

USO DEL METODO DE ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA LA EVALUACION DE LA RELACION SUELO PRODUCTIVIDAD EN *Eucalyptus spp.* ESTADO PORTUGUESA-VENEZUELA

**Beatriz Acosta¹; Omaira Márquez¹; Elba Mora²;
Víctor García³; Rubén Hernández¹**

RESUMEN

En el presente trabajo se plantea el análisis, interpretación y clasificación de tres fincas pertenecientes a La División Forestal de Smurfit Cartón de Venezuela, a través del uso del análisis de componentes principales (ACP), utilizando como indicador la altura dominante en el sistema de plantaciones de *Eucalyptus spp.*

Mediante el ACP se seleccionaron los primeros componentes que explicaban el 70% de la variabilidad total del suelo. Esto permitió en primer lugar caracterizar y clasificar las fincas de acuerdo variables químicas y físicas de los suelos. En segundo lugar, reducir la matriz de datos originales, y en consecuencia, lograr un ajuste de modelos de regresión para estimar la altura dominante del *Eucalyptus spp.* en cada una de las tres fincas. Cujicito se caracteriza por mostrar en los primeros dos componentes la mayor variabilidad de sus suelos, explicada en el primero por las características químicas en un 35,11%, y el segundo con un 27,23% debido a características físicas (textura). En La Yaguara se observó un comportamiento contrario, el primer componente esta relacionado con las variables físicas que explican el 28,66% y el segundo con un 18,35% por variables químicas. En Garachico se observaron combinaciones de variables físicas y químicas en los dos primeros componentes, los cuales mostraron una variabilidad de 28,91% y 21,94%, respectivamente.

¹ Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida-Venezuela. E-mail: omarquez@ula.ve, rubeng@ula.ve.

² Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Geografía. Mérida-Venezuela. E-mail: gmora@ula.ve.

³ Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias. Departamento de Física E-mail: vgarciaula.ve.

Los componentes obtenidos se ajustaron a modelos de regresión simple y múltiple, donde se estimó la altura dominante promedio del *Eucalyptus spp*; encontrándose 29,22 m/año en la finca Cujicito, 26,05 m/año en La Yaguara, mientras que en Garachico fue de 23,36 m/año con un nivel de significación del 5%.

Palabras clave: Eucalyptus, altura dominante, suelos, análisis de componentes principales.

**MULTIVARIATE ANALYSIS OF THE PRINCIPAL COMPONENTS
EVALUATING THE RELATIONSHIP BETWEEN SOIL
PROPERTIES AND PRODUCTIVITY IN PLANTATIONS
Eucalyptus spp. IN THE PORTUGUESA STATE-VENEZUELA**

**Beatriz Acosta¹; Omaira Márquez¹; Elba Mora²;
Víctor García³; Rubén Hernández¹**

ABSTRACT

This paper studies the analysis, interpretation and classification of the three farms owing to the Smurfit Venezuelan Cardboard, by the principal component analysis (ACP). The dominant tree height was used as an index to evaluate *Eucalyptus* plantation. The soil main components can explain to 70% or more of the total variance. They were selected applying the principal components analysis. First we characterized and classified the farms according to the physical and chemical properties. Second, the original matrix number was reduced making possible to fit regression model to find the *Eucalyptus spp* dominant tree height in the farms studied. Cujicito farm showed in the main two components the greatest variability in its soils the could be explained first in 35, 11% by chemical properties and second by physical in 27,23%. The Yaguara farm showed that physical properties can explain 28,66% and the second component was explain by chemical properties in 18,35%. We saw in Garachico farm a combination of physical and chemical properties in the first two components that show variability of 28,91% and 21,94%. From the two components studied, simple and multiple regression models were produced. The mean dominant tree height for *Eucalyptus* was 29,22 m in Cujicito; 21,05 m in the Yaguara, while Garachico showed 23,36m at a $P < 0.05$ significance.

Key Word: *Eucalyptus*, dominant height, soils, principal components analysis.

¹ Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida-Venezuela. E-mail: omarquez@ula.ve, rubeng@ula.ve.

² Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Geografía. Mérida-Venezuela. E-mail: gmmora@ula.ve.

³ Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias. Departamento de Física E-mail: vgarciaula.ve.

INTRODUCCION

El género *Eucalyptus*, pertenece a la familia Myrtaceae, con aproximadamente 500 especies y variedades, a excepción de seis que son indígenas de Australia y Tasmania, donde forman densas y bastas selvas. Posee un crecimiento extraordinariamente rápido, su madera puede destinarse para leña, carbón, celulosa, postes, vigas y aserrió.

