 17°22'38.69" N y 96°28'44.8" O y a 2 550 m de altitud. El clima corresponde a C(w₂) templado subhúmedo, la precipitación varía de 900 a 1 100 mm al año y la temperatura promedio anual es de 20 °C (Figura 1). La plantación fue establecida en 1995 en terrenos con pendiente de 16 a 42 %; del 2010 a la fecha no se han realizado aclareos y las densidades arbóreas son de 400 a 1 100 árboles ha⁻¹; por lo tanto, existe una sobreposición de copas (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2011).

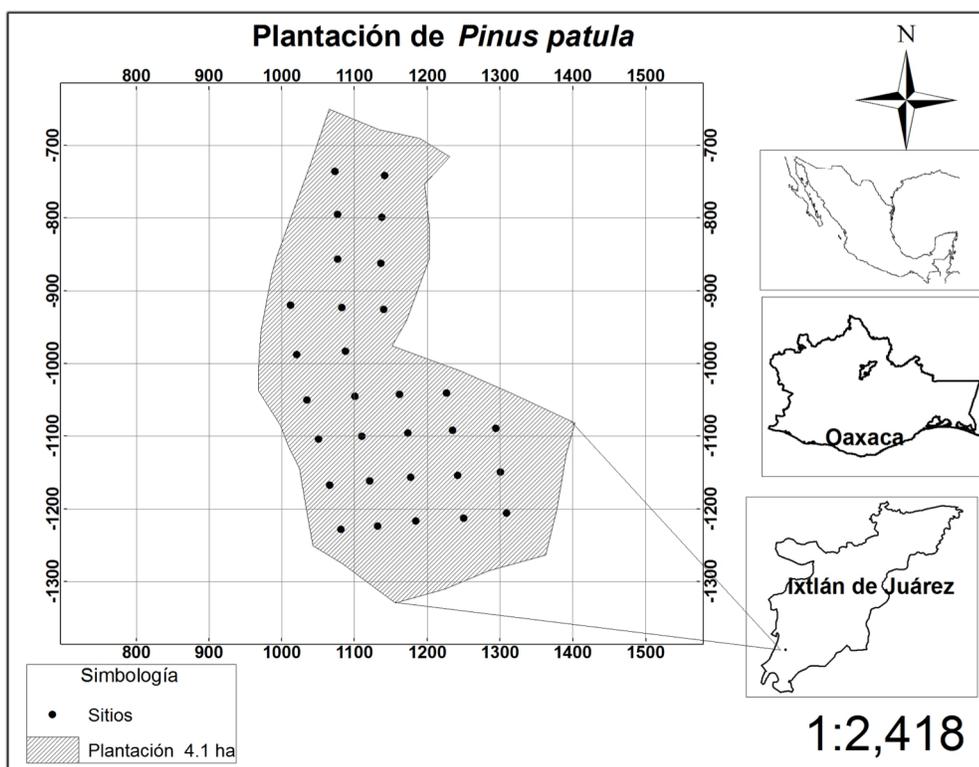


Figura 1. Localización de la plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en Ixtlán, Oaxaca.

A partir de un muestreo sistemático, se distribuyeron 30 sitios temporales, circulares de 400 m². En cada uno se midieron, en todos los árboles, las siguientes variables: diámetro normal (DN, en cm) con cinta diamétrica *Bioweb*[®] JIMG-59571; altura total (m) con la pistola Haga *GmbH & Co* D-90429; diámetro de copa (DC, en m), con cinta métrica *Truper*[®], se consideraron dos diámetros; posición sociológica de copas. Además, se registraron datos de sitio: altitud (m) y exposición con GPS *Garmin e Trex* 10, pendiente (%) con clinómetro *Suunto Finland Pm5/360pc*. En cada sitio, se extrajo una viruta con el taladro de *Pressler Haglof JIM-GEM* 14" a dos árboles dominantes, a una altura de 1.30 m del suelo, con el fin de analizar las variables de crecimiento, se aplicó la metodología descrita por Quiñones *et al.* (2015).

Análisis de virutas

Se procesaron un total de 60 virutas para calcular el incremento medio anual (IMA, en mm año⁻¹) e incremento corriente anual (ICA, en mm año⁻¹) en diámetro; para calcular la edad se contabilizó el número total de anillos del centro hacia la corteza; también se midieron diámetros (extremos y parte media, en cm) y la longitud total (cm). Con el visor del estereoscopio (*Optika*[®] modelo SZ-CTV) se hicieron las marcas para diferenciar a la madera temprana y tardía de cada anillo, a los cuales se les midió la longitud (mm) y diámetro (mm) con vernier electrónico *TITAN*[®] para posteriormente ubicarlos, con la fórmula dendrométrica de *Newton* (Romahn y Ramírez, 2006). Las virutas se colocaron en la estufa de secado (*Memmert*[®] modelo UFP800DW) a una temperatura de 100 °C hasta alcanzar peso constante, después se determinó el peso anhidro (P_s , g) con una balanza analítica (*SHIMADZU*[®] modelo ATY224). Con base en el volumen y peso seco se determinó la densidad específica de la madera con la relación:

$$DE = P_s/V$$

Donde:

DE = Densidad específica (g cm⁻³)

V = Volumen (cm³)

P_s = Peso seco (g)

Análisis de la información

Se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas con el procedimiento *UNIVARIATE* y las pruebas de *Shapiro-Wilk* y *Bartlett*, para cumplir con esos supuestos. A las variables que no lo hicieron, se les aplicó la transformación raíz cuadrada (*SQRT-x*).

