

## Correlación de los índices de sitio (IS) con factores edafoclimáticos influyentes en el desarrollo de dos especies de pino en la República Dominicana

Pedro Núñez<sup>1\*</sup>, José Mercedes<sup>2</sup> e Isidro Almonte<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Investigador Titular, Centro Norte, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (Idiaf), Investigador Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Docente Cátedra de Suelos en la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias.

<sup>2</sup> Investigadores Asociados, Centro Norte, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Dirección: Calle Rafael Augusto Sánchez N° 89, Ensanche Evaristo Morales, Santo Domingo, República Dominicana.

\*Autor para correspondencias: [pnunez@idiaf.gov.do](mailto:pnunez@idiaf.gov.do)

### RESUMEN

La medición del rendimiento y producción de los bosques y sus especies vegetales es crucial para la toma de decisiones técnicas, políticas y financieras. Normalmente se hace uso del inventario de existencia, lo cual es costoso y puede demorar tiempo o, también, se emplean herramientas más prácticas como el índice de sitio (IS), que permite estimar el rendimiento. En la República Dominicana se han realizado estudios de IS, pero no los suficientes, para aplicarse a la diversidad de especies forestales potencialmente utilizables en todo el territorio nacional. En esta investigación se emplearon los IS de pino caribe y criollo (*Pinus caribaea* Morelet y *Pinus occidentalis* Swartz, respectivamente), en tres provincias y se correlacionó con las características físicas y químicas del suelo, condiciones topográficas, factores ambientales y climáticos. El análisis multifactorial mostró que los aspectos de mayor influencia fueron profundidad del suelo, contenido de fósforo, pH, zona de vida y altitud, estos factores cambian con la especie. De igual forma, los resultados determinó la necesidad de más investigaciones para conocer su importancia y contribuir a la toma de decisiones para el fomento de las especies forestales.

*Palabras claves: Factores climáticos-edáficos, fomento, suelos, especies forestales.*

### ABSTRACT

Measuring the performance and production of forests and their plant species is crucial for technical, political and financial decision-making. Normally, stock inventory is used, which is expensive and can take time, or more practical tools are used, such as the site index (SI), which allows estimating performance. In the Dominican Republic, SI studies have been carried out, but not enough, to be applied to the diversity of potentially usable forest species throughout the national territory. In this research, the SI of Caribbean and Creole pine (*Pinus caribaea* Morelet and *Pinus occidentalis* Swartz, respectively) were used in three provinces and correlated with the physical and chemical characteristics of the soil, topographic conditions, environmental and climatic factors. The multifactorial analysis showed that the most influential aspects were soil depth, phosphorus content, pH, life zone, and altitude; these factors change with the species. In the same way, the results determined the need for more research to know its importance and contribute to decision-making for the promotion of forest species.

*Keywords: Climatic-edaphic factors, development, soils, forest species.*

## INTRODUCCIÓN

Los países con fuerte participación del sector forestal en su producto interno bruto y con tradición técnica y científica, basan sus decisiones para el fomento de las especies forestales en criterios de reducción de riesgos. Dos herramientas o técnicas utilizadas son los inventarios forestales (IF) y la determinación de los índices de sitio (IS) de las especies de interés. Los inventarios tienden a ser caros y costosos solo por las grandes empresas y gobiernos. Por su parte, los inversionistas pioneros, los pequeños y medianos propietarios no realizan una gran inversión, que podría ser irre recuperable.

Hernández-Ramos *et al.* (2014), reportan que los índices de productividad son esenciales en la planeación del manejo forestal sustentable. Se puede hacer de diferentes formas para planificar o tomar acciones de manejo de proyectos forestales, al tiempo que se asegura es la conservación de los suelos, la biodiversidad y los recursos naturales en términos de sostenibilidad. Las curvas de IS elaboradas a partir de las ecuaciones generadas podrían aplicarse dentro del intervalo de las variables dimensionales y las edades consideradas en el estudio.

El IS se define como “la capacidad de un área determinada para el crecimiento de árboles” ó “la respuesta de desarrollo de una determinada especie a la totalidad de las condiciones ambientales existentes en un determinado lugar”, Prodan *et al.* (1997). El IS permite evaluar y conjugar los objetivos y potencialidades productivas de los terrenos boscosos mediante la interacción de variables ambientales, que se apoyan o contraponen entre ellas para favorecer las condiciones propias de un determinado lugar o zona en la que podría establecerse o se ha establecido una especie forestal determinada.

Entre los factores ambientales, se mencionan las variables edafológicas, entre las que se destacan las relativas a la topografía, tales como: exposición, pendiente y posición topográfica de la muestra-cumbre, media, baja, etc.; las variables físicas como textura, profundidad efectiva de raíces, espesor del horizonte A, la porosidad de los horizontes A y B; además de drenaje, disponibilidad de agua en los horizontes y densidad aparente de los horizontes. En cuanto a las variables químicas, se encuentra el pH de los horizontes A y B, materia orgánica (MO) del horizonte A, profundidad con presencia de carbonatos y la cantidad de nutrientes N, P, K, Ca y Mg en los horizontes A y B. Entre las variables climáticas están la humedad relativa, el volumen y frecuencia de la precipitación y la temperatura, Gómez *et al.*, (2004), Herrera y Alvarado (1998) y Hernández-Ramos *et al.* (2015).