En Venezuela, existen plantaciones de esta especie ubicadas en los estados Cojedes, Lara y Portuguesa, de los llanos centro-occidentales, establecidas por la empresa privada Smurfit Cartón de Venezuela. Esta empresa a través de su división forestal se ha encargado del desarrollo y establecimiento de plantaciones arbóreas pertenecientes a tres géneros: *Eucalyptus* (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden; *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake y *Eucalyptus × urograndis*), Melina (*Gmelina arborea* Roxb. ex Sm.) y Pino Caribe (*Pinus caribaea* Morelet). Las plantaciones de *Eucalyptus* se destinan primeramente al abastecimiento de materia prima para la industria del cartón.

En consecuencia, es importante estudiar los factores que afectan la relación suelo-productividad, con la finalidad de conocer mejor el crecimiento del eucalipto. El objetivo de este trabajo es analizar, interpretar y comparar el comportamiento del crecimiento de las plantaciones de *Eucalyptus spp.*, establecidas en tres fincas con características fisiográficas diferentes, lo que permitirá mejorar el establecimiento de plantaciones forestales en áreas más promisorias y menos limitantes, redundando en una inversión más eficiente, con incremento de la productividad.

Por lo que se planteó estudiar el crecimiento de esta especie, seleccionando las siguientes variables: altura dominante, altura promedio, diámetro a la altura de pecho, incremento medio anual y sobrevivencia; que fueron relacionadas con variables físico-químicas del suelo, a través, de un análisis multivariante que involucró, análisis de regresión, correlaciones simples y múltiples, de componentes principales (ACP).

El ACP permite comprender mejor la estructura de correlación existente entre las variables, en este caso, químicas y físicas del suelo, establecer hipótesis sobre la interrelación existente entre las mismas y la respuesta evaluada como crecimiento del árbol (Chatfield y Collins, 1980).

Investigaciones previas a este estudio, han reportado que la productividad del *Eucalyptus*, expresada como incremento medio anual (IMA) varía ampliamente con valores bajos de 4 m³/ha/año, a vigorosos de 50 m³/ha/año (FAO, 1979). Esta variación se atribuye a factores del sitio como son: temperatura, precipitación, profundidad efectiva, así como las técnicas silviculturales aplicadas. Sin embargo, algunos estudios reportan que con la aplicación de técnicas silviculturales adecuadas el rendimiento se podría incrementar por encima de 15 m³/ha/año.

La División Forestal de la Empresa Smurfit Cartón de Venezuela, desarrolló una investigación acerca del comportamiento del *Eucalyptus grandis* y del *Eucalyptus urophylla* en ensayos de procedencias; mostrando valores de incremento medio anual a los dos años de edad en la finca el Hierro de 19,3 y 21,3 m³/ha/año (Jurado-Blanco, 1992).

En un informe realizado Uruguay sobre índices de sitio para *Eucalyptus grandis* en diferentes clases de suelos, se reportaron tres tipos de sitios a los 10 años de edad; un sitio A (27,5 m), un sitio B (25 – 22,5 m) y un tercer sitio denominado C (> 21,25m) (Sorrentino, 1995).

En las fincas Santo Tomas y el Hierro, de La División Forestal de Smurfit Cartón de Venezuela, se encontró que la productividad de *E. grandis* fue de 39 m³/ha/año en el Hierro; mientras que, para el híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* tuvo un valor de 28 m³/ha/año, sin embargo el híbrido en Santo Tomas mostró 30 m³/ha/año y la especie pura 20 m³/ha/año (Rosales, 1996).

En investigaciones sobre productividad del *Eucalyptus* realizadas en Argentina, se encontraron rendimientos de 40 a 55 m³/ha/año y más de 36 m de la altura dominante (Sitio I), de 33 a 40 m³/ha/año y una altura dominante de 33 y 36 m (Sitio II) y de 33 m³/ha/año y una altura dominante inferior a los 33 m (Sitio III) para una edad de 12 años (Fernández, 1996).

En un estudio sobre los factores asociados con el crecimiento del *Eucalyptus* realizado en Costa Rica, con la finalidad de establecer una clasificación preliminar de la calidad de sitio, se reportaron rendimientos en altura dominante de 21 m en sitios altos, en sitios medios de 21 a 15 m y en sitios bajos 15 m a los cinco años de edad. En términos de productividad se encontraron diferentes clases de sitios; clase baja (III) con un IMA de 4,38

m³/ha/año, con una edad promedio de 8.4 años. La clase media (II), tuvo un IMA de 11,66 m³/ha/año con una edad promedio de 7 años y en la clase alta (I) se obtuvo un 28,50 m³ /ha/año, con una edad promedio de 9,5 años (Chavaría-Espinoza, 1996).