Para construir el modelo de IS se recolectaron 90 virutas en el bosque natural adyacente y dentro de la plantación, distribuidos en todas las condiciones de crecimiento de *P. patula*. Con la información de altura y edad proveniente del análisis de virutas, se ajustaron funciones para estimar el índice de sitio (Montero y Kanninen, 2003; López y Valles, 2009; Pérez *et al.*, 2012; Rodríguez-Carrillo *et al.*, 2015). Para la rutina de análisis de regresión se usó el paquete estadístico SAS (SAS, 2004), mediante el método de mínimos cuadrados, con el procedimiento *MODEL*. El mejor modelo ajustado resultó el de *Schumacher*:

$$IS = 40.33e^{-13.52(1/edad)}$$

Donde:

IS = Índice de sitio (m)

e = 2.7182

Los siguientes estadísticos respaldan la función ajustada: coeficiente de determinación ajustado (R^2 adj)=0.94, cuadrado medio del error (CME)=4.98, error estándar (EE)=2.23. Se construyeron curvas de IS a partir del método de la curva guía, a una edad base de 40 años; esto consistió en ajustar la

tendencia promedio de las alturas dominantes en todo el intervalo de edades para obtener una curva denominada curva guía, a partir de la cual se construyó una familia de curvas por arriba y por abajo de ella, cada una de ellas representa una calidad de sitio diferente durante un periodo (Attis *et al.*, 2015).

Para observar el momento óptimo del crecimiento en las variables madera temprana y madera tardía se graficó la intersección entre el IMA e ICA. Las ecuaciones se evaluaron con los siguientes estadísticos de bondad de ajuste: significancia, coeficiente de determinación (R^2) ajustado, cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y residuales.

Las agrupaciones de la calidad de sitio se hicieron de acuerdo con el IS: calidad baja ($IS \leq 24$ m), calidad regular ($IS > 24, \leq 27$), calidad buena ($IS > 27, \leq 30$), calidad muy buena ($IS > 30, \leq 33$) y calidad excelente ($IS > 33$). Para comparar el comportamiento de las variables dasométricas y de crecimiento en relación a la calidad de sitio, se realizaron análisis de varianza ($p = 0.05$), cuya variable clasificatoria fue la calidad de sitio, además se utilizó el método de medias de *Duncan* ($p = 0.05$) para observar las diferencias.

Resultados y Discusión

Efecto de la calidad de sitio

Las variables dasométricas y de crecimiento de los árboles resultaron altamente significativas ($p \leq 0.0001$); es decir, el comportamiento de las variables evaluadas fue diferente con respecto a la calidad de sitio (Cuadro 1). Esto coincide con Martínez-Salvador *et al.* (2013), quienes al evaluar la productividad de tres calidades de estación para *Pinus arizonica* Engelm. y *P. engelmannii* Carr., en Chihuahua, registran diferencias significativas entre las calidades de estación ($p < 0.05$) en su efecto sobre la productividad de los árboles. Por su

parte, Mollinedo *et al.* (2005) demostraron que los sitios con mayor productividad se aglutinan en escenarios donde la calidad es mejor (Jerez-Rico *et al.*, 2011).

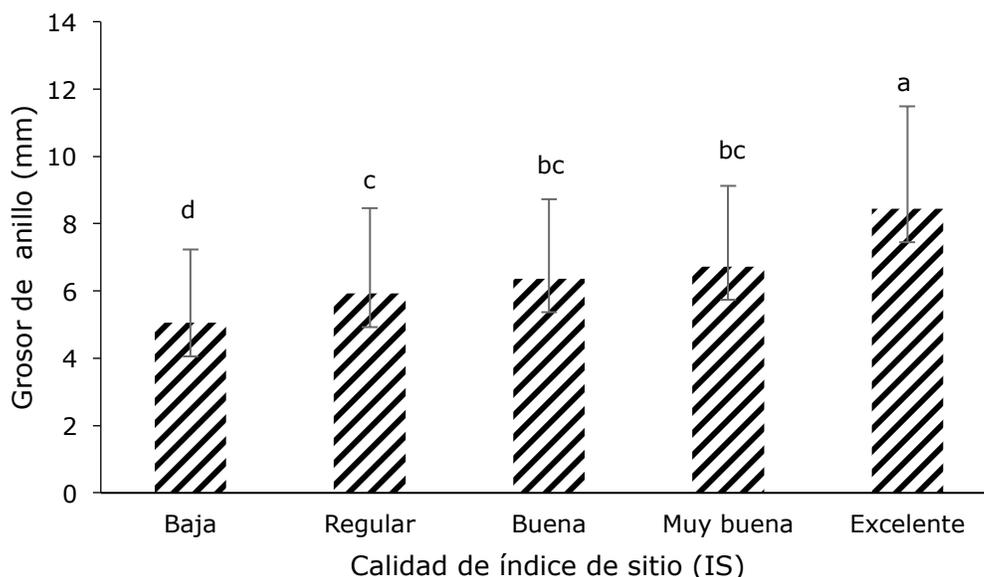
Cuadro 1. Efecto de la calidad de sitio en variables dasométricas y de crecimiento en *Pinus patula* Schltidl *et* Cham.

