

Índices de sitio (IS) para la selección y fomento de especies forestales en República Dominicana

José Mercedes^{1*}, Isidro Almonte² y Pedro Núñez³

¹Investigador Asociado, Centro Norte, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), Calle Rafael Augusto Sánchez #89, Ensanche Evaristo Morales, Santo Domingo, República Dominicana.

²Investigador Asociado, Centro Norte, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF).

³Investigador Titular, Centro Norte, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Docente Cátedra de Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD).

*Autor de correspondencia: jmercedes@idiaf.gov.do, josmer_ur@yahoo.com

RESUMEN

El bosque dominicano ha sido degradado principalmente por actividades antrópicas. En su recuperación, se han plantado, con éxitos y fracasos, diferentes especies sin considerar factores determinantes claves como calidad de sitio que afectan la plasticidad y rango de distribución de las especies. El productor forestal dominicano tiene pocas herramientas técnicas para la selección de especies, por lo que el objetivo de la investigación fue la determinación de los índices de sitio (IS) como herramienta de selección para el uso y fomento de dos especies forestales en tres provincias de República Dominicana. En base a un listado de plantaciones establecidas en la República Dominicana, se escogieron 255 plantaciones de pino caribea (*Pinus caribaea* Morelet) y pino criollo (*Pinus occidentalis* Swartz), establecidas en las provincias La Vega, Santiago de los Caballeros y Santiago Rodríguez, con edades entre 5 a 40 años. Se descartaron las plantaciones con signos de deterioro y las que recibieron raleo superior. Con esas informaciones se desarrollaron curvas anamórficas de IS. Los IS determinados se relacionaron con variables físicas y químicas del suelo, condiciones topográficas y factores ambientales. La provincia La Vega mostró las mejores condiciones para el fomento de las especies. Los IS encontrados muestran una relación esperada entre crecimiento (IS) y edad, así como potenciales productivos comparables con los reportados por la literatura internacional. La información sobre IS de las plantaciones recolectada, evidencian que la República Dominicana requieren estudios más específicos para las especies forestales establecidas en diversas provincias del país.

Palabras claves: Reforestación, foresta, *Pinus*, especie, suelo.

ABSTRACT

The Dominican forest has been degraded mainly by anthropic activities. In their recovery, different species have been planted, with successes and failures, without considering key determining factors such as site quality affecting the plasticity and range of distribution of the species. The Dominican forest producer has few technical tools for species selection, so the objective of the research was to determine site indexes (SI) as a selection tool for the use and promotion of two forest species in three provinces of Dominican Republic. Based on a list of plantations established in the Dominican Republic, 255 plantations of Caribbean pine (*Pinus caribaea* Morelet) and native pine (*Pinus occidentalis* Swartz) were chosen, established in La Vega, Santiago de los Caballeros and Santiago Rodríguez provinces and with ages range between 5 to 40 years. Plantations with signs of deterioration and those that received superior thinning were discarded. With this information, SI anamorphic

curves were developed. The determined SI was related to soil's physical and chemical variables, topographic conditions and environmental factors. La Vega province showed the best conditions for the promotion of species. The SI found, show a expected relationship between growth (SI) and age, as well as productive potentials comparable to those reported by the international literature. The IS information for plantations collected shows that the Dominican Republic requires more specific studies for forest species established in the country.

Keywords: Reforestation, forest, Pinus, specie, soil.

INTRODUCCIÓN

La productividad de los bosques y plantaciones requiere ser incrementada mediante el uso de técnicas y herramientas que los mejoren, pues la condición natural de un suelo, no es garantía para las especies a considerar como potenciales para una alta productividad y calidad comercial. Por esto, determinar su índice de sitio (IS), permite conocer las potencialidades de los suelos y permitiría desarrollar un plan para el fomento y manejo forestal, asegurando la biodiversidad de los recursos naturales y sostenibilidad de la producción y productividad de los bosques y plantaciones, Martínez-Zurimendi *et al.* (2015).