De acuerdo con Dykstra (1984), el IS ofrece información para responder en la toma de decisiones de inversión y actividades de manejo silviculturales, tales como: estimar la producción, determinar el turno óptimo, realizar análisis financieros, estimar el crecimiento bajo condiciones donde no existen datos y comparar alternativas de manejo. También, puede servir para analizar las mejores 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.

El crecimiento de un árbol o de una masa forestal, equivale a su desarrollo en altura, forma, diámetro y área basa. Cuando éstos se convierten en volumen, mediante los cálculos correspondientes, se tiene la producción acumulada de la especie o masa forestal. El estudio del crecimiento de una o más especies forestales, es lo mismo que el conocimiento o cuantificación de su productividad en función de los lugares, sitios o estaciones en que se desarrolle, Klepac (1983). En ese sentido, los criterios técnicos prevalecientes para la escogencia de las especies a plantar en un determinado sitio, dependen de su comportamiento o respuesta en dicho sitio. Las condiciones de calidad de sitio, se expresan gráficamente en familias de curvas denominadas curvas de IS.

Este comportamiento está relacionado con diferentes indicadores. Uno de los más importantes es el IS que, ajustándose a la definición dada por Clutter *et al.* (1983), es la altura promedio de los 100 árboles dominantes y codominantes bien distribuidos por hectárea a una edad predeterminada, llamada edad base. La estimación o definición de la calidad de un sitio forestal, es complicada, pues el volumen producido de un bosque puede ser altamente afectado o influido por factores diferentes a la calidad del sitio confundiendo una cosa con otra como, por ejemplo: la densidad del bosque, la composición de las especies y su calidad genética o las prácticas culturales empleadas para obtener la producción forestal, entre otros.

En la República Dominicana, las investigaciones relativas a indicadores de productividad y/o predicción del comportamiento de las especies forestales son puntuales y/o poco difundidas. Por lo que, el fomento forestal nacional se fundamenta en la intuición y/o el empirismo, apostando al éxito o al error. Así se aumentan los riesgos de pérdidas en los rodales, esto se reflejará años luego de ser plantadas. Así, se disminuyen las posibilidades de competitividad forestal como lo explican Dobler y Torres (1999), quienes realizaron trabajos de interpretación y análisis de crecimiento para el *Pinus occidentalis*.

En el marco internacional, Khouri *et al.* (2010), muestran que el suelo, el pH y las relaciones entre micro y macro nutrientes son de alta influencia y definen el desarrollo de las plantaciones de las especies *Eucalyptus globulus* Labill. y *Pinus radiata* D. Resultados de investigaciones forestales se expresan en forma de regresión lineal múltiple, por ejemplo, Bonilla (1971) consideró las variables ambientales para la determinación de IS, mientras que otros se fundamentan en modelos de predicción con metodología dinámica, basada en el incremento anual del área basal. Así, González-Izquierdo *et al.* (2013), indican que para el *Pinus caribaea*, la relación existente entre las variables edáficas y la pendiente topográfica con la calidad de sitio se explica en una regresión lineal en un 30%.

Dado que el inversionista forestal privado dominicano, adolece de elementos técnicos que le permitan evaluar de manera confiable su inversión para elevar sus posibilidades de competitividad y minimizar sus riesgos de pérdidas, en especial cuando estas se podrían reflejar en años, luego de ser establecidas las plantaciones, se requiere de más estudios que faciliten la toma de decisiones. Esta investigación busca establecer los indicadores ambientales más convenientes a considerar para



## Descripción del *Pinus occidentalis*

El *Pinus occidentalis* es un árbol endémico de la isla de La Española, donde es la especie predominante en los bosques de pino criollo de Haití y la República Dominicana. Los pinos de La Española se encuentran mezclados con árboles de hoja ancha de 850 a 2.100 msnm (2.790 a 6.890 pies), y ocurren en rodales puros anteriores 2.100 m (6.900 pies) hasta la cumbre de 3.087 m (10.128 pies) de Pico Duarte, el punto más alto la isla, Rodríguez (2016). Puede encontrarse en tierras bajas de La Hispaniola, con bosques húmedos en medio de la ecorregión, en zonas donde predominan los suelos lateríticos pobres y ácido

De acuerdo con Rodríguez (2016) el *Pinus occidentalis* Swartz, pertenece a la familia pinacea, orden pinales, clase pinopsida, división pinophyta, del reino plantae. Su género, pertenece al grupo de los diploxylon, caracterizado por la presencia de dos haces vasculares por acícula. El mismo autor indica que la especie se distribuye entre los 100 y los 3087 msnm, mezclado con árboles de hoja ancha en las altitudes comprendidas entre los 850 y los 2,100 msnm y aparece en rodales puros a partir de los 2,100 msnm hasta alcanzar el punto más alto de la isla, 3,087 msnm.

