

A E E T

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE ECOLOGÍA TERRESTREEcosistemas 22(3):46-51 [Septiembre-Diciembre 2013]
Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-3.07Artículo publicado en Open Access bajo los términos
de Creative Commons attribution Non Comercial License 3.0.

MONOGRÁFICO:

Modelos ecológicos: descripción, explicación y predicción

ecosistemas

REVISTA CIENTÍFICA DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

ISSN 1697-2473 / Open access

disponible en www.revistaecosistemas.net

Evaluación de las clases de calidad de sitio de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la Empresa Forestal Integral Macurije (Pinar del Río, Cuba)

E. González Izquierdo^{1,*}, H. Barrero Medel², Y. Carrasco Rodríguez²

(1) Centro de Estudios Forestales, Facultad Forestal y Agronomía, Universidad de Pinar del Río, Martí 270, Pinar del Río, Cuba.

(2) Departamento Forestal, Facultad Forestal y Agronomía, Universidad de Pinar del Río, Martí 270, Pinar del Río, Cuba.

* Autor de correspondencia: E. González [eduardo@af.upr.edu.cu]

> Recibido el 12 de noviembre de 2013, aceptado el 16 de diciembre de 2013.

González Izquierdo, E., Barredo 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). *Ecosistemas* 22(3):46-51. Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-3.07.

Evaluación de las clases de calidad de sitio de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la Empresa Forestal Integral Macurije (Pinar del Río, Cuba). La investigación se realizó en rodales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* de plantaciones de la Empresa Forestal Integral (EFI) Macurije (22° 06' y 22° 42' de latitud Norte y los 83° 48' y 84° 23' de longitud oeste) perteneciente a la provincia de Pinar del Río (Cuba occidental). El objetivo de este trabajo es evaluar las clases de calidad de sitio de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la empresa para correlacionarlas con las propiedades de los suelos que así las definen. Para ello, se tomó una muestra de 50 rodales al azar de los 677 rodales existentes en esta empresa, teniendo como variable de interés la calidad de sitio y como variables predictoras: tipo de suelo, textura, saturación, humificación, profundidad del suelo, profundidad pedológica y pendiente topográfica. Estas variables se escogieron por su fuerte influencia sobre la calidad de sitio. Se establecieron como restricciones para la selección que hubiese 10 rodales por cada calidad de sitio y que estuviesen en las clases de edades superiores a 10 años. Se obtuvo un modelo de regresión lineal múltiple paso a paso, el cual explicó la relación existente entre las variables edáficas y la pendiente topográfica con la calidad de sitio. El modelo explicó el 30 % de la variación de la calidad de sitio. El subtipo de suelo y la pendiente topográfica fueron las variables más explicativas de la calidad de sitio y por lo tanto deben tomarse como referentes a la hora de planificar la gestión forestal de las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Palabras clave: propiedades físicas; propiedades químicas; índice de calidad de sitio; modelo multivariante.**González Izquierdo, E., Barredo Medel, H., Carrasco Rodríguez Y. 2013. Evaluation of site index classes for *Pinus caribaea* var. *caribaea* in the Integral Forest Company Macurije (Pinar del Río, Cuba). *Ecosistemas* 22(3):46-51. Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-3.07.**

Evaluation of site index classes for *Pinus caribaea* var. *caribaea* in the Integral Forest Company Macurije (Pinar del Río, Cuba). The research was carried out in stands of *Pinus caribaea* var. *caribaea* in plantations of the Integral Forest Company (IFC) Macurije (22° 06' y 22° 42' North latitude and 83° 48' y 84° 23' longitude West) belonging to the province of Pinar del Río (western Cuba). The objective of this work was to evaluate the classes of site index of *Pinus caribaea* var. *caribaea* in the Integral Forest Company Macurije to correlate them with the properties of soil, allowing then to estimate growth of pine stands based on soil features. To do so, we took a random sample of 50 stands among the 677 existent stands in this company, having as variable of interest the site index and as prediction variables: soil type, texture, saturation, humification, depth of the soil, pedological depth and topographical slope. These variables were chosen to the strong influence on the site quality. We chose as restrictions for the selection that there should be 10 stands for each site index (SI), and that they are in the age classes superior to 10 years. A model of regression lineal multiple step by step was developed, which explained the existent relationship between the edaphic variables and the topographical slope with the site index. The best model explained 30 % of the variation in site quality. The soil subtype and the topographical slope were the most explanatory variables in the site index. Therefore, they should be taken as reference when planning the forest administration of the plantations of *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Key words: physical properties; chemical properties; site index; multivariate model