El IS indica la altura media de árboles dominantes a una edad determinada y se utiliza a menudo para estimar la productividad potencial de los sitios boscosos, constituyendo una herramienta esencial de soporte para el manejo apropiado de los bosques, Bueno y Bevilacqua (2012b). Este se relaciona con la calidad de la estación, en un área determinada asociada al crecimiento de árboles o la respuesta de desarrollo de una determinada especie a la totalidad de las condiciones ambientales existentes en un determinado lugar, Prodan *et al.* (1997). De acuerdo con Martínez-Salvador *et al.* (2013) la calidad de estación o sitio se refiere a la capacidad inherente de un territorio para hacer crecer los árboles que sostiene. Para expresar y calificar esa capacidad usualmente se utilizan modelos que relacionan edad-altura de árboles dominantes.

El IS es una herramienta que permite evaluar la productividad del bosque; al conjugar los objetivos y potencialidades productivas de los terrenos boscosos mediante la interacción de múltiples variables, para favorecer las condiciones propias de un determinado lugar o zona en la que podría establecerse o se ha establecido una especie forestal. Este índice brinda información para orientar la toma de decisiones en la silvicultura, que sean aplicables al presente o al futuro. También, permite analizar opciones de uso de la tierra, simular prácticas silviculturales, analizar o sintetizar hipótesis, conocimientos y datos experimentales a una expresión entendible del compartimiento de la especie o rodal, entre otros, Dykstra (1984).

La herramienta de IS, utiliza variables como: el crecimiento del árbol o de una masa forestal, su rendimiento en volumen de madera (Klepac 1983) y variables edafológicas, como la topografía, propiedades físicas y propiedades químicas. Prodan *et al.* (1997), indican, que las curvas de IS presentan una mayor relación con la evolución real de la altura. Los datos de altura sobre edad, se derivan por el principio de proporcionalidad constante. Khouri *et al.* (2010), muestran que el suelo, con su pH y las relaciones que existen entre micro y macro nutrientes son de alta influencia en el desarrollo de las especies *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* y que definen el desarrollo de las plantaciones.

Los análisis de suelo, indican que su utilidad demuestra todo su potencial para el diseño de recomendaciones de fertilización y manejo de nutrientes que busquen alcanzar rendimientos y alta rentabilidad cuando se les usa conjuntamente con otra información disponible (Molina, 2002; Molina, 2007).

Dobler y Torres (1999), realizaron trabajos de interpretación y análisis de crecimiento en República Dominicana para *Pinus occidentalis* Swartz, obteniendo los IS para la especie bajo diversas condiciones y edades. Bueno-López *et al.* (2015), en un estudio relacionando los factores edáficos-fisiográficos y la calidad de sitio para el Pino criollo, *P. occidentalis* Swartz, obtuvieron una correlación significativa entre el índice de sitio, altura sobre el nivel del mar y exposición. También hallaron una correlación significativa entre el índice de sitio y el contenido de materia orgánica, sodio y potasio. Se indica en el estudio que las variables elevación sobre el nivel del mar y azimut resultaron estadísticamente significativas y que pueden utilizarse para predecir el potencial productivo de lugares donde no existen árboles. González *et al.* (2013) evaluaron la calidad de sitio en función de variables edáficas, reportando que el modelo explicaba el 30 % de su variación.

Es evidente una limitada disponibilidad de IS calculados en plantaciones de pino caribea *Pinus caribaea* Morelet, y pino criollo, *P. occidentalis* Swartz para las provincias La Vega, Santiago de los Caballeros y Santiago Rodríguez. Por lo tanto, existe la necesidad de generar IS para diversas especies forestales de la República Dominicana y por tales razones se realizó la investigación con el objetivo de determinar los IS de estas dos especies forestales en la República Dominicana.

MATERIALES Y MÉTODOS

UBICACIÓN DEL ESTUDIO

En la investigación se realizó una medición de altura y diámetro de las plantas en los rodales con edades mayores de cinco años en las provincias La Vega, Santiago de los Caballeros y Santiago Rodríguez, Figura 1.