## Descripción del *Pinus caribaea*

El *Pinus caribaea*, es un árbol que puede crecer hasta 45 m de altura, tronco cilíndrico, recto o ligeramente encorvado. El tronco mide en promedio 45 cm de diámetro a la altura del pecho, aunque se puede llegar hasta 100 cm, según el Instituto Nacional de Bosques (2017). La especie puede ser encontrada en su habitat natural desde la latitud 18° 15' Norte, a lo largo de 1,000 km desde El Ejido Caobas, Quintana Roo, México, pasando por hasta la latitud 12°13' Norte en la Laguna del Pinar, Zelaya, Nicaragua. También puede encontrarse desde el nivel del mar, hasta los 1000 msnm, siendo más abundante por debajo de los 500 msnm. El rango de distribución es naturalmente discontinuo.

## Datos climáticos

Para la correlación de IS con las variables climáticas como determinantes asociados al crecimiento de las especies, se ubicó data de diferentes fuentes incluyendo la provista por la Oficina Nacional de Meteorología (Onamet); sin embargo, se realizó a escala provincial debido a que las informaciones climáticas obtenidas no estaban segregadas y no permitían diferenciar las condiciones entre las localidades en las que se tomaron las muestras. Por tal razón, se realizó un análisis de regresión, en base a la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1982) y la diferencia altitudinal en metros sobre nivel del mar (msnm).

## **Metodología de medición**

Se escogieron 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, su altura fuera mayor. Se registraban los datos en la hoja de campo. En cada plantación se realizó una muestra de suelo para su análisis, de acuerdo a lo descrito por Núñez *et al.* (2011) y usando la data reportada por Núñez *et al.* (2020). De estas plantaciones, se seleccionó al azar un grupo representativo para realizar la descripción del perfil de suelo mediante calicatas y tomar muestras de suelo.

## **Metodología para el análisis de correlación y análisis de datos**

La investigación sobre los IS, se realizó en las provincias La Vega, Santiago de los Caballeros y Santiago Rodríguez. Se usó las especies *Pinus caribaea* Morelet y *P. occidentalis* Swartz, con edad superior a los cinco años. Los IS fueron relacionados con los factores edáficos, topográficos y climáticos y las descripciones de los perfiles de suelos, provenientes de los registros de campo de las zonas de muestreo, así como también con los resultados de laboratorio.

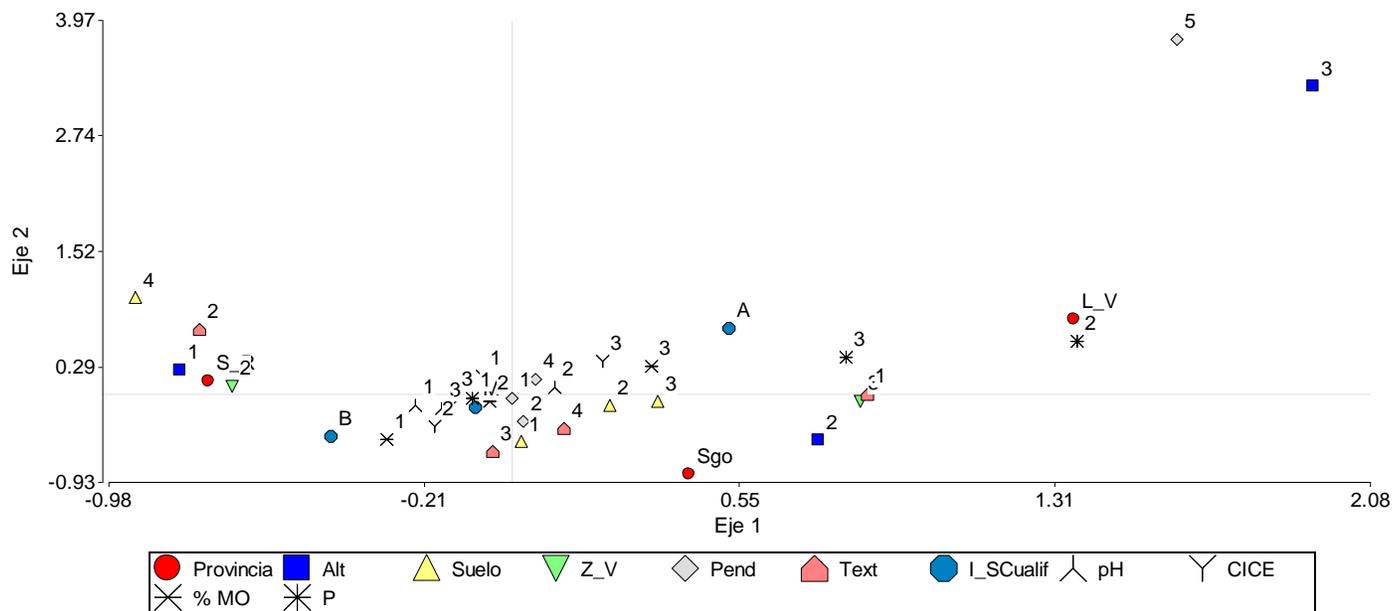
En cada plantación evaluada se tomó una muestra de suelo para el laboratorio a una profundidad del suelo entre 0 a 30 cm, según lo descrito por Núñez *et al.* (2011). En un 20 % de ellas se realizó una calicata, resultados reportados en Núñez *et al.* (2020).