Introducción

El mundo que conocemos está experimentando un gran cambio, debido al constante incremento de la población pero también el aumento del nivel industrial y de desarrollo a lo largo de todo el planeta. Este cambio supone un importante aumento en las necesidades de energía, agua, comida y materias primas, que deben ser cubiertas por los ecosistemas que componen la biosfera en la que vivimos. El dinamismo de la sociedad actual, junto con los cambios que ya hemos producido en el planeta (contaminación, cambio climático, modificación del paisaje, etc.) supone que las for-

mas tradicionales de estimar las producciones futuras de los recursos naturales ya no son válidas, ya que las condiciones ecológicas, económicas y sociales futuras serán diferentes a las que hemos experimentado. Por este motivo resulta imprescindible la utilización de las mejores herramientas disponibles, basadas en conocimientos científicos rigurosos sobre las relaciones entre los componentes de los ecosistemas, para planificar la gestión de los recursos naturales a medio y largo plazo (Blanco 2013).

Según Serrada (2008) el conjunto de los factores ecológicos abióticos que inciden en un lugar concreto, se conoce como estación (o sitio como se emplea en la terminología forestal en Cuba).

Mientras que por *calidad de estación* (en inglés *site index*), se entiende la capacidad productiva de un lugar para una determinada especie forestal. Partiendo del concepto anteriormente enunciado cabría preguntarse lo siguiente: ¿Cuáles son las propiedades o características que definen un sitio y su calidad en las condiciones ecológicas de Cuba? ¿Se puede generar un modelo estadístico que permita predecir el crecimiento potencial del pino caribeño, basado en la calidad de sitio y las variables edáficas?

La calidad del sitio se define como la capacidad de un área determinada para el crecimiento de árboles. Es la respuesta, en el desarrollo de una determinada especie arbórea, a la totalidad de las condiciones ambientales (edáficas, climáticas y bióticas) existentes en un determinado lugar (Kimmins 2004). Su conocimiento resulta fundamental en la ingeniería forestal para elegir los mejores sitios para plantar la especie apropiada en el lugar adecuado y para cambiar las características del mismo por medio de prácticas silvícolas si fuera necesario. La productividad es un concepto biológico y no puede medirse y expresarse matemáticamente con facilidad. Por ello, tradicionalmente se ha optado por representar la calidad de sitio a través de un índice denominado índice de sitio o índice de productividad, ambos muy populares porque son una expresión cuantitativa de la calidad de sitio y permiten una comparación cuantitativa entre diferentes lugares (Prodan et al. 1997).

Muchos autores consideran que el mejor indicador de la calidad de sitio, al ser más independiente del tratamiento, es la altura de la masa, y especialmente la altura dominante (altura media de los 100 árboles más altos del rodal). Eso quiere decir conceptualmente que las masas de mayor rendimiento tendrían una mayor altura y además tendrían que estar asociadas a los suelos con un potencial que respalde ese crecimiento. Esta relación se puede pensar en el principio muy simple de las "masas más productivas" estarían creciendo en "suelos más productivos" (Kimmins 2004).

Muchos autores consideran que dada la multiplicidad de variables que se han considerado como indicadoras clases de calidad del suelo, se hace imprescindible el uso de metodologías que permitan identificar las que tengan mayor incidencia (González-Molina 2005). Entre estas metodologías, los métodos de estadística multivariada tienen en cuenta las correlaciones entre numerosas variables que son analizadas simultáneamente, de tal modo que permiten sintetizar e interpretar la información. Por tanto, las técnicas estadísticas multivariadas se han usado para agrupar suelos de una población estudiada, y permiten la interpretación de las potenciales causas de las diferencias observadas en las propiedades del suelo. Tal es el caso del análisis de componentes principales (ACP), que ha hecho posible la resolución de numerosos problemas como por ejemplo la determinación de propiedades discriminantes de manejo en suelos semiáridos (Quiroga et al. 1998), la evaluación de los impactos de las labranzas sobre la calidad del suelo (Wander y Bollero 1999), o la relación de la compactabilidad del suelo con las propiedades físicas y orgánicas (Ball et al. 2000). El ACP es usado para agrupar suelos de una población estudiada y permite la interpretación de las potenciales causas de las diferencias observadas en las propiedades del suelo.

Lamentablemente, como refiere Barrero et al. (2011), en Cuba la construcción de las curvas de índices de sitio ha sido realizada en su totalidad sobre principios anamórficos, es decir curvas de crecimiento de la masa arbórea en el tiempo de formas iguales, basadas en la hipótesis de una relación altura-edad constante. La construcción de las curvas de índices polimórficas (curvas de diferentes formas dependientes de la relación altura-edad), no ha sido posible debido a la inexistencia de largas series cronológicas provenientes de parcelas permanentes de monitoreo que permitan explicar la evolución de cualquier masa, ya sea en plantación o una masa natural de la altura en función de la edad, obtenidas de parcelas permanentes o mediante el análisis troncal. En consecuencia, existe una necesidad en Cuba de desarrollar dichos estudios relacionando suelo y capacidad productiva para mejorar la sostenibilidad de la gestión forestal. Por ello, el objetivo de este trabajo es evaluar las clases de calidad de estación de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la Empresa

Forestal Integral (EFI) Macurije de Pinar del Río, Cuba para correlacionarlas con las propiedades de los suelos que así las definen.