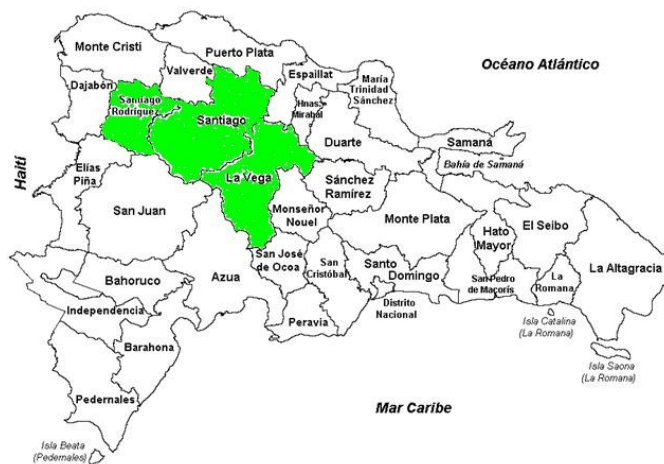


Figura 1. Mapa resaltando en verde la ubicación de la zona de estudio. Fuente: Elaborado a partir de: <https://jmarcano.com/mipais/geografia/province/>

Metodología de medición

Se escogieron los seis árboles de mayor diámetro para medir su altura. Si uno de éstos, tenía la parte superior dañada o su altura no superaba la media visual de altura de los demás árboles, se descartaba y era sustituido por otro que, aunque fuera de menor diámetro, tuviera mayor altura. Se registraban los datos en la hoja de campo. Se seleccionó al azar un grupo representativo de fincas para tomar muestras de suelo, de acuerdo a lo descrito por Núñez *et al.* (2011).

Selección de especies

En base a los registros de plantaciones se preseleccionaron seis especies, pero sólo se obtuvo data suficiente para las especies de pino caribea (*Pinus caribaea* Morelet) y pino criollo (*Pinus occidentalis* Swartz).

Selección de parcelas

Se emplearon 255 parcelas de 600 m² (13.82 m de radio). Las parcelas fueron seleccionadas a partir de un listado de plantaciones provisto por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana, que fue ampliado con los datos suministrados por organizaciones no lucrativas que operaban en las zonas de estudio.

Variables consideradas

Para las variables edáficas, se hizo una lectura del perfil del suelo, determinando el color húmedo empleando la tabla de colores Munsell, espesor, textura al tacto, estructura por observación de agregados, contenido de MO y observación de actividad biológica, presencia de raíces, pedregosidad, presencia de concreciones y cútanos, carbonatos e informaciones generales sobre cada sitio como: relieve, material geológico, erosión, pendiente, usos del suelo, vegetación natural, hidrología y resistencia a la penetración. Los análisis de laboratorio se realizaron con procedimientos estandarizados Bouyoucos (Page, *et al.* 1982).

Para las variables dasonómicas se escogió un árbol como centro numerado "1", a partir del cual se continuó enumerando y midiendo los demás árboles. Luego, se registraban los datos en la hoja de campo y posteriormente en el ordenador.

Análisis de datos

Para el análisis e interpretación de las interrelaciones entre las diferentes variables se hizo uso de las herramientas SAS y Excel.

- a. Se realizó un análisis de regresión, en base a los elementos: a) clasificación de zonas de vida (Holdridge 1978) y b) diferencia altitudinal en metros sobre nivel del mar (msnm), considerando en ambos casos, el efecto de estas sobre el crecimiento de las especies. Se consultó a Ibáñez

(2007), Pavón (2003) y Molina (2002) para conocer los rangos aceptables para los resultados de suelo y realizar los análisis.

- b. Se categorizaron los factores del suelo que resultaron significativos en un análisis de correspondencia múltiple o multifactorial con el programa estadístico SAS, para correlacionarlos con los IS obtenidos.
- c. Una vez determinados los IS, se los relacionó con las variables de campo y laboratorio, previamente sometidas a un análisis multifactorial para identificar las de mayor influencia sobre el crecimiento de cada especie.
- d. Por último, se relacionaron los IS regionales obtenidos para cada especie con las variables edafo-climáticas.

Descripción del modelo estadístico usado

Se utilizaron modelos matemáticos regresivos para estimar el índice de sitio en plantaciones con rango de edades comprendidos entre 5 y 45 años. La fórmula utilizada para ajustar el modelo de IS, conforme a los datos levantados y obtener así la estimación del coeficiente de la pendiente que acompaña a la variable independiente inverso de la edad fue:

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{A}\right) \quad (1)$$

Donde:

- β_0 = Coeficiente de pendiente a ser estimado.
- β_1 = Coeficiente de intercepto a ser estimado.
- A = Edad índice.
- H = Altura.
- ln = logaritmo natural.