FV	GL	DN (cm)	Altura (m)	DA (árboles ha ⁻¹)	DE (g cm ⁻³)	Madera temprana		Madera tardía		GA (mm)
						IMA (mm año ⁻¹)	ICA (mm año ⁻¹)	IMA (mm año ⁻¹)	ICA (mm año ⁻¹)	
CM										
CS	4	18.26**	31.47**	474.83**	0.08**	0.41**	0.38**	7.56**	7.96**	7.06**
Error	1255	0.21	0.01	13.54	0.002	0.01	0.04	0.05	0.18	0.23
Total	1259									

Los valores de los cuadrados medios están elevados a la raíz cuadrada; ** = Altamente significativo ($p \leq 0.01$); DN = Diámetro normal; DA = Densidad arbórea; DE = Densidad específica de la madera; IMA = Incremento medio anual; ICA = Incremento corriente anual; GA = Grosor de anillo; CS = Calidad de sitio (excelente, muy buena, buena, regular y baja); FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; CM = Cuadrados medios.

El grosor de anillo con respecto a la calidad de sitio presentó una relación positiva en la que, con más calidad de estación mayor grosor de anillo. Por ejemplo, en los sitios con calidad de estación excelente el grosor de anillo = 8.45 mm, a diferencia de la baja, en la que el grosor = 5 mm (Figura 2), y son estadísticamente diferentes ($p = 0.0001$). Al respecto, en especies de rápido crecimiento como *Pinus patula* es importante determinar el grosor de los anillos por cada tipo de IS, porque ello posibilita conocer la velocidad del incremento en la variable diámetro normal (Melandri *et al.*, 2007).

En esta investigación, se determinó que la calidad del sitio influye en el grosor de anillo, lo cual coincide con lo citado por Goche-Télles *et al.* (2003) para dos calidades de sitio (baja y alta) en *Pinus patula* en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, dichos autores indican diferencias estadísticas significativas ($p = 0.0001$); y que esas diferencias se atribuyen a las condiciones donde se desarrolla la especie, y que el crecimiento depende, en gran medida, de las propiedades edáficas, siempre y cuando las condiciones climáticas sean uniformes (Afif *et al.*, 2010). Sobre el particular, Moya *et al.* (2010) estudiaron la influencia de las propiedades físicas y químicas del suelo sobre la calidad en la madera en *Tectona grandis* Linn F. y discuten que no solo inciden en ella, sino también en su crecimiento.



Las líneas verticales representan la desviación estándar; letras diferentes en las barras corresponden a diferencias estadísticas (Duncan, 0.05).

Figura 2. Grosor de anillo en relación a la calidad del IS.

La densidad específica de la madera es uno de los criterios más importantes para determinar su calidad, debido a que se relaciona de manera directa con la resistencia y rendimientos de pulpa para la industria papelera (Daniel *et al.*, 1982; Monteoliva *et al.*, 2002). En plantaciones forestales, es importante monitorear la variable densidad específica de la madera, ya que a partir de ella se puede inferir la calidad de los productos maderables que ofrece la industria.

En el presente estudio se observa que los valores más altos de gravedad específica están en calidades de sitio regular y buena (0.37 y 0.36 g cm⁻³, respectivamente); en contraste con las calidades excelente y muy buena (0.33 y 0.32 g cm⁻³) (Figura 3). Lo anterior sugiere que no existe un patrón definido; por lo tanto, los árboles ubicados en sitios con mejor calidad de estación (muy bueno y excelente) muestran crecimiento más activo y desarrollan madera de menor gravedad específica. Sin embargo, la calidad baja también mostró una gravedad específica baja, lo cual se explica a partir de que la calidad de sitio es la combinación de varios factores: clima, suelo, fisiografía, manejo, entre otros, y que alguno de ellos al presentar una variación en menor o mayor proporción, puede resultar en un crecimiento heterogéneo; por ubicarse en sitios de calidad de estación diferentes (Cuadro 2) (Mora *et al.*, 2015). Además, se considera que la densidad específica baja de la madera, entre 0.32 y 0.37 g cm⁻³, es debido a que los árboles son jóvenes, de 21 años de edad, en los que gran parte de las células del tallo falta que aumenten el grosor de sus paredes celulares (López y Valencia, 2001). Lo anterior explicaría que los valores obtenidos sean inferiores al señalado por Vázquez-Cuecuecha *et al.* (2015), de 0.46 g cm⁻³ de densidad básica de la madera en árboles maduros de *Pinus patula*, con respecto a propiedades del suelo. Goche *et al.* (2011) coinciden con el mismo valor (0.46 g cm⁻³) en árboles de *Pinus patula*; sin embargo, discuten que la densidad de la madera varía dentro de las partes del árbol, entre individuos y especies, además de que es posible que esté influenciada por la edad, forma del árbol,

