



APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES CATEGÓRICOS EN LA SELECCIÓN DE ESPECIES PARA LA REFORESTACIÓN DE SUELOS SALINIZADOS

APPLICATION OF THE CATEGORICAL PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS IN THE SELECTION OF SPECIES FOR THE REFORESTATION OF SALINIZED SOILS

ABILIO O'FARRILL-COLEBROOK^{1*}, MAGALY HERRERA-VILAFRANCA², LUCIA R. SARDUY-GARCÍA²

¹Unidad de Ciencia y Técnica de Base Investigaciones e Innovación Tecnológica, La Habana, Cuba

²Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba

*Autor para correspondencia: forestbaracoa@edicionescervantes.com

RESUMEN

Los suelos cubanos no están exentos de la degradación por salinidad, inducida fundamentalmente por acciones antrópicas. Esta situación constituye uno de los factores limitante para el establecimiento de algunas especies forestales. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar la experiencia de la aplicación Análisis de Componentes Principales Categóricos (CATPCA), en la técnica de Forestería Análoga. Se empleó el Escalamiento Óptimo, para reducir la información a la menor dimensión posible y el Análisis de Componentes Principales Categóricos para seleccionar las variables categóricas que constituyen las especies promisorias para la rehabilitación de suelos salinizados en 14 Fincas Forestales Integrales del Valle de Guantánamo. Con la utilización del método estadístico se definieron como Componentes Principales Categóricos, tolerancia a la sal, la zona, el efecto de la raíz, al tipo de raíz y ritmo de crecimiento.

Palabras clave: forestería, especies promisorias, suelos, variables categóricas

ABSTRACT

Cuban soils are not exempt from degradation due to salinity, fundamentally induced by anthropic actions. This being one of the limiting factors for the establishment of some forest species. The objective of this paper is to show the experience of the Categorical Principal Component Analysis (CATPCA) application, in the Analog Forestry technique. Optimum Scaling was used to reduce the information to the smallest possible dimension and Principal Categorical Components Analysis was used to select the categorical variables that constitute the promising species for the rehabilitation of salinized soils in 14 Integral Forest Farms of the Guantánamo Valley. With the use of the statistical method, the Main Categorical Components were defined as tolerance to salt, the zone, the effect of the root, the type of root and the growth rate.

Keywords: forestry, promising species, soils, categorical variable

INTRODUCCIÓN

La deforestación y la desertificación son graves problemas ambientales que amenazan el mantenimiento de la vida en el planeta. Este último, en algunos casos, se debe a la salinización de los suelos provocada por el hombre (O'Farrill, 2012). En el planeta existen 76 millones de hectáreas afectadas por la salinidad (Hamilton, 2009). En Cuba se ha reportado más de un millón de hectáreas afectadas, lo que constituye el 15 % del área agrícola del país (Oliva, 2012). Específicamente en el valle de Guantánamo, hay 17.878,90 ha afectadas (Milá et al., 2015). El establecimiento

de plantaciones forestales constituye una de las posibilidades de uso de suelos degradados (Ferrari & Wall, 2004).

La técnica de Forestería Análoga (FA) se ocupa de recrear ecosistemas dominados por árboles mediante la réplica de un bosque clímax tomado como referencia. La introducción de esta técnica en Cuba se caracterizó por su aplicación, principalmente, en lugares que, aun estando degradados, no presentaban las características extremas de las fincas del valle de Guantánamo (sequía y suelos salinizados), donde se realizó el trabajo reflejado en este artículo (O'Farril et al., 2018).

Recibido: 06/4/2022

Aceptado: 15/2/2023

Conflictos de interés: Los autores declaran que no existe conflictos de interés.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Para obtener los mejores resultados en la aplicación de dicha técnica, fue necesario adicionar al concepto original definido por (Senanayake, 2005), el de analogía entre 69 especies obtenidas en un inventario realizado en el entorno de las fincas, en relación con 16 características o efectos nominales predeterminados y la aplicación del método de Análisis de Componentes Principales Categóricos.