El índice de sitio (IS) se obtuvo empleando el modelo de Schumacher (1939), tal como lo describe Clutter *et al.* (1983):

$$\ln(S) = \ln(H) - \beta_1(A_2^{-1} - A_0^{-1}) \quad (2)$$

Donde:

- S = índice de sitio a determinar.
- H = Altura (metros).
- A₂ = edad actual o asumida.
- A₀ = edad índice o base.
- ln = logaritmo natural.
- β_1 = coeficiente de pendiente a ser estimado.

Cuando la edad actual (A_2) coincide con la edad índice (A_0) la solución de la ecuación produce un valor para el índice de sitio de un rodal en particular, en que la edad índice ideal se aproxima a la edad de rotación (momento de corte) de la especie bajo estudio. De la curva guía, ajustada mediante la ecuación (1) se derivó un conjunto de cinco (5) curvas anamórficas, para edades base de 5, 10, 15, 20, 35 y 40 años.

Para cada índice de sitio (IS), el coeficiente β_0 se re-calculó mediante la ecuación:

$$b_0 = \ln(S) - b_1 * \frac{1}{A_2} \quad (3)$$

Una vez re-calculado β_0 se procedió a concebir la arquitectura de las curvas anamórficas de IS. Se asumieron edades entre 5 y 50 años para cada familia. La altura alcanzada en cada una de estas edades se calculó re-transformando desde la escala logarítmica mediante la ecuación:

$$H = e^{b_0} * e^{(b_1 * \frac{1}{A_2})} \quad (4)$$

Donde:

H = Altura (metros).

e = Edad índice o base.

b_0 = Intercepto o estimador del parámetro B_0 .

b_1 = Pendiente o estimador del parámetro B_1 .

A_2 = edad actual o asumida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índices de sitio por especie

Pinus caribaea Morelet. Los índices de sitio obtenidos, no presentan variaciones significativas al analizarlos localmente a escala de provincias ni a la escala del conjunto de las tres provincias, a diferentes edades. Esto probablemente se deba a la cantidad apropiada de muestras y la buena distribución de las edades en las áreas de estudio como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados Índice de Sitio (IS) de *Pinus caribaea* para La Vega, Santiago y Santiago Rodríguez. República Dominicana.

Edad	IS=10	IS=15	IS=20	IS=25	IS=30
10	7.95	11.92	15.90	19.87	23.84
20	11.22	16.83	22.43	28.04	33.65
30	12.58	18.87	25.16	31.45	37.75
40	13.33	19.99	26.65	33.31	39.98
50	13.79	20.69	27.59	34.48	41.38
60	14.11	21.17	28.23	35.28	42.34
70	14.35	21.52	28.69	35.87	43.04
80	14.52	21.79	29.05	36.31	43.57
90	14.66	22.00	29.33	36.66	43.99

La Figura 2 muestra el comportamiento gráfico de las curvas obtenidas para las plantaciones medidas. Las curvas IS = 15 e IS = 25 representan los límites para una tasa de crecimiento baja y alta respectivamente. Si una plantación de *P. caribaea* Morelet se ubica en esta región, y se le registra un incremento entre los 11.0 y 20.0 m de altura, a la edad de 10 años altura (IS = 15), ese sitio se encuentra en el rango de IS Medio para esta especie. Los registros superiores o inferiores a los límites (IS10 e IS25), representan los otros dos extremos de los IS para la especie en la zona.