Un ensayo de plantación del año 1992, realizado para evaluar rendimiento, adaptabilidad y calidad de la masa de especies puras del *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus urophylla* provenientes de semilla y estacas enraizadas del híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* en fincas de la empresa Smurfit Cartón de Venezuela, se obtuvieron los siguientes resultados: en *E. grandis* el IMA fue de 25.63 m³/ha/año, pero *E. urophylla* tuvo 16.77 m³/ha/año; mientras que el híbrido varió entre 24,74 y 26.64 m³/ha/año (Rosales y Stock, 1997).

Al evaluar la calidad de sitio para *Eucalyptus* mediante índices edáficos, en base al rendimiento en altura dominante expresado por la especie en Argentina, se encontraron dos clases de sitios: sitio I con una altura de 14,75 m y el sitio II con 11,5 m, reportando diferencias significativas al 5% (Baridon et al., 1999).

Se ha encontrado que la densidad de un rodal de determinada edad afecta muy poco la productividad, el crecimiento en altura y el patrón de desarrollo de los árboles dominantes (Clutter, 1983).

La construcción de modelos de pronóstico de rendimiento, basados en indicadores edáficos es una alternativa metodológica, cuando se trata de fijar unidades productivas en lugares donde no existen referencias directas (De las Salas, 1987)

MATERIALES Y METODOS

Este estudio se realizó en las fincas La Yaguara (9° 18' y 9° 20' latitud Norte y 69° 18' y 69° 25' longitud Oeste) estado Portuguesa, Cujicito (9° 49' y 9° 53' latitud Norte y 69° 10' y 69° 13' longitud Oeste) estado Lara y Garachico (9° 34' y 9° 39' latitud Norte y 69° 45' y 68° 41' longitud Oeste) estado Cojedes, de La División Forestal de Smurfit Cartón de Venezuela (SCV) ubicadas en los Llanos Centro –Occidentales.

La Yaguara tiene una superficie de 3.349 ha, se encuentra ubicada políticamente en la jurisdicción del municipio Ospino del estado Portuguesa en los Llanos Occidentales del país, tiene una elevación promedio de 180 m.s.n.m., topográficamente el terreno ofrece una superficie generalmente plana, con una pendiente media de 3% (Saavedra y Peña, 1990). Según los datos de la Estación Meteorológica Ospino, durante el período 1981-2000 la zona registró un promedio de precipitación anual de 1632.5 mm (Guerra, 2001), con un promedio de temperatura anual de 26.33 °C (Saavedra y Peña, 1990), presenta suelos pedregosos con drenaje imperfecto y textura pesada.

Cujicito tiene una superficie total de 725 ha, se encuentra ubicada políticamente en el municipio Simón Planas Distrito Palavecino del estado Lara (Sarmiento, 1995). La altitud promedio es de 300 m.s.n.m, el terreno exhibe una topografía variada; desde el punto de vista geomorfológico presenta una parte de planicie de llanura aluvial, perteneciente al cuaternario reciente, pie de monte y terrazas del cuaternario antiguo y en menor proporción colinas sin edad establecida. La precipitación promedio anual es de 1600 mm, existiendo dos épocas de lluvia bien definidas, de Abril a Octubre con 1300 mm y de Noviembre a Marzo con 300 mm. La temperatura media anual es de 25 ° C, registra una máxima en los meses de verano, de Enero a Marzo. Los suelos son profundos, presentan una textura que varía desde arenosa francosa hasta franco arcillo-arenosa.

Garachico tiene una superficie de 2723 ha, situada políticamente en la jurisdicción del Municipio San Carlos, del estado Cojedes (Sarmiento 1995).Se encuentra a una altura de 180 m.s.n.m, el terreno tiene una topografía plana en toda su extensión, exceptuando un área pequeña de 45.75 ha, constituida por lomas bajas. La pendiente del terreno oscila entre 1,5 % y 5 %. La unidad fisiográfica de mayor importancia para esta finca es llano bajo representado por áreas de pobre drenaje, con inundaciones frecuentes. La precipitación promedio anual en la zona es de 1280 mm, existiendo dos épocas de lluvia bien definidas, de Abril a Octubre con 1115 mm y de Noviembre a Diciembre con 112 mm, la época de verano se encuentra entre Enero a Abril. La temperatura media anual es de 28,6 °C, revelando la máxima en el verano entre los meses de Febrero a Abril.

En esta investigación se realizó un muestreo estratificado aleatorio, con el cual se cubrió un amplio rango de variabilidad de suelos y rendimientos. Para esto

se seleccionaron sitios con diferentes niveles de productividad, de acuerdo con los datos del inventario forestal.