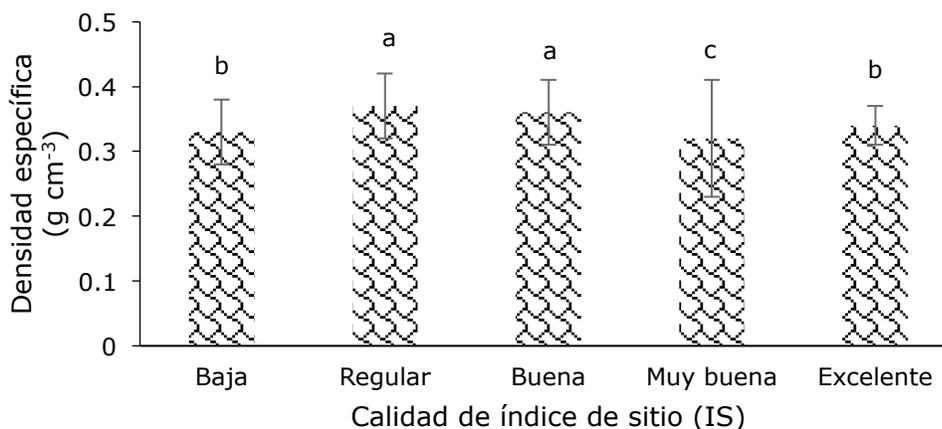
diferencias genéticas, velocidad de crecimiento e historia evolutiva, entre otros (Jovanovski *et al.*, 2005; Castillo *et al.*, 2013).

Desde un punto de vista industrial, la densidad específica de los árboles que provienen de plantaciones forestales debe ser uniforme, porque ello influye en la calidad del producto final, lo que ayudaría a evitar especulaciones en la calidad (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2012).

Cuadro 2. Características del arbolado de *Pinus patula* Schlttdl *et* Cham. en relación a la calidad de sitio en que crece.

Calidad del IS	DA* (árboles ha ⁻¹)	DN* (cm)	Altura* (m)	DC* (m)
Baja	820.11 ± 232.76 b	26.02 ± 4.37 d	22.65 ± 1.33 e	4.59 ± 1.13 d
Regular	769.04 ± 180.61 c	29.10 ± 4.79 c	25.79 ± 0.74 d	5.19 ± 1.16 c
Buena	758 ± 223.14 c	31.27 ± 5.48 b	29.1 ± 0.89 c	5.75 ± 2.34 b
Muy buena	982.67 ± 185.09 a	31 ± 7 b	31.83 ± 0.90 b	5.61 ± 2.59 b
Excelente	649 ± 11.13 d	38.5 ± 1.51 a	34.5 ± 0.50 a	9.1 ± 1.92 a
CV	25.42	17.2	3.76	31.15

Los valores corresponden a la media y su respectiva desviación estándar. Letras distintas por columna indican diferencias estadísticas (*Duncan*, 0.05); IS = Índice de sitio; DA = Densidad arbórea; DN = Diámetro normal; DC = Diámetro de copa; CV = Coeficiente de variación. * = $p = 0.0001$.



Las líneas verticales representan la desviación estándar; letras diferentes en las barras corresponden a diferencias estadísticas (Duncan, 0.05).

Figura 3. Densidad específica en relación a la calidad del IS.

El IMA e ICA, con respecto a las calidades de sitio se comportan de manera ascendente; es decir, los incrementos en madera temprana y tardía aumentan a medida que la calidad mejora. Por ejemplo, el IMA de madera temprana para la calidad baja es de 3.7 mm año⁻¹, mientras que en una calidad excelente es igual a 6.76 mm año⁻¹, ambas fueron significativamente diferentes (Duncan, 0.05) (Cuadro 3). Una posible razón es que los árboles que se encuentran en calidades de estación mejores poseen copas de mayor tamaño y que, generalmente, conforman el dosel superior; por lo tanto captan mayor cantidad de luz solar (Interián-Ku, *et al.*, 2014) (Cuadro 2). En este sentido, a medida que disminuya la calidad de estación, los recursos serán limitados, lo cual se reflejará en la dinámica de crecimiento del árbol (Mayo *et al.*, 2008).

Cuadro 3. Incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) de madera temprana y tardía en relación a la calidad del IS.

Calidad del IS	Madera temprana		Madera tardía	
	ICA* (mm año ⁻¹)	IMA* (mm año ⁻¹)	ICA* (mm año ⁻¹)	IMA* (mm año ⁻¹)
Baja	3.70 ± 1.74 d	3.70 ± 0.96 e	1.35 ± 0.50 c	1.35 ± 0.25 d
Regular	4.40 ± 1.91 c	4.40 ± 0.84 d	1.51 ± 0.59 b	1.51 ± 0.30 bc
Buena	4.81 ± 1.70 c	4.81 ± 0.83 c	1.55 ± 0.59 ab	1.55 ± 0.36 b
Muy buena	5.28 ± 1.82 b	5.28 ± 1.39 b	1.44 ± 0.50 bc	1.44 ± 0.22 c
Excelente	6.76 ± 2.00 a	6.76 ± 0.57 a	1.69 ± 0.72 a	1.69 ± 0.36 a
CV	41.04	21.24	38.35	20.37

Los valores corresponden a la media y su respectiva desviación estándar. Letras distintas por columna indican diferencias estadísticas (*Duncan*, 0.05). IS = Índice de sitio; ICA = Incremento corriente anual (mm año⁻¹); IMA = Incremento medio anual (mm año⁻¹); CV = Coeficiente de variación. * = $p = 0.0001$

Estimación del crecimiento en madera temprana y tardía

La intersección entre el ICA e IMA muestra el momento preciso en el que los incrementos son los óptimos; es decir, cuando el árbol alcanza los mejores rendimientos maderables (Martínez *et al.*, 2014). Los sitios que difieren en calidades de estación presentan incrementos óptimos casi al mismo tiempo (calidad baja a los 8 años y calidad excelente a los 9 años), lo que implica que tienen un comportamiento similar. Sin embargo, los incrementos de madera temprana en sitios con calidad excelente fueron de 9 mm, a diferencia de los sitios con calidad baja que alcanzaron 5 mm (Figura 4). Sobre el particular, Pompa-García y Domínguez-Calleros (2015) indican que las buenas capacidades ecológicas del sitio impactan positivamente en el crecimiento de los árboles.