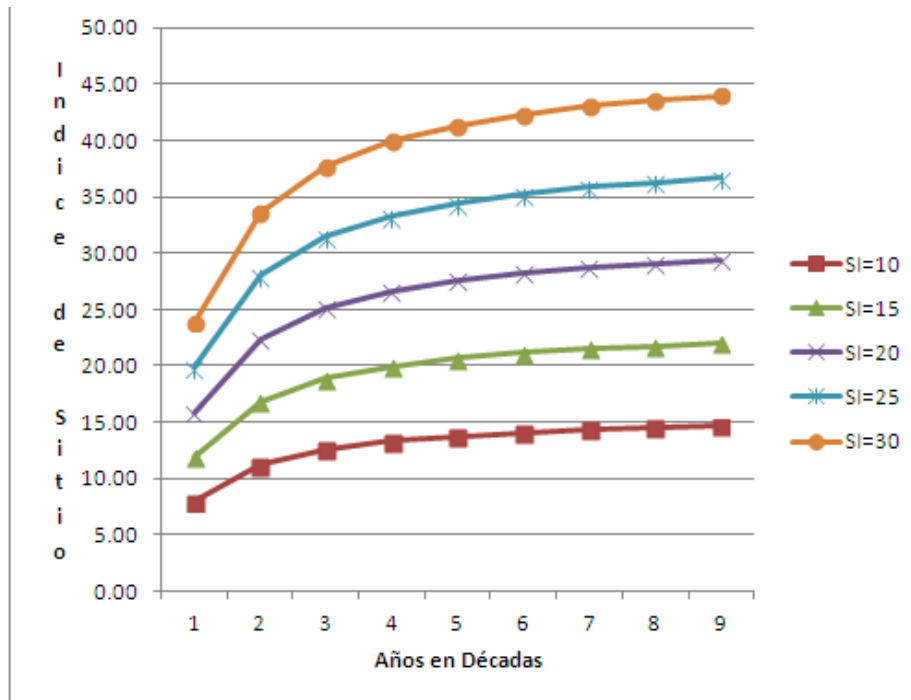


Figura 2. Curvas de Índice de Sitio para *Pinus caribaea* para Santiago, La Vega y Santiago Rodríguez, República Dominicana.

En Guatemala, Groothusen y Álvaro (2000) realizaron estudios de calidad de sitio en plantaciones sometidas a raleos, para *P. caribaea*, var. *hondurensis*. Ellos refieren haber encontrado un grado de correlación aceptable entre el modelo y las variables independientes subtipo de suelo y erosión. Posteriormente, Barrero-Mendel *et al.* (2011), realizaron diferentes estudios para *P. caribaea* Morelet, en Cuba, reportando resultados similares a Groothusen y Álvaro (2000). Hernández-Ramos *et al.* (2014), reportan datos sobre el comportamiento de la especie *Pinus greggii* Engelm en Metztlán, Hidalgo, México que muestran similitud con lo reportado por los autores antes mencionados. Los resultados de este estudio son similares a los antes citados para *P. caribaea* Morelet, en especial para los IS inferiores a la curva IS25. Un estudio más reciente realizado en plantaciones de hasta 25 años, publicado por el Instituto Nacional de Bosques en Guatemala (INAB, 2017), muestra un comportamiento similar hasta la edad considerada (Figura 3). Barrero-Medel *et al.* (2011), desarrolló curvas anamórficas de índice de sitio para plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari de la empresa Forestal Integral Macurije (EFI) en la provincia de Pinar del Río, Cuba, obteniendo resultados similares a los reportados en este estudio.

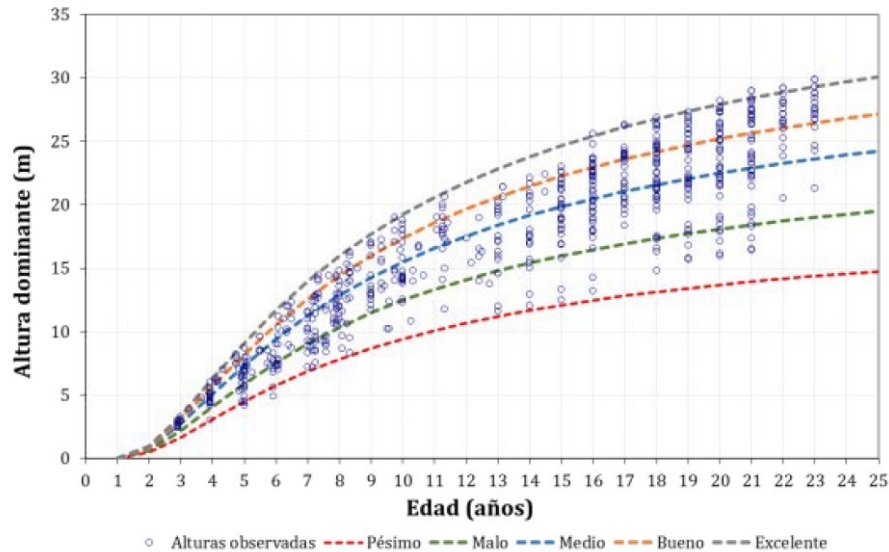


Figura 3. Familia de curvas de crecimiento en altura dominante [m] para plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.), según INAB (2017).