Material y métodos

La investigación se realizó en rodales de las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* de la Empresa Forestal Integral (EFI) Macurije (ubicadas aproximadamente en los 22° 06' y 22° 42' de latitud Norte y los 83° 48' y 84° 23' de longitud oeste) perteneciente a la provincia de Pinar del Río (Cuba occidental, Fig. 1). Para ello se tomó una muestra de 50 rodales al azar de los 677 rodales existentes en esta empresa, teniendo como variable de interés las calidades de sitio identificada por Barrero (2010) para la propia empresa fijadas para los valores de la altura dominante: 13, 16, 19, 22, 25 y 28 metros a la edad de 30 años (Fig. 2). Para ello se utilizó el software SIG MAPINFO ver.10.5 (Pitney Bowes Software), y estableciendo como restricciones para la selección que fuesen 10 rodales por cada calidad de sitio (CS) y que estuviesen en las clases de edades superior a 10 años.

Para la correspondencia in situ de las calidades de sitio existentes en la empresa se escogieron las variables edáficas siguientes: tipo de suelo, textura, saturación en bases, grado de humificación, profundidad del suelo (en cm), profundidad pedológica y pendiente topográfica. Los valores de estas variables se obtuvieron con la ayuda de la capa de suelos facilitadas por el Instituto de Suelos de la provincia de Pinar del Río perteneciente al Ministerio de la Agricultura e insertada en el SIG. Se empleó la tercera versión de la clasificación genética de los suelos cubanos según Cairo y Fundora (2007) y predominan los suelos Ferralíticos cuarcítico amarillento y rojizo, equivalentes a los Oxisols en la clasificación norteamericana de 1975 (U.S.D.A. Soil Taxonomy).

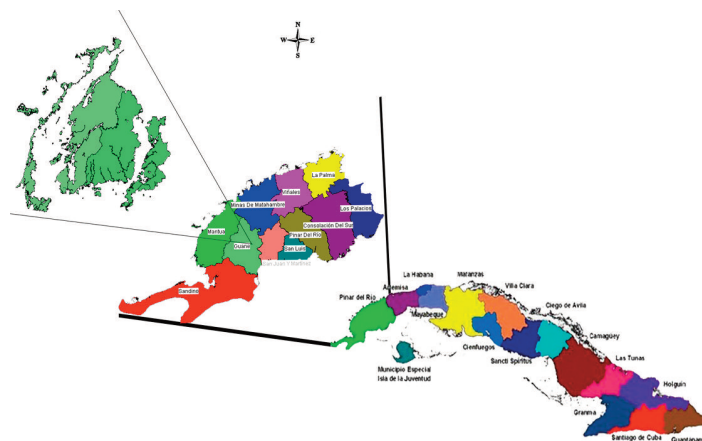


Figura 1. Ubicación geográfica de la EFI Macurije en Pinar del Río (Cuba occidental), que comprende de los municipios de Mantua y Guane

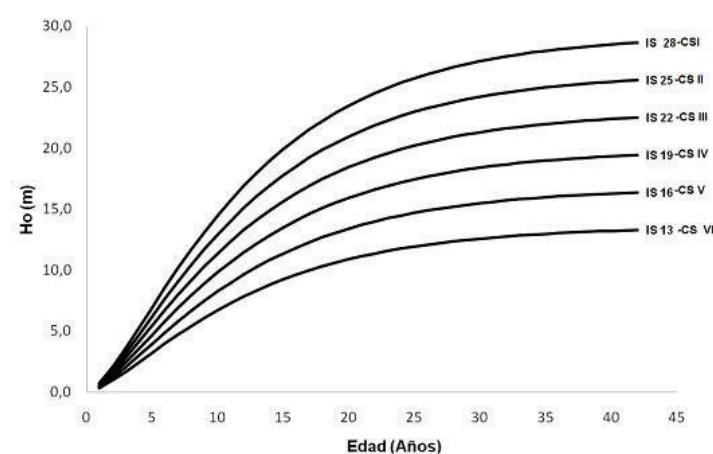


Figura 2. Haz de curvas de índices de sitio para la altura dominante según Barrero (2010). Ho: Altura dominante a los 30 años.