La madera tardía es importante en la densidad específica, debido a que repercute en la proporción de materia seca por unidad de volumen; de tal manera que, si se eleva el porcentaje de madera tardía, la densidad de la madera aumenta (Pereyra y Gelid, 2002). La edad en que *Pinus patula* obtuvo los rendimientos óptimos para esta variable fue a los ocho años, con casi 2.4 mm para la calidad excelente, en contraste con 1.5 mm a los 10 años para la baja (Figura 5). Esto puede relacionarse con que los árboles presentan estrategias de crecimiento diferentes en función del ambiente en que se desarrollan; por lo tanto, la proporción de madera tardía estará en función de las variaciones de sitio (Cambrón *et al.*, 2013; Piraino, 2016). Es importante que el administrador forestal identifique de manera adecuada el sitio donde se establecerá la plantación de *P. patula*, para que la variable se comporte de manera uniforme en los árboles.

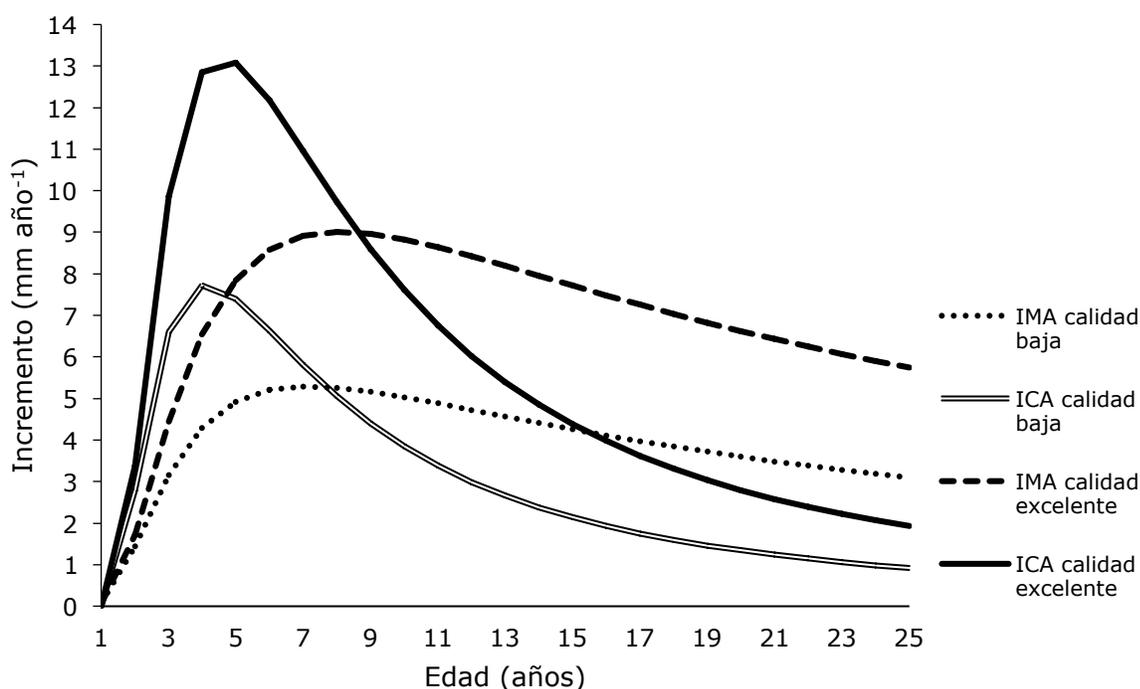


Figura 4. Contraste de los incrementos de madera temprana en relación a las calidades de sitio.