Los resultados fueron categorizados y sometidos a un análisis de correspondencia múltiple o multifactorial con el programa estadístico SAS, fueron correlacionados con los IS obtenidos. A partir de Ibáñez (2007), Pavón-Chocano (2003), Molina (2007) y Arévalo *et al.* (2008). El análisis e interpretación de las interrelaciones entre las diferentes variables influyentes con el IS (evaluadas con las herramientas SAS y Excel), se realizó a partir de un análisis multifactorial combinando los IS con los resultados de los análisis de suelo.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis multifactorial para *Pinus caribaea* (provincias La Vega, Santiago y Santiago Rodríguez)**

En la Figura 2, se observa una clara diferencia geográfica de las plantaciones, donde Santiago representa la provincia intermedia entre La Vega y Santiago Rodríguez. Se forma una línea recta ascendente de los IS predominantes, siendo bajo en Santiago Rodríguez, medio en Santiago y alto en La Vega, Figura 3.



**Figura 2.** Gráfico de los resultados del análisis multifactorial para *Pinus caribaea* para las tres provincias en estudio.

En correspondencia con los resultados, la tendencia se corresponde con la ubicación altitudinal de la plantación, el contenido de fósforo (P) y la profundidad del suelo. Esto permite plantear que en el caso del *Pinus caribaea* el IS aumenta al incrementarse el contenido de P y la profundidad del suelo. De acuerdo con Bueis *et al.* (2016), los parámetros físicos, químicos, bioquímicos y fisiográficos del suelo, son factores fundamentales en la determinación del IS para plantaciones de *Pinus silvestris* L., en las mesetas ácidas en el norte de España.

Se debe destacar el estudio con modelos de predicción del índice de sitio realizado para abeto de Noruega (*Picea abies* L. Karst.) y pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) desarrollado en Noruega a partir de datos del Inventario Forestal Nacional de Noruega, Sharma *et al.* (2012), usando varios modelos de regresión lineal múltiple con diferentes combinaciones de sitio y variables climáticas con el objetivo de facilitar su aplicación a una variedad de situaciones en las que la accesibilidad de datos explicativos difería. De acuerdo con los autores, los mejores modelos para predecir el IS incluían el año de plantación, la suma de temperaturas y la precipitación con los tipos de vegetación, la profundidad del suelo, exposición, la pendiente y la latitud. Con esta información los modelos desarrollados explicaron la variación total ( $R^2$  adj:  $\frac{1}{4}$  0:86 y 0.72 para abeto y pino, respectivamente), con poca variación residual (RMSE\_2.04 y 1.95 m para abeto y pino, respectivamente).

Sierra *et al.* (2017), modelando hábitats potenciales para plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barrett y Golfari, en el occidente de Cuba, muestran que la distribución potencial en el occidente de Cuba y la Isla de la Juventud es influenciada por las variables régimen anual de las precipitaciones y temperatura media en el período más frío. Igualmente, en una investigación evaluando las clases de calidad de sitio para *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la Empresa Forestal

Integral Macurije, González-Izquierdo *et al.* (2013), modelando los datos se encontró que el modelo explicaba el 30% de la variación de la calidad de sitio. Olivera *et al.* (2014), indican que en el caso de plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari, que utilizando los IS se puedan programar actividades silviculturales, tales como: los raleos y limpiezas de mantenimiento, así como tener la estimación de los volúmenes de existencia al momento del aprovechamiento planificado.

En México, Martínez-Salvador *et al.* (2013), realizaron estudios para identificar la influencia de variables de suelo, clima y relieve sobre el crecimiento de *P. arizonica* y *P. engelmannii* en el sur de Chihuahua. Mediante un análisis discriminante canónico (ADC), encontraron que existen diferencias multivariadas entre las calidades de estación, con alta influencia de la pendiente, disección vertical, profundidad de suelo y temperaturas. Es decir, que los IS son afectados por condiciones de suelo y clima, lo que ocurre con la variabilidad de los IS en las plantaciones evaluadas en República Dominicana. Martínez-Salvador *et al.* (2013), concluyeron que los índices de sitio permiten definir niveles de productividad en la zona de distribución, así como identificar las variables con mayor relación sobre la productividad de los sitios.

Bueno-López *et al.* (2015), desarrollaron las ecuaciones de IS con el fin de evaluar la calidad del sitio para la producción de *Pinus occidentalis* en tres zonas productoras de madera de República Dominicana: 1) Jarabacoa, 2) San José de Las Matas y 3) Restauración. Además, analizaron los principales factores edáficos y fisiográficos que afectan la calidad de los sitios intervenidos y relacionarlos mediante modelos de regresión al índice de sitio correspondiente. En base a sus resultados concluyen que no se encontraron diferencias significativas entre IS promediados/parcela en cada localidad, pero sí se obtuvo una correlación significativa entre el IS, altura sobre el nivel del mar y exposición, respectivamente. Una correlación significativa fue también encontrada entre IS y el contenido de MO, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>.