Además, se obtuvo la matriz de correlación no paramétrica de Spearman Roms por la existencia de diferentes escalas de medición de las variables utilizadas, variables discretas y continuas. A partir de esta matriz se estableció el nivel de relación de las variables analizadas, además de un análisis de clasificación por conglomerados jerárquicos. Esto permite explicar la correspondencia existente en la variable de interés, las variables edáficas y la pendiente topográfica. Además se obtuvo un modelo de regresión lineal múltiple por pasos estableciéndose como criterio de entrada seleccionar las variables que tuviesen coeficientes de regresión parcial significativamente distinta de cero al 5 %. Una vez seleccionadas, las variables sólo son eliminadas del modelo si con la incorporación de otra u otras variables si en un paso posterior sus coeficientes de regresión parcial dejan de ser significativamente distinto de cero al 10 % de significatividad. Este análisis permitió explicar la relación existente entre las variables edafo-topográficas con la calidad de la estación. Todos estos análisis se realizaron con el apoyo del procesador estadístico profesional SPSS ver. 15 para Windows (SPSS Inc, Chicago IL, 2006).

Resultados

La matriz de correlación de Spearman Roms (Tabla 1) muestra los bajos valores de los coeficientes de correlación así como la significación estadística de las variables subtipo de suelo, textura, saturación, humificación, profundidad del suelo (en cm), profundidad pedológica, la pendiente topográfica y la calidad de sitio no siendo así de esta última con la altura media. El dendrograma de conglomerados (Fig. 3) separó la variable edáfica profundidad de la calidad del sitio, la pendiente y el resto de las variables edáficas. Teniendo en cuenta solamente 20 % de similitud se distinguen dos grupos y se evidencia que el conjunto de variables edáficas comparten muy estrechamente sus características ecológicas, lo que determina su ubicación próxima en el dendrograma.

En la Tabla 2 se muestra la ejecución de la regresión lineal múltiple paso a paso, con el resumen final del modelo obtenido con dos pasos. En el primer paso se seleccionó la variable subtipo de suelo y en el segundo paso la erosión. El modelo con dos variables seleccionadas logró explicar como resultado final el 30 % de la variación de la calidad de sitio. En la Tabla 3 se representan los coeficientes de regresión parcial de las variables excluidas en cada paso.

Los resultados del análisis de varianza para las regresiones lineales correspondientes a los modelos seleccionados se presentan en la Tabla 4. Esta tabla contiene los valores de F al contrastar la hipótesis de que el valor poblacional coeficiente de determinación R^2 en cada paso es 0. Al ser R^2 en el primer paso significativamente distinto de cero resultó también distinto de cero para el paso siguiente. En la Tabla 5 se presentan los coeficientes de regresión parcial de las variables incluidas en el modelo de regresión así como el estadístico t y el nivel crítico ($\text{sig} < 0.05$), siendo estos dos últimos valores aceptables para contrastar la hipótesis de que los coeficientes de regresión parcial son cero en la población (Quinn y Keough 2002). Así sustituyendo los valores de los coeficientes no estandarizados resulta la siguiente ecuación:

$$\text{CSH} = 3.442 + (-1.558) * S + 0.554 * E \quad (\text{ec. 1})$$

Las clases de calidad obtenidas según la Figura 4 contiene una sección del mapa elaborado con las clases de calidad de sitio que resultan con el empleo del SIG MAPINFO ver.10.5, y donde se puede apreciar su ubicación.

Discusión

Un mejor conocimiento del proceso suelo-ecosistema necesita de la evaluación de varias propiedades y de herramientas analíticas multivariadas (Sena et al. 2002). Bravo y Montero (2001) han hecho estudios que correlacionan variables edáficas y las clases de calidad de estación para *Pinus sylvestris* en España, al igual que Bravo-Oviedo y Montero (2005) en *Pinus pinea* también en España,

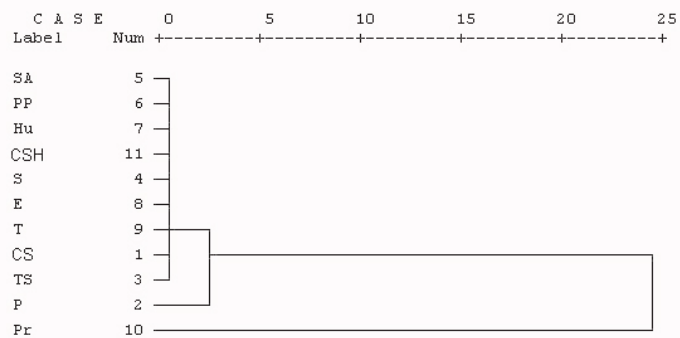


Figura 3. Dendrograma del análisis de cluster de las variables analizadas, donde SA es saturación, PP es profundidad pedológica, Hu es humificación, CSH es calidad de sitio propuesta por Barrero et al. (2011), S es subtipo de suelo, E es erosión, T es textura, CS es calidad de sitio, TS es tipo de suelo, P es pendiente topográfica y Pr es profundidad del suelo en centímetros.