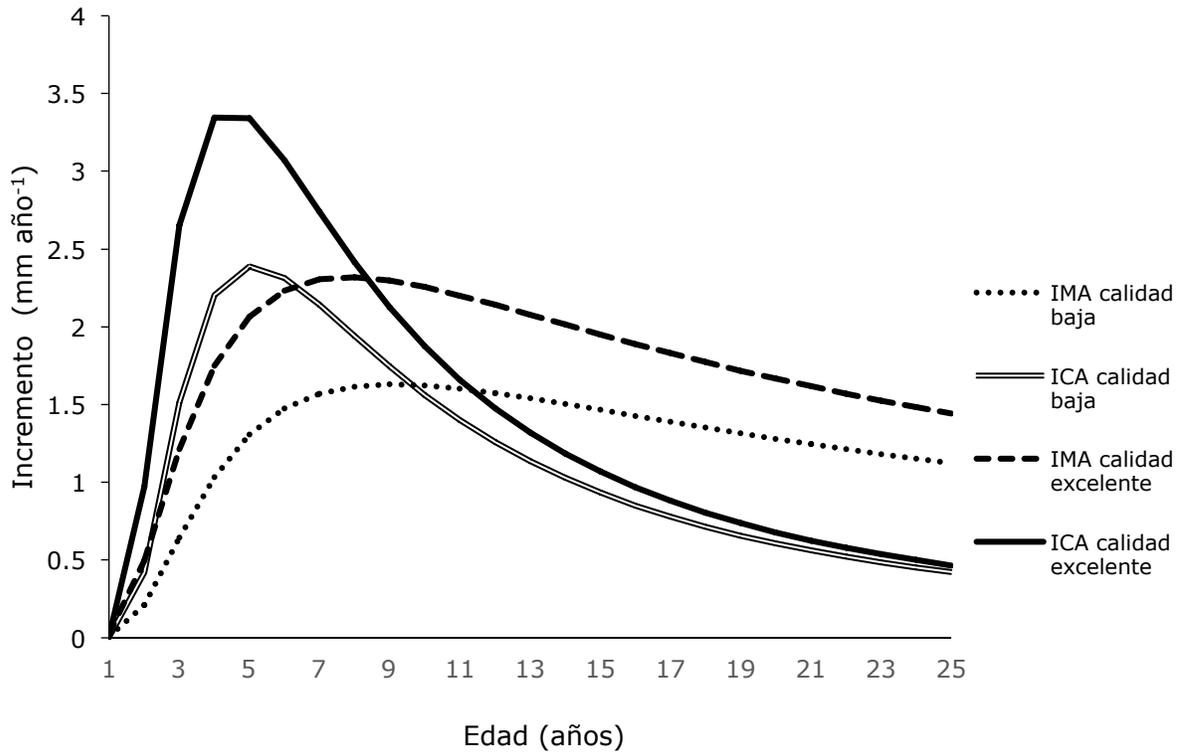


Figura 5. Contraste de los incrementos de madera tardía en relación a las calidades de sitio.

Conclusiones

El crecimiento e incremento de *Pinus patula* bajo plantación está determinado por la calidad de sitio ($p=0.0001$); cuando los factores ambientales son favorables, los incrementos en madera temprana y tardía alcanzan 6.76 y 1.69 mm año⁻¹, respectivamente. Sin embargo, los árboles con crecimiento más activo por encontrarse en sitios con mejor calidad de estación, formaron madera con densidad específica menor (0.33 y 0.32 g cm⁻³), que los ubicados en sitios con calidad de estación menos favorable (0.37 y 0.36 g cm⁻³).

Agradecimientos

Los autores desean hacer patente su agradecimiento a las autoridades de Bienes Comunales de la Comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, por las facilidades prestadas para la realización del presente trabajo de investigación.

Conflicto de intereses

Por este medio declaramos la inexistencia de conflictos de interés en el desarrollo de la presente investigación.

Contribución por autor

J. Ángel García-Aguilar: trabajo de muestreo en campo; Vicente Arturo Velasco-Velasco y Gerardo Rodríguez-Ortiz: desarrollo del análisis estadístico de datos; José Raymundo-Enríquez del Valle: análisis de laboratorio.

Referencias

Afif, K., E., E. Canga L., J. A. Oliveira P., J. J. Gorgoso V. y M. A. Cámara O. 2010. Crecimiento en volumen y estado nutricional de *Eucalyptus globulus* Labill. y *Pinus radiata* D. Don en Asturias, España. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 1(1): 47-54. <http://www.redalyc.org/pdf/634/63438954006.pdf> (7 de mayo de 2016).

Arteaga-Martínez, B. 2000. Evaluación dasométrica de plantaciones de cuatro especies de pinos en Ayotoxtla, Guerrero. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 6(2): 151-157. <https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchscfaVI335.pdf> (10 de noviembre de 2016).

Attis B., H., L. M. Chauchard y G. Martínez P. 2015. Curvas preliminares de índice de sitio para bosques puros y mixtos de *Nothofagus alpina* y *Nothofagus obliqua* en la Patagonia Argentina. *Bosque* 36(2): 275-285. <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v36n2/art13.pdf> (5 de octubre de 2016).

Cambrón S., V. H., H. Suzán A., J. J. Vargas H., N. M. Sánchez V. y C. Sáenz-Romero. 2013. Estrategias de crecimiento y distribución de biomasa en *Pinus pseudostrobus* bajo diferentes condiciones de competencia. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(1): 71-79. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n1/v36n1a8.pdf> (10 de octubre de 2016).

Castillo L., A., B. Vargas-Larreta, J. J. Corral R., J. A. Nájera L., F. Cruz C. y F. J. Hernández. 2013. Modelo compatible altura-índice de sitio para cuatro especies de pino en Santiago Papasquiaro, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(18): 86-103. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v4n18/v4n18a7.pdf> (10 de julio de 2016).

Cornejo O., E. H., J. A. Pereyra G., O. Mares A., S. Valencia M. y C. Flores L. 2005. Índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. En la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(3): 213-219. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/28-3/5a.pdf> (15 de julio de 2016).

Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. *Principios de Silvicultura*. McGraw_Hill. México, D.F., México. pp. 231-250.