Las variables elevación sobre el nivel del mar y azimuth resultaron estadísticamente significativas y pueden utilizarse para predecir el potencial productivo de lugares donde no existen árboles. La estimación del potencial productivo mediante variables edáficas y fisiográficas para los rodales naturales de *P. occidentalis* Sw. en las regiones productivas, constituye una herramienta indispensable en el manejo sostenible de estas áreas boscosas, Dobler y Torres (1999). Las curvas obtenidas en este estudio son muy similares a las obtenidas en el presente estudio a partir de la edad de 40 años, ya que el IS promedio presentado es de 22.84. Bueno *et al.* (2011), presentaron resultados de crecimiento y producción de la especie *P. occidentalis* Sw, coincidiendo que el IS de la especie, este varía con el tipo de suelo. Se plantea en este estudio un sistema de predicción de distribuciones diamétricas para dicha especie en La Sierra, República Dominicana.

En sentido general, Bueno-López *et al.* (2015), reportan que este tipo de bosque se desarrolla adecuadamente por encima de los 800 msnm y son la única formación boscosa por encima de los 2,100 m. En tierras bajas, el pino criollo se desarrolla particularmente en suelos lateríticos y climas

muy húmedos. Tiene la capacidad de crecer en suelos infértiles, ácidos, superficiales debido a que son capaces de establecer relaciones simbióticas con ectomicorrizas.

De las especies seleccionadas para evaluar, se encontraron suficientes muestras para las especies *Pinus caribaea* y *P. occidentalis*. El análisis multifactorial permite discriminar las relaciones o influencias existentes entre una serie de variables o factores que participan en un determinado fenómeno y mostrar a que se le podría atribuir la respuesta, mayor responsabilidad o participación explicativa. De esa forma se puede identificar al principal o las principales causales de la variable de interés, en este caso, es el IS. Se consideró que, por las pocas variaciones entre los IS regionales y provinciales para las especies evaluadas, el análisis multifactorial a nivel regional, sería suficiente para mostrar las probables respuestas de comportamiento, en función de las especies.

### Análisis multifactorial para *Pinus occidentalis* (provincias La Vega, Santiago y Santiago Rodríguez)

La especie *Pinus occidentalis*, mostró correlación de los IS con la altitud, el contenido de P, la zona de vida y la profundidad del suelo, Figura 3. Los IS más altos se encuentran en la provincia La Vega, mientras en las provincias Santiago y Santiago Rodríguez son similares e inferiores a los de La Vega. Un bajo IS podría estar asociado directamente con la baja profundidad del suelo, altitud próxima al nivel del mar y bajo contenido de P.