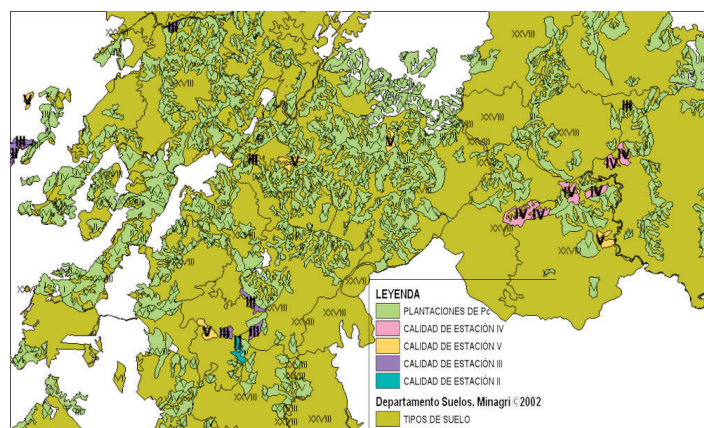


Figura 4. Mapa para ejemplificar la rodalización de un área de la EFI Maturije con la ubicación de sus clases de calidad de sitio.

con resultados semejantes a los presentados en este trabajo respecto a la importancia de las variables aquí exploradas. Posteriormente, Campitelli et al. (2010) señalan que dada la multiplicidad de variables que se han considerado como indicadores de las clases de calidad del suelo, se hace imprescindible el uso de metodologías que permitan identificar las que tengan mayor incidencia (Quiroga y Funaro 2004).

La baja correlación obtenida en la matriz de Spearman Roms de las variables edáficas con la pendiente topográfica y la calidad de sitio puede estar causada por la poca fertilidad de estos suelos en relación a las variables edáficas y a los efectos que la silvicultura haya podido propiciar, amén de que esta variable no haya sido objeto de interés. Por su parte la variable pendiente topográfica y su baja correlación con la calidad de sitio es consecuencia de la poca variabilidad de la misma en los sitios muestreados. Por su parte la fuerte correlación de la calidad de sitio con la altura media se explica por la relación estrecha que resulta de estas dos variables. Así, Barrero (2010) encuentra un coeficiente de correlación de 0.98 entre estas dos variables muy en correspondencia con lo encontrado en este trabajo que ha resultado de 0.94.

De forma semejante, la identificación por el análisis de cluster, de los dos grupos de variables hace entender el ordenamiento de la calidad de sitio con variables tan definibles de la fertilidad de los suelos en procesos rutinarios de muestreo y caracterización de masas forestal como son el tipo de suelo (TS), textura (T), saturación (SA), humificación (H), profundidad del suelo (en cm) (PS), y profundidad pedológica (PP). Esto coincide con lo encontrado por Báez y Gra (1988) para otra especie en Cuba. Bravo y Montero (2001) consideran que entre las características del sitio que representan los parámetros edáficos más importantes para la productividad forestal

Tabla 1. Matriz de correlación no paramétrica de Spearman Roms donde, Corr.: Coeficiente de Correlación (rho de Spearman), Sig.: es significación bilateral, CE: calidad de estación, P: pendiente topográfica, TS: tipo de suelo, CSH: calidad de sitio (propuesta por Barrero et al. 2011), S: subtipo de suelo, SA: saturación en bases, PP: profundidad pedológica, Hu: humificación, E: erosión, T: textura y PS: profundidad del suelo en centímetros. En negrita, correlaciones significativas, (n= 30 datos).