Davel, M. y A. Ortega. 2003. Estimación del índice de sitio para pino oregón a partir de variables ambientales en la Patagonia Andina Argentina. *Bosque* 24(1): 55-69. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173114407005> (1 de agosto de 2016).

Esse R., C., C. O. Navarro y J. C. Pinares. 2007. Curvas de índice de sitio para *Nothofagus dombeyi* en la zona preandina, provincia de Cautín, IX Región, Chile. *Bosque* 28(2): 142-151. <http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v28n2/art07.pdf> (1 de agosto de 2016).

Goche T., J. R., A. Velázquez M., A. Borja de la R., J. Capulín G. y C. Palacios M. 2011. Variación radial de la densidad básica en *Pinus patula* Schltdl. et Cham. de tres localidades en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(7): 71-78. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v2n7/v2n7a6.pdf> (5 de agosto de 2016).

Goche-Télles, R., A. Velázquez-Martínez, A. Borja-de la Rosa, T. Terrazas, C. Cervantes-Martínez y A. Trinidad-Santos. 2003. Densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* antes y después de un aclareo. *Interciencia* 28(12): 705-709. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908705> (3 de septiembre de 2016).

González I., E., H. Barrero M. y Y. Carrasco R. 2013. Evaluación de las clases de calidad de sitio de *Pinus caribaea var. caribaea* en la Empresa Forestal Integral Macurije (Pinar del Río, Cuba). *Ecosistemas* 22(3): 46-51. <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/874> (5 de septiembre de 2016).

Hernández-Ramos, J., J. J. García-Magaña, X. García-Cuevas, A. Hernández-Ramos, H. J. Muñoz-Flores y M. Samperio-Jiménez. 2014. Índice de sitio para bosques naturales de *Pinus teocote* Schlechtl. & Cham. en el oriente del estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27): 24-36. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v6n27/v6n27a3.pdf> (5 de septiembre de 2016).

Interián-Ku, V. M., H. Vaquera-Huerta, J. I. Valdez-Hernández, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares y A. Borja-De la Rosa. 2014. Influencia de factores morfológicos y ambientales sobre el crecimiento en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en un bosque tropical caducifolio, en México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(3): 255-270. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v20n3/v20n3a10.pdf> (30 de agosto de 2017).

Jerez-Rico, M., A. Y. Moret-Barillas, O. M. Carrero-Gámez, R. E. Macchiavelli y A. M. Quevedo-Rojas. 2011. Curvas de índice de sitio basadas en modelos mixtos para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. F.) en los llanos de Venezuela. *Agrociencia* 45(1): 135-145. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30219760012> (7 de septiembre de 2016).

Jovanovski, A., M. Davel y D. Mohr-Bell. 2005. Densidad básica de la madera de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en la Patagonia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 14(2): 153-160. [http://www.inia.es/gcontrec/pub/153-160-\(02_05\)-Densidad_1162281267093.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/153-160-(02_05)-Densidad_1162281267093.pdf) (10 de septiembre de 2016).

León H., W. J. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Revista Venezolana* 54(1): 67-76. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/31646/1/ensayo1.pdf> (10 de septiembre de 2016).

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. *Revista Ciencia Forestal en México* 34(105): 187-198. <http://www.scielo.org.mx/pdf/cfm/v34n105/v34n105a10.pdf> (10 de septiembre de 2016).

López L., M. y S. Valencia M. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. *Madera y Bosques* 7(1): 37-47. <http://www.redalyc.org/pdf/617/61770105.pdf> (29 de agosto de 2017).

Martínez S., M., S. Madrigal H., I. Vázquez C., E. Velasco B., C. R., Morales N. y F. Villareal G. 2014. Efecto de *Arceuthobium vaginatum* (Willd.) Presl. subsp. *vaginatum* en *Pinus hartwegii* Lindl. en Colima. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(29): 44-55. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v6n29/v6n29a4.pdf> (15 de septiembre de 2016).

Martínez-Salvador, M., R. D. Valdez-Cepeda y M. Pompa G. 2013. Influencia de variables físicas en la productividad de *Pinus arizonica* y *Pinus engelmannii* en el sur de Chihuahua, México. *Madera y Bosques* 19(3): 35-49. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v19n3/v19n3a4.pdf> (20 de septiembre de 2016).

Martínez-Zurimendi, P., M. Domínguez-Domínguez, A. Juárez-García, L. M. López-López, V. de la Cruz-Urías y J. Álvarez-Martínez. 2015. Índice de sitio y producción maderable en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(4): 415-425. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v38n4/v38n4a10.pdf> (20 de septiembre de 2016).

Mayo H., J. M., M. Barrio A. y M. J. Lombardero D. 2008. Influencia de la calidad de estación en el crecimiento de *Pinus pinaster* y *P. radiata* tras una defoliación de procesionaria. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 26: 67-71. http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/viewFile/9726/9644 (30 de agosto de 2017).