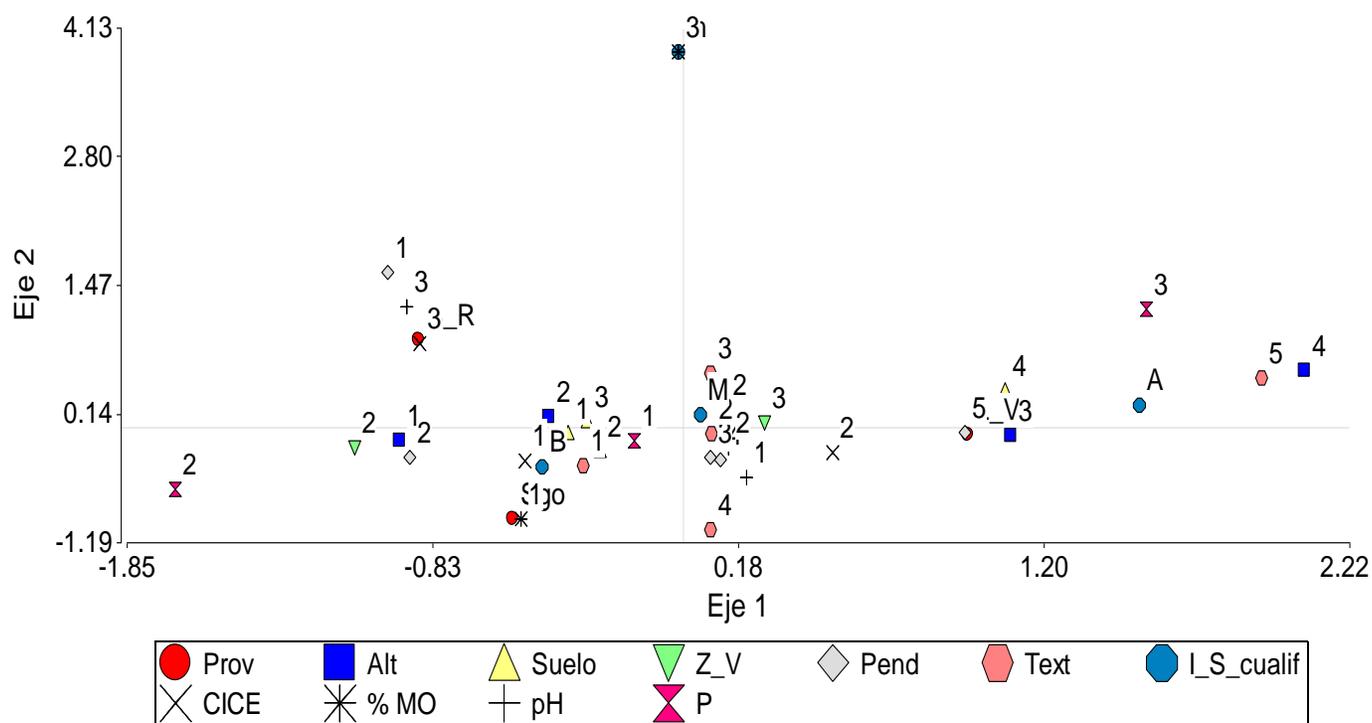
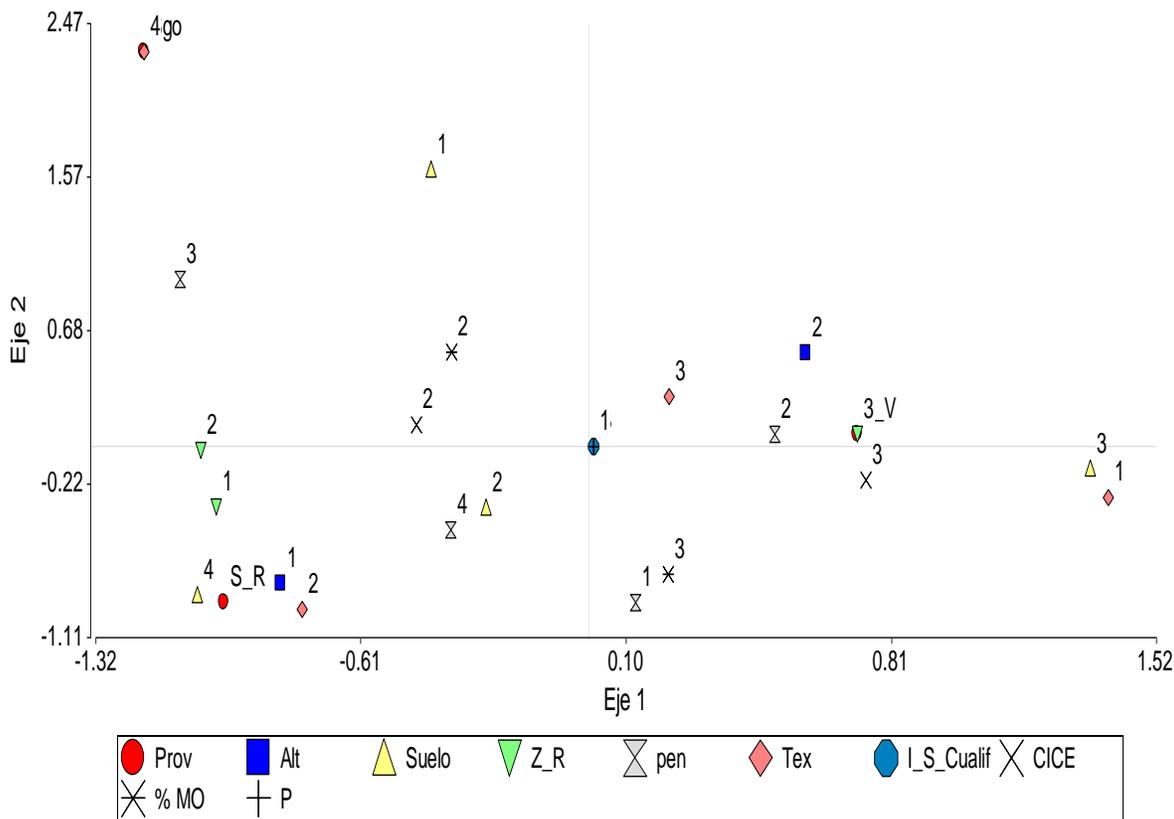


Figura 3. Gráfico de los resultados del análisis multifactorial para *P. occidentalis* en las tres provincias en estudio.

En la Figura 4, se observa que el suelo en Santiago Rodríguez es más profundo en comparación con la Vega y Santiago, mientras la CE fue similar en las tres provincias. El porcentaje de MO, la altitud y la humedad del suelo son mayores en La Vega, e inferiores a las demás provincias, esto guarda relación con la zona de vida existente. Se produce una correlación directa entre los factores anteriormente citados y las zonas de vida, tal como lo planteó Odum (1985). Por lo tanto, todas las variables supra indicadas, están íntimamente relacionadas con dos factores: 1) disponibilidad de agua en el suelo y 2) requerimientos de agua por la especie considerada.