Estudios realizados por Castillo y Aguirre (2018) en Cuba, con el propósito de modelar el raleo en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari, utilizando la programación lineal como herramienta matemática, demostraron que el modelo ordena los rodales que deben recibir el tratamiento silvícola, mostrando el tipo de raleo y el tiempo de aplicación de los mismos. Es decir, que combinado herramientas como IS para modelación de la especie, se dispone de información para predecir el momento de corte y ordenamiento de los rodales.

Hernández-Cuevas *et al.* (2018), trabajando con *Pinus ayacahuite* Ehren en México, encontraron que en los modelos no lineales se realizaron los ajustes adecuados para determinar los IS, generando curvas construidas a partir de modelos con ajustes similares, que sugieren patrones de crecimiento diferentes. En su análisis, indican que los mejores ajustes se consiguieron en la edad de 40 años. Esto es explicado en función de que algunos modelos subestiman en las primeras edades y otros sobreestiman con edades avanzadas y viceversa.

***Pinus occidentalis* Swartz.** En la Tabla 2 y la Figura 4, muestran los resultados obtenidos para la especie *Pinus occidentalis* Swartz, estos IS son los de la región de estudio que, en comparación con los de cada provincia, muestran un comportamiento muy homogéneo. Se entiende que este comportamiento se explique en base a dos factores: a) la buena distribución en edad de las muestras y b) un número suficiente de muestras para cada rango de edad. Sin embargo, aunque no se presentan los detalles, los índices por provincia muestran tasas de crecimiento diferentes en el tiempo. Esto podría ser atribuible a la dispersión en los rangos de edad en las plantaciones evaluadas por localidad.

La Figura 4, muestra los resultados obtenidos en el estudio. El *P. occidentalis* Swartz es una especie endémica de República Dominicana y tal vez por esa razón existen pocos estudios recientes. Bueno *et al.* (2012a), publicaron un estudio relativo a la predicción de distribución diamétrica para la especie. Al comparar ambos resultados, se observa que muestran una alta consistencia. Se observa también que la edad de los rodales guarda una estrecha relación con los IS calculados, coincidiendo con lo reportado por Hernández-Cuevas *et al.* (2018).

Tabla 2. Índice de sitio para *Pinus occidentalis* en las provincias La Vega, Santiago y Santiago Rodríguez, República Dominicana.

Edad	IS=10	IS=15	IS=20	IS=25	IS=30
10	6.03	12.07	18.10	24.13	30.17
20	8.45	16.90	25.35	33.80	42.25
30	9.45	18.91	28.36	37.82	47.27
40	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00
50	10.34	20.69	31.03	41.37	51.71
60	10.58	21.15	31.73	42.31	52.89
70	10.75	21.50	32.25	42.99	53.74
80	10.88	21.76	32.64	43.51	54.39
90	10.98	21.96	32.94	43.92	54.90

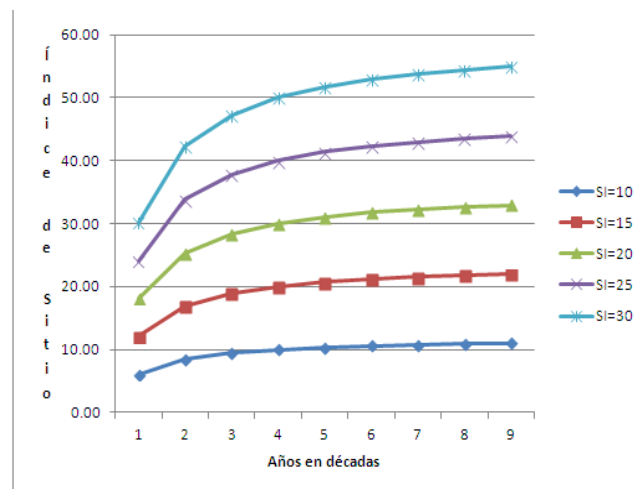


Figura 4. Curvas de Índice de sitio para *P. occidentalis* en las provincias La Vega, Santiago y Santiago Rodríguez, República Dominicana.