Melandri, J. L., N. Dezzeo y N. Espinoza de P. 2007. Periodicidad de los anillos de crecimiento en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* proveniente de una plantación del

- estado Mérida, Venezuela. Revista Forestal Venezolana 51(1): 57-66. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24466/2/articulo6.pdf> (10 de mayo de 2016).
- Mollinedo, M., L. Ugalde, A. Alvarado, J. M. Verjans y L. C. Rudy. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*), en la zona oeste de la cuenca del canal de Panamá. Agronomía Costarricense 29(1): 67-75. http://www.mag.go.cr/rev_agr/v29n01_067.pdf (15 de julio de 2016).
- Monteoliva, S., G. Senisterra, J. Marquina, R. Marlats y S. Villegas. 2002. Estudio de la variación de la densidad básica de la madera de ocho clones de sauce (*Salix spp.*). Revista Facultad de Agronomía 105(1): 77-82. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15671/Documento_completo_.pdf?sequence=1 (7 de mayo de 2016).
- Montero, M. y M. Kanninen. 2003. Índice de sitio para *Terminalia amazonia* en Costa Rica. Agronomía Costarricense 27(1): 29-35. http://www.mag.go.cr/rev_agr/v27n01_029.pdf (5 de octubre de 2016).
- Mora, F., R. Muñoz, V. Meza y W. Fonseca. 2015. Factores edáficos que influyeron en el crecimiento de *Vochysia guatemalensis* en la región Huetar Norte de Costa Rica. Agronomía Costarricense 39(1): 71-89. <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/19547/19631> (5 de octubre de 2016).
- Moya, R., V. Arce L., E. González P., C. Olivares G. y V. Rios G. 2010. Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en algunas propiedades de la madera de teca (*Tectona grandis*). Revista Árvore 34(6): 1109-1118. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48818716017> (22 de noviembre de 2016).
- Pereyra, O. y M. Gelid. 2002. Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* para plantaciones de Misiones y Norte de Corrientes. Revista Floresta 33(1): 3-19. <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2308/1928> (22 de noviembre de 2016).

Pérez G., G., M. Domínguez-Domínguez, P. Martínez-Zurimendi y J. D. Etchevers B. 2012. Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y Bosques* 18(1):7-24. <http://www.redalyc.org/pdf/617/61724713002.pdf> (10 de julio de 2016).

Piraino, S. 2016. Influencia de la heterogeneidad ambiental y el disturbio sobre la dinámica en el crecimiento radial de *Prosopis flexuosa* DC en el Desierto del Monte Central. *Ecosistemas* 25(1): 105-107. <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/1133/944> (7 de septiembre de 2016).

Pompa-García, M. y P. A. Domínguez-Calleros. 2015. Respuesta de madera temprana y tardía a la sequía en una conífera mexicana bajo dos condiciones ecológicas. *Ecosistemas* 24(2): 37-42. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/1067/895> (31 de agosto de 2017).

Quiñones B., G., H. M. De los Santos P. y J. G. Álvarez G. 2015. Crecimiento en diámetro normal para *Pinus* en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(29): 108-125. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v6n29/v6n29a8.pdf> (15 de julio de 2016).

Rodríguez-Carrillo, A., F. Cruz-Cobos, B. Vargas-Larreta and J. Hernández. 2015. Compatible dominant height-site index model for juniper (*Juniperus deppeana* Steud). *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 21(1): 97-108. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v21n1/v21n1a8.pdf> (3 de septiembre de 2016).

Rodríguez-Ortiz, G., V. A. González-Hernández, A. Aldrete, H. M. De los Santos-Posadas, A. Gómez-Guerrero y A. M. Fierros-González. 2011. Modelos para estimar crecimiento y eficiencia de crecimiento en plantaciones de *Pinus patula* en respuesta al aclareo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(3): 205-212. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v34n3/v34n3a12.pdf> (7 de mayo de 2016).

Romahn de la V., C. F. y H. Ramírez M. 2006. Dendrometría. Edición digital corregida y aumentada. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 309 p.

Statistical Analysis System (SAS). 2004. SAS/STAT 9.1 User's guide. SAS Institute. Cary, NC USA. 4979 p.

Silva-Arredondo, F. M. y J. J. Návar-Cháidez. 2012. Estimación de la densidad de madera en árboles de comunidades forestales templadas del norte del estado de Durango, México. *Madera y Bosques* 18(1): 77-88. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v18n1/v18n1a6.pdf> (5 de octubre de 2016).

Torres-Rojo, J. M. y A. G. Valles-Gándara. 2007. Índice de productividad de sitios multiespecíficos a través de funciones en sitios forestales. *Agrociencia* 41(6): 687-700. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30241610> (7 de mayo de 2016).

Ugarte-Guerra, L. J. y G. Domínguez-Torrejón. 2010. Índice de sitio (IS) de *Calycophyllum spruceanum* Benth. en la relación con la altura dominante del rodal en ensayos de plantación en la cuenca del Aguaytía, Ucayali, Perú. *Ecología Aplicada* 9(2): 101-111. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v9n2/a05v9n2.pdf> (22 de noviembre de 2016).

Vargas-Larreta, B., J. G. Álvarez-González, J. J Corral-Rivas y O. A. Aguirre C. 2010. Construcción de curvas dinámicas de índice de sitio para *Pinus cooperi* blanco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4): 343-351. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v33n4/v33n4a12.pdf> (16 de junio de 2016).

Vázquez-Cuecuecha, O. G., E. M. Zamora-Campos, E. García-Gallegos y J. A. Ramírez-Flores. 2015. Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas. *Madera y Bosques* 21(1): 129-138. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21n1/v21n1a10.pdf> (16 de junio de 2016).