| | | CE | P | TS | CSH | S | SA | PP | Hu | E | T | PS |
|------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------------|--------|--------------|--------------|-------|--------------|--------|----------|
| Calidad de estación | Corr. | 1.000 | 0.285 | 0.071 | 0.946 | 0.263 | 0.374 | 0.066 | 0.236 | 0.268 | 0.233 | 0.028 |
| | Sig. | . | 0.127 | 0.709 | 0.000 | 0.159 | 0.042 | 0.729 | 0.209 | 0.152 | 0.215 | 0.885 |
| Pendiente topográfica | Corr. | | 1.000 | -0.175 | 0.317 | -0.073 | 0.571 | 0.281 | 0.081 | 0.244 | 0.165 | -0.079 |
| | Sig. | | . | 0.354 | 0.087 | 0.702 | 0.001 | 0.132 | 0.672 | 0.194 | 0.382 | 0.679 |
| Tipo de suelo | Corr. | | | 1.000 | 0.068 | 0.023 | 0.011 | 0.029 | 0.251 | -0.048 | 0.009 | 0.217 |
| | Sig. | | | . | 0.721 | 0.906 | 0.956 | 0.878 | 0.181 | 0.800 | 0.964 | 0.250 |
| Calidad de estación (Altura media) | Corr. | | | | 1.000 | 0.223 | 0.353 | 0.011 | 0.181 | 0.111 | 0.310 | 0.031 |
| | Sig. | | | | . | 0.237 | 0.055 | 0.953 | 0.338 | 0.559 | 0.096 | 0.869 |
| Subtipo de suelo | Corr. | | | | | 1.000 | 0.050 | 0.370 | 0.271 | 0.324 | 0.028 | 0.113 |
| | Sig. | | | | | . | 0.795 | 0.044 | 0.147 | 0.081 | 0.883 | 0.553 |
| Saturación en bases | Corr. | | | | | | 1.000 | 0.169 | 0.249 | 0.315 | 0.246 | 0.016 |
| | Sig. | | | | | | . | 0.373 | 0.185 | 0.090 | 0.189 | 0.934 |
| Profundidad pedológica | Corr. | | | | | | | 1.000 | 0.266 | 0.565 | -0.176 | 0.334 |
| | Sig. | | | | | | | . | 0.155 | 0.001 | 0.352 | 0.072 |
| Humificación | Corr. | | | | | | | | 1.000 | 0.301 | 0.111 | -0.176 |
| | Sig. | | | | | | | | . | 0.106 | 0.559 | 0.352 |
| Erosión | Corr. | | | | | | | | | 10.000 | -0.095 | 0.377(*) |
| | Sig. | | | | | | | | | . | 0.617 | 0.040 |
| Textura | Corr. | | | | | | | | | | 1.000 | -0.242 |
| | Sig. | | | | | | | | | | . | 0.197 |
| Profundidad del suelo en cm | Corr. | | | | | | | | | | | 1.000 |
| | Sig. | | | | | | | | | | | . |

Tabla 2. Resumen de los modelos obtenidos según el procedimiento de regresión múltiple por pasos (probabilidad de F para entrar ≤ 0.05 ; probabilidad de F para salir ≥ 0.10). Variable dependiente CS (calidad de sitio).

| Modelo | R | R ² | R ² corregida | Error típico de la estimación | Durbin-Watson |
|----------------------------|-------|----------------|--------------------------|-------------------------------|---------------|
| Subtipo de suelo | 0.427 | 0.182 | 0.153 | 0.783 | |
| Subtipo de suelo + Erosión | 0.549 | 0.301 | 0.249 | 0.737 | 1.987 |

Tabla 3. Resultados del análisis de regresión por pasos para explicar la calidad de sitio (variables excluidas).

| Modelo | Variable | Beta dentro | t | Sig. | Correlación parcial | Colinearidad (tolerancia) |
|----------------------------|------------------------|-------------|--------|-------|---------------------|---------------------------|
| Subtipo de suelo | Pendiente | 0.021 | 0.119 | 0.906 | 0.023 | 1.000 |
| | Tipo de suelo | -0.065 | -0.363 | 0.719 | -0.070 | 0.949 |
| | Saturación | 0.110 | 0.634 | 0.531 | 0.121 | 0.998 |
| | Profundidad pedológica | -0.025 | -0.138 | 0.891 | -0.027 | 0.921 |
| | Humificación | -0.011 | -0.062 | 0.951 | -0.012 | 0.958 |
| | Erosión | 0.380 | 2.145 | 0.041 | 0.382 | 0.824 |
| | Textura | -0.079 | -0.455 | 0.653 | -0.087 | 0.999 |
| | Profundidad (cm) | -0.044 | -0.223 | 0.825 | -0.43 | 0.761 |
| Subtipo de suelo + erosión | Pendiente | -0.140 | -0.791 | 0.436 | -0.153 | 0.840 |
| | Tipo de suelo | -0.029 | -0.171 | 0.866 | -0.033 | 0.939 |
| | Saturación | 0.020 | 0.115 | 0.909 | 0.023 | 0.928 |
| | Profundidad pedológica | -0.256 | -1.363 | 0.185 | -0.258 | 0.709 |
| | Humificación | -0.078 | -0.463 | 0.648 | -0.090 | 0.926 |
| | Textura | -0.046 | -0.281 | 0.781 | -0.055 | 0.990 |
| | Profundidad (cm) | -0.237 | -1.192 | 0.244 | -0.228 | 0.643 |