El objetivo del presente trabajo es mostrar la utilización del método de Análisis de Componentes Principales Categóricos como complemento a la FA, para definir las especies a emplear en la rehabilitación de las áreas afectadas por la salinidad cuando no existe un bosque original maduro como referencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el período comprendido entre los años 2008 y 2016 en la Unidad Silvícola de Base Guantánamo de la Empresa Agroforestal Guantánamo. El área de estudio abarcó 351 ha que contienen 14 Fincas Forestales Integrales. El clima en esta región es semidesértico y corresponde al más seco de Cuba, con temperaturas máximas de 34°C y precipitaciones escasas, con valores mínimos de 400 mm anuales (O'Farrill, 2018).

Durante la evaluación se siguió la metodología general de aplicación de la Forestería Análoga (FA). La caracterización geográfica del área se realizó mediante diagnóstico, mapeo, valoración ecológica y elaboración de tablas de datos con las especies inventariadas en el entorno. Se establecieron tres parcelas demostrativas representativas de diferentes áreas de las fincas en las que se midieron los niveles de sal y pH del suelo, y se evaluó la adaptabilidad y el desarrollo de 10 especies forestales en condiciones extremas.

La tabla de datos posee 16 características o efectos nominales y se obtuvo mediante un método de encuesta a los pobladores y la revisión documental. El procedimiento estadístico consistió en aplicar el Escalamiento Óptimo para reducir la información a la menor dimensión posible y el Análisis de Componentes Principales Categóricos (CATPCA) para seleccionar variables categóricas, lo cual permitió identificar los principales indicadores estudiados y visualizar la información en el gráfico Biplot de las 69 especies forestales, frutales y otras en menor cuantía que contiene la base de datos. Se aplicó un análisis de brechas (según la metodología de FA) que permite determinar las especies que se deben establecer en cada zona. El paquete estadístico utilizado fue IBM SPSS Statistics, versión 22.0.

Con los resultados obtenidos en las parcelas demostrativas, se trabajó inicialmente con las 16 características que contiene la tabla de datos (Anexo). Posteriormente, se consideraron cinco características, ya que presentaban los mayores coeficientes de peso en el análisis previo, de acuerdo con los coeficientes de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de brechas mostró la carencia de árboles con alturas de 5.0-10.0 m en la composición de los doseles en las zonas 1 y 2. Este resultado sugiere que es conveniente plantar especies que puedan alcanzar dichas alturas, tal como sugiere la metodología de Forestería Análoga (FA), teniendo en cuenta los tratamientos y manejos silvícolas adecuados para condiciones extremas.

El empleo de las fórmulas fisionómicas que caracterizan parcelas degradadas y el bosque nativo permitió diseñar un plan de reforestación para la finca "El Palmar", en el municipio de Pinar del Río, a partir de la metodología general de FA. En el estudio se incluyeron tanto los doseles del bosque nativo como los de las especies de interés propuestas por el productor (Suárez & Correay, 2014).

Se observó que existen diferencias importantes entre la cobertura en las tres zonas evaluadas y la del bosque de la zona tomada como referencia (zona 4). Por lo tanto, se requiere la incorporación paulatina de especies análogas en cada uno de los doseles para lograr, a corto, mediano y largo plazo, aumentar la cobertura.

El Análisis de Componentes Principales Categóricos (CATPCA) mostró que el método explicó el 61% de la variabilidad de la información original en dos dimensiones, con un coeficiente Alfa de Cronbach total que expresa un nivel de fiabilidad de 0,89 (Tabla 1). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Herrera, (2013), en su tesis sobre Métodos Estadísticos Alternativos de Análisis con variables discretas y categóricas en investigaciones agropecuarias. Un coeficiente de fiabilidad se considera excelente cuando alcanza un valor de 0,94 o mayor. Esto indica que el método empleado en este caso fue muy bueno según la escala propuesta por Hair et al., (2004), quienes consideran que es aceptable cuando el valor de este coeficiente alcanza niveles de 0,60 o 0,70.