El estudio realizado por Bueno y Bevilacqua (2011) en distribuciones diamétricas de varias masas coetáneas de *Pinus occidentalis*, en tres diferentes zonas ecológicas dentro de la región de La Sierra en República Dominicana, no presentan los IS de los rodales, impidiendo la comparación entre las plantaciones.

Bueno y Bevilacqua (2012b), correlacionaron el volumen de madera de *Pinus occidentalis* producido en la Cordillera Central (tres zonas ecológicas diferentes), usando dos modelos no lineales de predicción, en dicho estudio tampoco se calculan los IS para la especie, pero sí concluyen que la especie crece en sitios con suelos pocos profundos e infértiles.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que la tendencia del crecimiento representada en las curvas desarrolladas, es similar o consistente con los encontrados para ambas especies, en otras investigaciones, lo cual también justifica el modelo escogido y avala el resultado obtenido. Igual y propiamente, los IS para las especies evaluadas muestran un comportamiento similar al reportado por la literatura nacional e internacional.

En función de los IS, se concluye que los turnos de aprovechamiento para *P. caribaea* sean de 20 a 30 y para *P. occidentalis* entre 40 a 50 años. De igual forma, se aconseja fomentar la plantación para los lugares o estaciones con IS20 o superiores.

Dado que los primeros años de crecimiento de las plantas son determinantes como indicadores del futuro comportamiento de las plantaciones, se recomienda realizar estudios focalizados en los primeros 5 años de establecimiento para las especies evaluadas y fortalecer los estudios relativos a IS en República Dominicana. Igualmente se recomienda utilizar este sistema de ecuaciones expresando la calidad de sitio en valores absolutos de altura dominante, lo que permite realizar la comparación con otras especies y la misma especie en otras regiones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente al doctor Santiago Bueno López, de la Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM), por haber participado en la selección del modelo estadístico del estudio. Al Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (Coniaf), por el Financiamiento del proyecto “Determinación de los índices de sitio como herramienta de selección para el uso y fomento de seis especies forestales en tres provincias de República Dominicana,” en especial al ingeniero José Antonio Nova por el seguimiento a los trabajos de campo. Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por las facilidades otorgadas en especial los listados de las plantaciones establecidas. Al ingeniero Ángel Pimentel, del Idiaf, por el apoyo en los análisis estadísticos. A los 255 productores forestales de las tres provincias muestreadas, por facilitar el acceso a sus plantaciones. Así como al Comité Técnico del Centro Norte del Idiaf por sus aportes y revisión de la publicación.