**Figura 4.** Resultados del análisis multifactorial para *Pinus occidentalis*.

Los análisis presentados para los gráficos anteriores en función de las variables consideradas muestran una tendencia explicativa de los comportamientos de los IS para estas especies. En base a estos resultados es necesario analizar las implicaciones que conllevan cuatro (4) de las variables evaluadas (profundidad, pendiente, altitud y zona de vida). Las primeras son importantes en especial por su relación con la capacidad de almacenamiento de nutrientes y agua; y las restantes, por su afinidad con la temperatura y la humedad relativa.

## CONCLUSIONES

Los IS para las especies evaluadas guardan una relación con las variables altitud, zona de vida, profundidad del suelo, pH, contenido de P y MO. La zona de vida y la altitud mostraron la mayor influencia en los IS para las dos especies evaluadas. El juego de variables medidas en el estudio ocultan la influencia del factor humedad del suelo, de acuerdo al análisis multifactorial, este se refleja a medida que la zona de vida se hace más húmeda o aumenta la altitud, siendo los IS obtenidos mayores.

En la especie *Pinus caribaea* los factores químicos del suelo más influyentes fueron el pH y contenido de P, y el factor físico fue la profundidad. Por lo que, el IS fue afectado por estos factores en la especie. Mientras en la especie *Pinus occidentalis*, le afectaron además la altitud, contenidos de MO y la zona de vida. En las especies evaluadas se refleja que, a medida que la zona de vida se hace más húmeda o que hay un aumento en la altitud, los IS obtenidos son mejores. Se desprende de este señalamiento que el único elemento común en todos los casos es la humedad. En base a los resultados obtenidos, se recomienda una mayor profundización en IS en otras especies forestales y provincias de la República Dominicana, considerando las zonas de potencial para la foresta comercial.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al doctor Santiago Bueno López, Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM), por su colaboración en la selección del modelo estadístico usado. 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 Ing. 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. Al Comité Técnico del Centro Norte del Idiaf por sus aportes en la revisión de la publicación y al ingeniero Joaquín Caridad del Centro de Producción Animal del Idiaf, por la revisión del manuscrito.

## LITERATURA CITADA

- Arévalo, G.; Castellanos, M.; Cruz, E. A. 2008: Interpretación de los resultados de un análisis de suelo. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: <http://es.slideshare.net/MyFert2010/interpretacion20de20los20resultados20de20un20analisis20de20suelo>
- Bonilla, J. 1971. La influencia del suelo y el clima en el crecimiento de los árboles en las regiones templadas. IPEF (2/3): 72-92. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr02-03/cap05.pdf>
- Bueis, T.; Bravo, F.; Pando, V.; Turrión, M. 2016. Relationship between environmental parameters and *Pinus sylvestris* L. site index in forest plantations in northern Spain acidic plateau. iForest-Biogeosciences and Forestry 9(3): 394-401. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: <https://iforest.sisef.org/pdf/?id=ifor1600-008>.
- 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. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/3848/20869ffa8a7f25fef34df94be72a54d1c614.pdf?ga=2.149657919.849738204.1655887484-1808987257.1655887484>
- Bueno-López, S. W.; Torres Herrera, J. G.; García, M. 2015: Factores edáficos-fisiográficos y calidad de sitio del *Pinus occidentalis* Sw. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México. Madera y Bosques 21(3): 83-93. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/617/61743002006.pdf>
- Clutter, J.; Fortson, J.; Pienaar, L.; Brister, G.; Bailey, R. 1983. Timber Management: A Quantitative Approach. Wiley, New York, p. 333.
- Dobler, G.; Torres, J. 1999. Manejo y tablas de rendimiento de *Pinus occidentalis*. Plan Sierra. San José de Las Matas, Santiago, DO. 120 p.
- Dykstra, D. 1984. La programación matemática para la Dirección del Recurso Natural. Mc Graw-Hill. USA. 318 p.
- Gómez, E.; González-Abreu, A.; Ríos, H.; Ancizar, A. 2004. Comportamiento de los índices de sitio más empleados para *Pinus caribaea* Mor. var. *caribaea* ante algunos factores edáficos que influyen en su crecimiento y desarrollo. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: [Foresta Veracruzana 6\(2\): 19-26. https://www.redalyc.org/pdf/497/49760204.pdf](https://www.redalyc.org/pdf/497/49760204.pdf)
- González-Izquierdo, E.; Barrero-Medel, H.; Carrasco-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). Ecosistema 22(3): 46-51. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/874/773>
- Hernández-Ramos, J.; García-Magaña, J. J.; García-Cuevas, X.; Hernández-Ramos, A.; Muñoz-Flores, H. J.; Samperio-Jiménez, 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. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322015000100003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000100003)
- Hernández-Ramos, J.; García-Magaña, J. J.; Olvera-Delgadillo, E. H.; Velarde-Ramírez, J. C.; García-Cuevas, X.; Muñoz-Flores, H. J. 2014. Índice de sitio para plantaciones de *Pinus greggii* Engelm: en Metztitlán, Hidalgo, México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 20(2): 167-176. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-40182014000200003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182014000200003)
- Herrera, B.; Alvarado, A. 1998. Calidad de sitio y factores ambientales en bosques de Centro América. Agronomía Costarricense 22(1): 99-117. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/308202459\\_Calidad\\_de\\_sitio\\_y\\_factores\\_ambientales\\_en\\_bosques\\_de\\_Centro\\_America#read](https://www.researchgate.net/publication/308202459_Calidad_de_sitio_y_factores_ambientales_en_bosques_de_Centro_America#read)
- Holdridge, L. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Segunda Ed. IICA, San José, CR. 230 p. (En línea). Revisado el 16 de marzo de 2022. Disponible en: <http://www.cct.or.cr/contenido/wp-content/uploads/2017/11/Ecologia-Basada-en-Zonas-de-Vida-Libro-IV.pdf>
- Ibáñez, J. 2007. Acidez y alcalinidad (pH) o reacción del suelo. Curso de Diagnóstico de Suelos en Campo (Régulo León Arteta). Universidad Autónoma de México. Distrito Federal, MX. (En línea). Revisado el 16 de julio de 2017. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/24/64266>

- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2017. Pino caribe (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari). Paquete tecnológico forestal. Guatemala, GT. INAB. 37 p. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: [http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2802/Technical/PINO%20CARIBE.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2802/Technical/PINO%20CARIBE.pdf)
- Khouri, E.; Canga, E.; Oliveira, 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. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v1n1/v1n1a6.pdf>
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, MX. 365 p. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: [http://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/crecimiento\\_e\\_incremento\\_klepac\\_dusan.pdf](http://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/crecimiento_e_incremento_klepac_dusan.pdf)
- Martínez-Salvador, M.; Valdez-Cepeda, R. D.; Pompa García, M. 2013. Influence of physical variables in the yield of *Pinus arizonica* and *Pinus engelmannii* in the south of Chihuahua, México. Madera y Bosques 19(3): 35-49. (En línea). Revisado el 16 de julio 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/298496521\\_Influence\\_of\\_physical\\_variables\\_in\\_the\\_yield\\_of\\_Pinus\\_arizonica\\_and\\_Pinus\\_engelmannii\\_in\\_the\\_south\\_of\\_Chihuahua\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/298496521_Influence_of_physical_variables_in_the_yield_of_Pinus_arizonica_and_Pinus_engelmannii_in_the_south_of_Chihuahua_Mexico)
- Molina, E. 2007. Análisis de suelos y su interpretación. San José, CR, CIA-UCR-Amino Grow International. 8 p. (En línea). Revisado el 16 de marzo 2022. Disponible en: <https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r121777.PDF>
- Núñez, P.; Pimentel, A.; Almonte, I.; Sotomayor, D.; Martínez, N.; Pérez, A.; Céspedes, C. 2011. Soil fertility evaluation of coffee (*Coffea* spp.) production systems and management recommendations for the Barahona province. Dominican Republic. Journal Soil Science and Plant Nutrition 11(1): 127-140. (En línea). Revisado el 16 de marzo 2022. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/jsspn/v11n1/art10.pdf>
- Núñez, R.; Almonte, I.; Mercedes, U. 2020. Caracterización de suelos en tres zonas forestales de República Dominicana. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (Idiaf). Santo Domingo, DO. 146 p.
- Odum, E. 1985. Fundamentos de ecología. Nueva editorial Interamericana. Tercera edición en español, México, DF. 653 p. (En línea). Revisado el 16 de marzo 2022. Disponible en: <http://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/1028.%20Ecolog%C3%ADa.%20Odum.pdf>
- Olivera, P. A. Á.; Corona, I. M. G.; Reyes, Y. M. 2014. Determinación del sistema de raleos por índices de sitios para plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari. Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES 2(1): 6. (En línea). Revisado el 16 de marzo 2022. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5223158>
- Pavón-Chocano, A. B. 2003. Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz. Anejo III: Análisis de suelo. Universidad De Castilla - La Mancha. 8 p. (En línea). Revisado el 16 de marzo 2022. Disponible en: [https://www.uclm.es/area/ing\\_rural/Proyectos/AntonioPavon/05-AnejosIII.pdf](https://www.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AntonioPavon/05-AnejosIII.pdf)
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, CR. 586 p. (En línea). Revisado el 16 de marzo 2022. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/15038/CDCR21030929e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, L. 2016. Caracterización de la variabilidad de poblaciones de *Pinus occidentalis* Swartz en la República Dominicana mediante el empleo de técnicas morfoanatómicas y moleculares. Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDOCyT) y los proyectos de Fondos Propios del Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC). (En línea). Revisado el 16 de marzo 2022. Disponible en: <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/14208/2016000001547.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sharma, R.; Brunner, A.; Eid, T. 2012. Site index prediction from site and climate variables for Norway spruce and Scots pine in Norway. Scandinavian Journal of Forest Research 27(7): 619-636. (En línea). Revisado el 16 de marzo 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.685749>
- Sierra, C.; López, G.; Sospedra, R. 2017. Modelación de hábitats potenciales de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barrett y Golfari en el Occidente de Cuba. Avances 19(1): 42-50. (En línea). Revisado el 16 de marzo 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/6378/637867024007.pdf>