Estos resultados permitieron concluir que las características seleccionadas son suficientes para comprender la relación entre los niveles de salinidad de cada zona y las especies presentadas en la tabla de datos, con el fin de solucionar las brechas existentes entre la zona tomada como referencia (zona 4) y el resto. Las características seleccionadas fueron: Ritmo de crecimiento de las especies (lento, medio, rápido), que define el momento sucesional en que cada especie puede ser introducida. Tolerancia a la salinidad (baja, media, alta), que determina en cuál de las cuatro zonas se puede plantar cada especie y a qué ritmo debe hacerse. Requerimiento de agua (bajo, medio, alto), que influye en la selección de la zona para plantar cada especie. Tipo de raíz (profunda, superficial, media), que afecta la infiltración del agua y, por lo tanto, el lavado de las sales del suelo. El efecto de la raíz mejora el suelo, controla la erosión y contribuye a la formación de nuevos suelos. Los exudados radiculares influyen en el desarrollo de microorganismos, beneficiando el ecosistema.

Tabla 1. Resultado del coeficiente Alfa de Cronbach para las características evaluadas.

| Dimensión | Alfa de Cronbach | Varianza contabilizada | |
|-----------|-------------------------|------------------------|---------------|
| | | Total (autovalor) | % de varianza |
| 1 | ,719 | 2,603 | 37,187 |
| 2 | ,476 | 1,689 | 24,122 |
| Total | ,895^a | 4,292 | 61,309 |

a. Se utiliza el total de alfa de Cronbach en el autovalor total

Además, la biomasa existente en la superficie del suelo puede tener efectos positivos o negativos sobre el desarrollo del ecosistema, mientras que el sistema radicular de los árboles reduce significativamente la erosión del suelo, tanto eólica como hídrica.

En la siguiente tabla se muestra el valor de contribución de los coeficientes de peso total (la contribución de cada variable) en cada dimensión. Si se toman en cuenta los valores superiores a 0,65, los indicadores de mayor contribución son la zona, la tolerancia a la sal, el requerimiento de agua, el efecto de la raíz y la especie (Tabla 2).

En la figura 1, se muestra el Biplot de los indicadores analizados a partir de los resultados del CATPCA. La figura muestra gráficamente la posición de los coeficientes de peso obtenidos, los cuales determinan las zonas de ubicación de las especies en estudio. Para la dimensión 1, se ratifican positivamente los efectos del requerimiento de agua, el efecto de la raíz y la especie, mientras que el ritmo de crecimiento tiene un efecto negativo. En la dimensión 2, la mayor contribución corresponde a los efectos de la zona y la

tolerancia a la sal, pero en direcciones opuestas, tal como se explicó en las tablas anteriores.

En la figura 2 se observa que casi todas las especies se agrupan en correspondencia con las cinco características evaluadas. Las especies que más se separan de este agrupamiento son *Acacia mangium* Willd; *Persea americana* MILL.; *Caesalpinea violacea* (Mill) Standl y *Coccolrhinax yuraguana* (A.RICH.) LEON.

A continuación, se muestra la relación entre las especies y los indicadores estudiados. Para la dimensión 1, las especies se agrupan mayoritariamente de forma positiva en torno a los indicadores de tolerancia a la sal, la zona y el efecto de la raíz; mientras que el resto lo hacen de forma negativa con el ritmo de crecimiento, el tipo de raíz y el requerimiento de agua. Para la dimensión 2, las especies se agrupan mayoritariamente de forma positiva respecto al tipo de raíz, el ritmo de crecimiento, la tolerancia a la sal y la zona; en cambio, las demás especies se agrupan negativamente en relación al requerimiento de agua, el efecto de la raíz y la especie. Es necesario aclarar que en el análisis CATPCA, los coeficientes de peso de la primera dimensión son los más relevantes (Figura 3).

Tabla 2. Coeficientes de pesos de los indicadores evaluados para cada dimensión.

| Indicadores | Coordenadas del centroide | | | Total (coordenadas de vector) | | |
|---------------|---------------------------|--------|--------|-------------------------------|--------|-------------|
| | Dimensión | | Media | Dimensión | | Total |
| | 1 | 2 | | 1 | 2 | |
| Zona | ,090 | ,661 | ,376 | ,001 | ,661 | ,662 |
| Crecim | ,257 | ,128 | ,193 | ,257 | ,128 | ,385 |
| Tole. sal | ,240 | ,551 | ,395 | ,152 | ,526 | ,678 |
| Req. agua | ,727 | ,102 | ,415 | ,724 | ,034 | ,758 |
| Tip. raíz | ,053 | ,208 | ,131 | ,050 | ,208 | ,258 |
| Efec.raíz | ,719 | ,058 | ,388 | ,718 | ,016 | ,734 |
| Especie | ,729 | ,286 | ,507 | ,701 | ,116 | ,817 |
| Total activo | 2,816 | 1,995 | 2,405 | 2,603 | 1,689 | 4,292 |
| % de varianza | 40,225 | 28,498 | 34,361 | 37,187 | 24,122 | 61,309 |