Tabla 4. Análisis de la varianza para las regresiones de los modelos escogidos.

| Modelo | Fuente de variabilidad | Suma de cuadrados | g.l. | Media cuadrática | F | Sig. |
|----------------------------|------------------------|-------------------|------|------------------|-------|-------|
| Subtipo de suelo | Regresión | 3,821 | 1 | 3,821 | 6,239 | 0,019 |
| | Residual | 1,146 | 28 | 0,612 | | |
| | Total | 20,967 | 29 | | | |
| Subtipo de suelo + erosión | Regresión | 6,316 | 2 | 3,158 | 5,82 | 0,008 |
| | Residual | 14,651 | 27 | 0,543 | | |
| | Total | 20,967 | 29 | | | |

Tabla 5. Significación de los coeficientes de las regresiones lineales para los modelos seleccionados.

| Modelo | Coeficiente | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig |
|----------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|--------|--------|
| | | B | Error típico | Beta | | |
| Subtipo de suelo | Constante | 3,865 | 0,905 | | 4,272 | <0,001 |
| | Coef. subtipo suelo | -1,135 | 0,495 | -0,427 | -2,498 | 0,019 |
| Subtipo de suelo + erosión | Constante | 3,442 | 0,874 | | 3,937 | 0,001 |
| | Coef. Subtipo suelo | -1,558 | 0,471 | -0,586 | -3,308 | 0,003 |
| | Coef. Erosión | 0,554 | 0,258 | 0,38 | 2,145 | 0,041 |

están la textura (representado por el porcentaje de limo y la raíz cuadrada del porcentaje de arcilla) y la capacidad de asimilación de los nutrientes (representado por la capacidad de intercambio catiónico), los cuales hacen la mayor contribución en la discriminación entre clases de índice de sitio. En este trabajo, estos parámetros no fueron estudiados, pero tienen relación directa con el subtipo de suelo, la principal variable relacionada con la calidad de sitio. En este caso también la erosión formó parte del mejor modelo, probablemente porque puede alterar ambos parámetros, ya que las partículas más finas tienen tendencia a ser erosionadas primero.

La correlación obtenida en el modelo con dos variables independientes subtipo de suelo y la erosión de 0.549 es considerada como aceptable según Hernández et al. (1997). La explicación por parte de las mismas del 30 % ($R^2 = 0.301$) de la variabilidad de la calidad de sitio da un entendimiento del peso de las variables edáficas sobre el conjunto de factores que conforman la calidad de sitio. Este resultado se corresponde con lo encontrado por Gandullo y Sánchez-Palomares (1994) con base en el conocimiento de 32 parámetros edafoclimáticos, partir de los cuales se formularon ecuaciones de pronóstico de la calidad de las masas existentes o futuras de las especies de pinos en España, empleando una metodología de correlación multifactorial. Sin embargo, Schlatter (1993) en un estudio de la fertilidad del suelo y su aplicación a la producción forestal donde compara los distintos conceptos de fertilidad desarrollados por la Escuela Alemana de la Ciencia del suelo y refiere que Jackson y Gifford (1974) determinaron para 132 lugares de muestreo que el incremento volumétrico periódico de *Pinus radiata* fue definido fundamentalmente por los siguientes factores (en relación al suelo): profundidad efectiva del suelo, nitrógeno total y fósforo disponible en los primeros 7.5 cm de suelo. Estos factores (unido a otros climáticos como la precipitación) explicaron un 66 % de la variación del crecimiento. También en Chile Schlatter, Gerding y Bonnefoy (1982) determinaron que considerando 42 sitios en toda la zona de *P. radiata*, los factores que más influyeron en el índice de sitio fueron la textura, la profundidad del horizonte A y el drenaje. Mientras que los datos recopilados en este trabajo reflejan que el modelo donde las dos variables seleccionadas logran explicar como resultado final el 30 % de la variación de la calidad de sitio.

Prieto et al. (2013) señalan que se han desarrollado listas de indicadores de uso universal pensando en todas las situaciones posibles y todos los suelos posibles, pero en el trabajo de estos autores se descartaron indicadores que, si bien forman parte de listas

muy usadas en otras partes del mundo, no tienen validez local, ya que se desarrollaron para el estado de Hidalgo en México. Por ello, es importante señalar que estos indicadores de estado del recurso suelo, no son universales sino que deben ser elegidos en función del tipo de ambiente y suelo de la región en estudio. Para darle el sentido temporal será necesario realizar mediciones secuenciales en lapsos de tiempo tales que permitan registrar cambios en los atributos utilizados vinculados a las condiciones de uso y manejo de los suelos (Cantú et al. 2007).