LITERATURA CITADA

- Barrero-Medel, H.; Mothe, F.; Nepveu, G.; Álvarez-Lazo, D.; García-Corona, I.; Guera, M. 2011. Curvas anamórficas de índice de sitio para plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari de la Empresa Dorestal Integral Macurije (EFI) en la provincia de Pinar del Río, Cuba. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2): 245-252. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.06.035>.
- Bueno, L.; Bevilacqua, E. 2011. Desarrollando un sistema de predicción de distribuciones diamétricas para *Pinus occidentalis*, Sw. en la sierra, República Dominicana. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1): 115-132. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.05.029. Disponible en: <http://www.chapingo.mx/revistas>.
- Bueno, L.; Bevilacqua, E. 2012a. Predicción de distribuciones diamétricas para *Pinus occidentalis*. Editorial Académica Española – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH and Co. Alemania. Consultado en enero de 2021. Disponible en: <https://www.amazon.com/Predicci%C3%B3n-Distribuciones-Diam%C3%A9tricas-Pinus-occidentalis/dp/3848475073>.
- Bueno, L.; Bevilacqua, E. 2012b. Nonlinear mixed model approaches to estimating merchantable bole volume for *Pinus occidentalis*. *Forest Biogeosciences and Forestry*, 5(5): 247-254. Available electronically from: <https://doi.org/10.3832/for0630-005>.
- Bueno, S.; Torres Herrera, J.; García, M. 2015. Factores edáficos-fisiográficos y calidad de sitio del *Pinus occidentalis* Sw. *Madera y Bosques*, 21(3): 83-93. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21n3/v21n3a6.pdf>.
- Castillo, E.; Aguirre, M. 2018. Modelación del raleo mediante el uso de la Programación Lineal en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet de la Empresa Agroforestal Pinar del Río, Cuba. *Arnaldoa*, 25(2): 597-614. Consultado en febrero 2021. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v25n2/a15v25n2.pdf>.
- Clutter, J.; Fortson, J.; Pienaar, L.; Brister, G.; Bailey, R. 1983. *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley and Sons, Inc. US. 333 p.
- Dobler, G.; Torres, J. 1999. *Manejo y Tablas de Rendimiento de Pinus occidentalis*. Sw, Plan Sierra. San José de Las Matas, Santiago, República Dominicana. 120 p.
- Dykstra, D. 1984. *Mathematical programming for natural resource management*. McGraw Hill Book Co. New York. 318 p.
- González, I.; Medel, H.; Rodríguez, Y. 2013. Evaluación de las clases de calidad de sitio de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la Empresa Forestal Integral Macurije (Pinar del Río, Cuba). *Revista Ecosistemas*, 22(3): 46-51. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/874>.
- Groothousen, C.; Alvarado, C. 2000. Las parcelas de muestreo permanente: bases para estudios de crecimiento y rendimiento en bosques de pino en Honduras. Administración Forestal del Estado, AFE – COHDEFOR y Escuela Nacional de Ciencias Forestales, ESNACIFOR. Siguatepeque, Honduras. Consultado en marzo de 2021. Disponible en: http://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Las%20Parcelas%20Permanentes%20de%20Muestreo.pdf.
- Hernández-Cuevas, M.; Santiago-García, W.; Santos-Posadas, H.; Martínez-Antúnez, P.; Ruiz-Aquino, F. 2018. Modelos de crecimiento en altura dominante e índices de sitio para *Pinus ayacahuite* Ehren. *Agrociencia*, 52(3): 437-453. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000300437.
- Hernández-Ramos, J.; García-Magaña, J.; Olvera-Delgadillo, E.; Velarde-Ramírez, J.; García-Cuevas, X.; Muñoz-Flores, H. 2014. Índice de sitio para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm en Metztlán, Hidalgo, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. México. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182014000200003.
- Holdridge, L. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. Centro Científico Tropical, Ed. IICA, San José, Costa Rica.

- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2017. Pino caribe (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari). Paquete Tecnológico Forestal. Guatemala, INAB. 37 p. Disponible en: http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2802/Technical/PINO%20CARIBE.pdf
- Khoury, E.; Canga Líbano, E.; Oliveira Prendes, J.; Gorgoso, J.; Cámara, M. 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. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322010000100006.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, 365 p.
- Martínez-Salvador, M.; Valdez-Cepeda, R.; Pompa García, M. 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. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712013000300004.
- Martínez-Zurimendi, P.; Domínguez-Domínguez, M.; Juárez-García, A.; López-López, L.; de-la-Cruz-Arias, V.; Álvarez-Martínez, J. 2015. Índice de sitio y producción maderable en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4): 415-425. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000400010.
- Molina, E. 2002. Análisis de suelos y su interpretación. Amino grow internacional Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica. Disponible en: <http://www.aminogrowinternacional.com>.
- Molina, E. 2007. Análisis de suelos y su interpretación. San José, CR, CIA-UCR-Amino Grow International.
- Núñez, P.; Pimentel, A.; Almonte, I.; Sotomayor-Ramírez, D.; Martínez, N.; Pérez, A.; Céspedes, C. M. 2011. Soil fertility evaluation of coffee (*Coffea* spp.) production systems and management recommendations for the Barahona Province, Dominican Republic. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 11(1): 127-140. Available electronically from: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162011000100010
- Page, A.; Miller, R.; Keeny, D. (Eds). 1982. Method of soil analysis, part 2, Chemical and microbiological properties. Second edition. American Society of Agronomy Soil Science. Society of American Madison.
- Pavón, C. 2003. Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz. Anejo III: Análisis de suelo. Universidad Ciudad Real. Ciudad Real, España.
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. Mensura forestal. 586 p. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica.