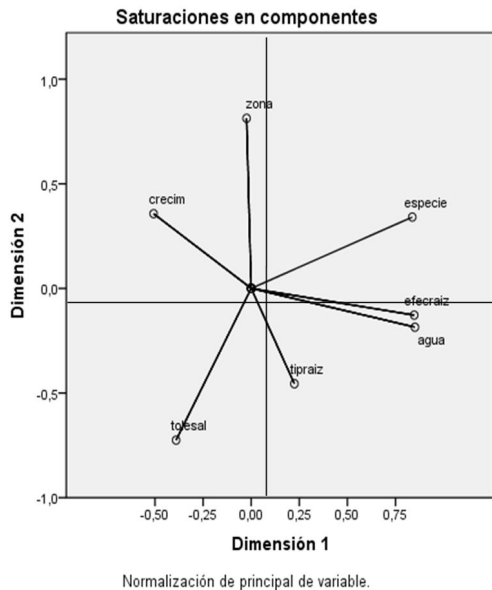


Figura 1. Biplot de los indicadores evaluados en el estudio

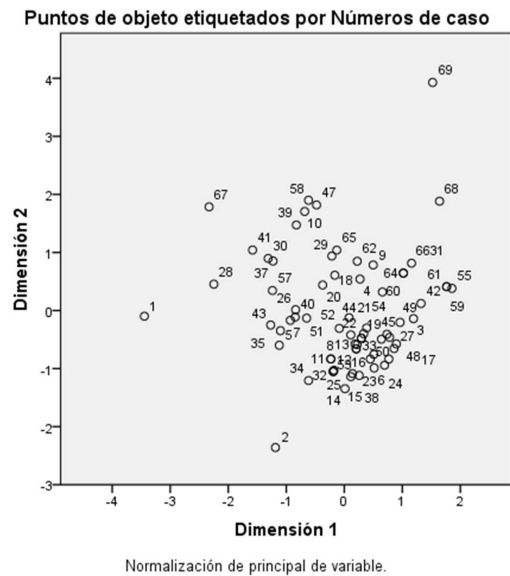


Figura 2. Diplot de agrupamiento de las especies.

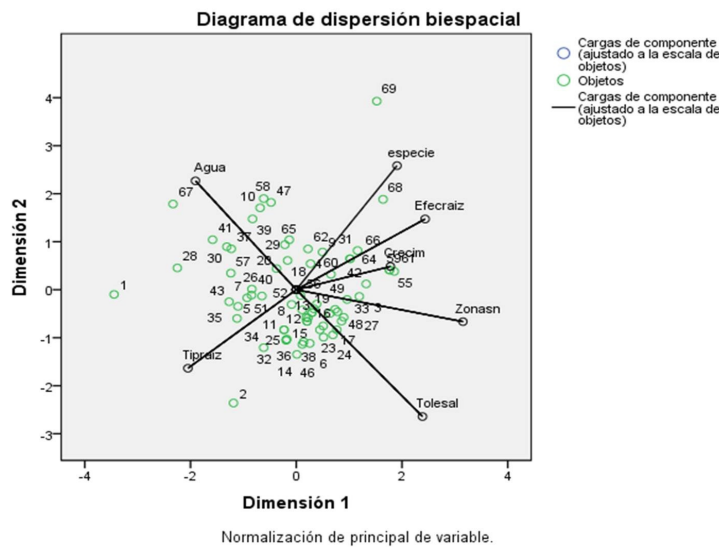


Figura 3. Especies agrupadas por dimensiones de acuerdo a los indicadores evaluados

El Análisis de Componentes Principales Categóricos contribuyó a seleccionar las especies que corresponden a cada zona, de acuerdo con lo detectado en el análisis de brechas. Desde el punto de vista biológico, el resultado mostró que para definir o diseñar un plan de manejo para rehabilitar estas áreas, se deben tener en cuenta cuatro características principales en la selección de las especies a plantar, que son: requerimiento de agua, efecto de las raíces, tipo de zona y tolerancia a la sal.