Aunque la explicación de la variabilidad pueda parecer baja en los resultados obtenidos, hay que destacar que se emplean únicamente dos variables en los modelos, lo que para este tipo de estudios es notable. Sin embargo, con vistas a su utilización en la gestión forestal, dada la baja explicación de los modelos de regresión en la correlación entre las propiedades de los suelos estudiadas en este trabajo y las clases de calidad de sitio, hay que seguir investigando con análisis de suelos más detallados que los que nos brindan los mapas de suelos empleados.

Referencias

- Báez, R., Gra, H. 1988. Estudios dasométricos en *Casuarina equisetifolia*. I. Tablas de volumen. *Revista Forestal Baracoa* 18 (2): 82.
- Ball, B.C., Campbell, D.J., Hunter, E.A. 2000. Soil compactibility in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK. *Soil and Tillage Research* 57: 83-91.
- Barrero, H. 2010. *Modelo integral de crecimiento, perfil del fuste, grosor de corteza y estudio de la microdensidad de la madera para Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barret y Golfari. Estudio de caso EFI Macurije*. Tesis, Universidad de Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba.
- Barrero, H., Mothe, F., Nepveu, G., Álvarez, D., García, I., Guera, M. 2011. 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. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17 (2), 245-252.
- Blanco, J. 2013. Aplicaciones de modelos ecológicos a la gestión de los recursos naturales. *OmniaScience* 215. Doi: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.60>
- Bravo, F., Montero, G. 2001. Site index estimation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the High Ebro Basin (northern Spain) using soil attributes. *Forestry* 74 (4), 395-406.
- Bravo-Oviedo, A., Montero, G. 2005. Site index in relation to edaphic variables in stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in south west Spain. *Annals of Forest Sciences* 62: 61-72.

- Cairo, P., Fundora, O. 2007. *Edafología*. 1ª y 2ª Parte. Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba. 476 p.
- Campitelli, P., Auki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., Sereno, R. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del Suelo* 28 (2): 223-231.
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, A.C., Schiavo, H. F. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices en la Pampa Argentina. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 25(2):173-178.
- Gandullo, J.M., Sánchez-Palomares, O. 1994. *Estaciones ecológicas de los pinares españoles*. ICONA, MAPA Madrid. 188 p.
- González-Molina, J.M. 2005. *Introducción a la silvicultura general*. Universidad de León, León, 309 p. ISBN: 9788497732239.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. 1997. *Metodología de la investigación*. McGRAW-HILL Interamericana de México. S.A. de C.V.
- Jackson, D.S., Gifford, H.H. 1974. Environmental variables influencing the increment of radiata pine (1) Periodic volume increment. *New Zealand Journal of Forestry Science* 4(1):3-26.
- Kimmins, J.P. 2004. *Forest Ecology. A foundation for sustainable management and environmental ethics in forestry*. Prentice Hall, New Jersey. USA.
- Prieto, J. M., Prieto, F.G., Acevedo, O.S., Méndez, M. M. 2013. Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana* 24 (1): 83-91.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., Real, P. 1997. *Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. Proyecto IICA/GTZ sobre agricultura, recursos naturales y desarrollo sostenible*. San José, Costa Rica. 561 p.
- Quinn, G.P., Keough, M.J. 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologist*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Quiroga, A., Buschiazzi, D.E., Peinemann, N. 1998. Management discriminant properties in semiarid soils. *Soil Sci.* 163: 591-597.
- Quiroga, A., Funaro, D. 2004. Materia orgánica, factores que condicionan su utilización como indicador de la calidad en molisoles de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. *Actas del XIX Congreso Argentino de Ciencia del Suelo, Paraná. Argentina, Junio 2004*. pp. 476, CD-ROM.
- Schlatter, J.E. 1993. Fertilidad del suelo, concepto y su aplicación a la producción forestal. En: *Reimpresión de Charlas y Conferencias No. 8., XIII Congreso argentino de la Ciencia del Suelo, 8-12 de abril de 199, San Carlos de Bariloche, Argentina*. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 7 p.
- Schlatter, J.E., Gerding, V., Bonnefoy, M. 1982. Factores del sitio de mayor incidencia en la productividad de *Pinus radiata* (D. don). En: *Actas de reunión de trabajo sobre evaluación de sitios forestales*. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 61-95 p.
- Sena, M.M., Frighetto, R.T.S., Vlarini, P.J., Tokeshi, H, Poppi, R.J. 2002. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. *Soil and Tillage Research* 67: 171-181.
- Serrada, R. 2008. *Apuntes de Silvicultura*. Servicio de Publicaciones. Capítulo V. 133-168 p. EUIT Forestal. Madrid. España.
- Wander, E.D., Bollero, G.A. 1999. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Science Society of America Journal* 63: 961-971