Propuesta de especies para cada zona de las fincas

Para la zona 1 de cada finca, se recomiendan las siguientes especies:, *Prosopis juliflora* (SW) DC;

Azadirachta indica A. Juss; *Savia sessiliflora* (SW) Wild; *Conocarpus erecta* L.; *Caesalpinea violacea* (Mill) Standl; *Albizia lebbek* (L.) Benth; *Guaiacum officinale* L.; *Coccoloba uvifera* (L.) y *Casuarina equisetifolia* Forst.

En la estructura de las especies propuestas para esta zona predominan aquellas de raíz profunda y alta tolerancia a la sal. Las brechas en altura entre su vegetación y la zona de referencia están cubiertas por *Prosopis juliflora*, *Albizia lebbek* y *Casuarina equisetifolia*.

Prosopis juliflora es una especie introducida, perteneciente a la familia Mimosaceae. Según Pérez & Fals (2017), forma parte de las especies colonizadoras.

Numerosos estudios han demostrado que es resistente a los suelos salinos, con raíces profundas que alcanzan estratos acuíferos a menor concentración de sal.

Albizia lebbbeck, también de la familia Mimosaceae, es un árbol mediano, generalmente de entre 8 y 15 m de altura y entre 40 y 60 cm de diámetro, aunque puede llegar a alcanzar los 30 m de alto y entre 60 y 90 cm de diámetro (Betancourt, 2000). Es una especie caducifolia, maderable, melífera y aportadora de nitrógeno al suelo, pionera en la etapa de restablecimiento del bosque. Puede crecer en la orilla de ríos y mares. Sus hábitats nativos, caracterizados por climas extremos, varían desde temperaturas de 5 a 46 °C, con precipitaciones anuales entre 500 y 2,500 mm. Además, puede desarrollarse en áreas con largas sequías intermedias. Se adapta a una gran variedad de suelos, aunque prefiere condiciones húmedas. Crece mejor en suelos francos y bien drenados, pero también puede desarrollarse en suelos arcillosos, arenosos profundos, lateríticos y degradados.

Casuarina equisetifolia es tolerante a la sal de manera limitada, es de raíz profunda y aportadora de nitrógeno. Se considera una especie formadora de suelos a tal punto que en condiciones extremas de plantación para la rehabilitación de áreas degradadas por la minería a cielo abierto en la región Nicaro - Mayarí, Cuba.

Para la zona 2 de cada finca, se adicionan a las especies de la zona 1 las siguientes: *Cordia gerascanthus* (L.) Borh.; *Simaruba laevis* Griseb; *Swietenia mahagoni* L. Jacq., y *Colubrina arborescens* (Mill.) Sarg. En esta zona, además de las especies señaladas para la zona 1, *Swietenia mahagoni* contribuye a eliminar las brechas de altura en comparación con la zona de referencia. Pertenece a la familia Meliaceae y está clasificada como especie estabilizadora (Pérez & Fals, 2017). En Cuba, puede crecer en suelos con materiales parentales de marga y piedra caliza, y tolera un pH relativamente alto (hasta 8.5). Por tanto, se consideró apropiada para el enriquecimiento del bosque en las zonas menos afectadas por la salinidad. Considerada como madera preciosa, su requerimiento de agua es medio.

Para la zona 3, las especies que se añaden a las propuestas para las zonas 1 y 2 son: *Albizia cubana* Britt. et Wils; *Hebestigma cubense* (Kunth) Urb.; *Pithecelobium dulce* (Roxb.) Benth. y *Samanea saman* (Jacq.) Merrill. Las especies *Albizia cubana*, *Pithecelobium dulce* y *Samanea saman*, se integran para cubrir la brecha de altura entre las zonas 3 y 4, siendo esta última la zona de referencia. *Albizia cubana* es nativa y *Samanea saman* está naturalizada, ambas presentes en los alrededores del área de estudio. Por su parte, Monroy & Colín (2016) consideran a *Pithecelobium dulce* como un árbol de uso múltiple, útil como cerco vivo en cultivos. Esta especie puede alcanzar hasta 20 m de altura, tiene una copa ancha, un tallo ligeramente torcido y una corteza gris verdosa con manchas blanquecinas. Es de fácil establecimiento, rápido crecimiento, y se propaga por

semilla. Además, tolera la sequía, soporta la tala continua y puede crecer en suelos pobres. Es resistente a plagas y tiene utilidad en la medicina tradicional. Estas características hacen que *Pithecelobium dulce* sea promisorio para los fines de rehabilitación planteados en este trabajo.

Estas especies deberán manejarse de manera paulatina, según sus peculiaridades, su rol en la mejora de las características del suelo, y los objetivos de aumentar el valor económico de las plantaciones. Las especies propuestas para el enriquecimiento de la zona 4 son todas autóctonas y elevan su potencial económico desde el punto de vista maderable. Estas incluyen: *Swietenia mahagoni* L. Jacq.; *Cedrela odorata* L.; *Cordia gerascanthus* (L) Bort. y *Albizia cubana* Britt. et Wils.

CONCLUSIONES

El Análisis de Componentes Principales Categóricos es un método viable para apoyar la aplicación de la técnica de Forestería Análoga en la caracterización de las especies a utilizar en la reforestación de suelos salinizados.

Para la reforestación masiva de áreas afectadas por la salinidad, dentro de un plan de manejo, es fundamental considerar cuatro características principales en la selección de las especies a plantar: requerimiento de agua, efecto de las raíces, tipo de zona y tolerancia a la sal.

Asimismo, para la reforestación de las áreas estudiadas, es necesario incluir en los planes de manejo de la empresa las especies propuestas como resultado de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Betancourt, A. (2000). Árboles maderables exóticos en Cuba. Editorial Científico Técnica.
- Ferrari, A.E.; Wall, L.G. (2004). Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, 105(2): 63-87. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15679>
- Hair, J.F.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L.; Black, W.C. (2004). Análisis multivariante (5.a ed.). Madrid: Pearson Prentice Hall. <https://documat.unirioja.es/servlet/libro?codigo=320227>
- Hamilton, J.M. (2009). Arugula crop production in arid and semi-arid regions: Nutritional value, post-harvest quality, and sustainability in controlled environments - ProQuest [PhD, THE UNIVERSITY OF ARIZONA]. <https://www.proquest.com/openview/fad5df0876b110ca8e95f249b2422fe1/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750>
- Herrera, M. (2013). Métodos Estadísticos alternativos de análisis con variables discretas y categóricas en investigaciones agropecuarias [Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias)]. Universidad Agraria de la Habana.

- Milá, F.; Herrera, R.; Sánchez, R. (2015). Determinación de los Factores Limitantes y Agroproductividad con la Utilización del Sistema de Información Geográfica en la Provincia de Guantánamo.
- Monroy, R.; Colín, H. (2016). El guamúchil *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth, un ejemplo de uso múltiple. *Madera y Bosques*, 10(1): 35-53. <https://doi.org/10.21829/myb.2004.1011278>
- O'Farrill, A. (2018). - [Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales]. Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz Montes de Oca" Facultad Forestal y Agronomía. Centro de Estudios Forestales.
- O'Farrill, A. (2012). Recuperación de la biodiversidad forestal en tierras severamente afectadas. Simposio Internacional "Masonería e integración en la sociedad actual".
- Oliva, D. (2012). La Degradación de los Suelos en Cuba (por Dilier Olivera Viciado)—Un Universo invisible bajo nuestros pies. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/03/26/141581>
- Pérez, E.; Fals, A.R. (2017). Algunos indicadores de la restauración ecológica, para rehabilitar territorios degradados en Cuba. 7mo Congreso Forestal de Cuba. Convención Internacional Agro- Forestal.
- Senanayake, R. (2005). Principles of Analog Forestry. <http://www.richforests.org/our-method/analog-forestry/>
- Suárez, Y.; Correy, Y. (2014). Propuesta de reforestación de la finca «EL Palmar» del municipio de Pinar del Río, mediante la forestaría análoga. *Revista Científica Avance* (CU), 16(2).