Se evaluaron veinte parcelas al azar en cada una de las fincas. Las mediciones del crecimiento de la plantación se realizaron en una parcela de 36 árboles (6*6). El rendimiento de la plantación se determinó midiendo en todos los árboles la altura y el diámetro a la altura del pecho (DAP), así mismo se cuantificaron los árboles muertos o muertos en pie para estimar la sobrevivencia (Peña, 1996; Sánchez, 1994).

La descripción de los suelos se realizó en cada una de las parcelas, analizando las muestras obtenidas barrenando en la parte central de la parcela. Los siguientes parámetros físico-morfológicos fueron descritos: textura, estratificación, color, moteo, nódulos, concreciones, grado de compactación, nivel freático, presencia de grietas, posición geomorfológica, de acuerdo al Manual de Levantamiento de Suelos (Soil Survey Division Staff, 1993). Las muestras provenientes de las tres fincas fueron sometidas a análisis rutinario; midiendo las siguientes variables: porcentaje de arena (a), limo (L), arcilla (A) y materia orgánica (M.O.), contenido de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y aluminio, expresados en mg/kg; pH, color y moteado del suelo, determinados de acuerdo a los procedimientos de laboratorio del FONAIAP (Gilbert *et al.*, 1990). Estos atributos se sometieron a un análisis de componentes principales (ACP), usando el procedimiento PRINCOMP del programa de computación Statistical Analysis System (SAS, 1985).

Se selecciono el ACP de tipo R (en función de los coeficientes de correlación), ya que éste permite trabajar con variables que presentan magnitud y unidades de medidas diferentes (Pla, 1986).

A partir de la matriz R que se generó, se procedió a la extracción de los componentes principales, en base al cálculo de los valores y vectores propios. El ACP permitió reducir el número de variables que ejercen mayor influencia sobre el comportamiento del suelo, en el crecimiento del Eucalyptus, a un número menor de nuevas variables o componentes principales que resumen la mayor parte de la variabilidad. (Chatfield y Collins, 1980 y Pla, 1986). El análisis de regresión y correlación simple y múltiple, a su vez, permitió la estimación de la altura dominante en función de los componentes obtenidos en el ACP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la descripción y comparación de las variables físicas del suelo en las tres fincas estudiadas se muestran en la Figura 1 a, b y c y en el Cuadro 1.

Cuadro 1. CONTENIDOS PORCENTUALES PROMEDIO DE ARENA, LIMO Y ARCILLA EN LOS PRIMEROS 100 CM DE PROFUNDIDAD EN LAS FINCAS DE LA DIVISIÓN FORESTAL DE SMURFIT CARTÓN DE VENEZUELA.

Profundidad (cm)	Finca	Arena %	Limo %	Arcilla %
0 – 30	Cujicito	62.87 a	19.68 a	13,45 a
	La Yaguara	28.04 b	39.49 b	33.08 b
	Garachico	29.44 b	41.61 b	28.94 b
30 - 60	Cujicito	52.84 a	27.30 a	19.86 a
	La Yaguara	28.91 b	34.31 b	36.13 b
	Garachico	33.72 b	36.43 b	30.62 b
60 -100	Cujicito	49.71 a	24.15 a	26.14 a
	La Yaguara	31.81 b	35.86 b	32.32 b
	Garachico	29.88 b	34.96 b	35.83 b

- Letras distintas indican diferencias estadísticas entre variables a un nivel de significación del 0.05

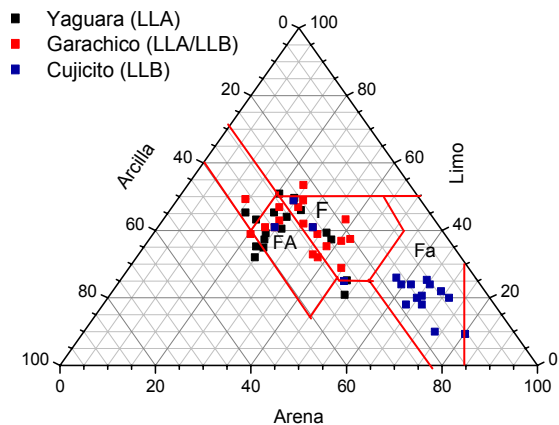
En la Figura 1 a podemos observar que la finca Cujicito, se separa de las otras fincas por presentar diferencias en las texturas, las cuales se encuentran dentro del rango de franco arenoso, mientras que La Yaguara y Garachico se ubican en un rango de textura franco y franco arcilloso. En la Figura 1 b se observa

que de 30-60 cm de profundidad el rango de texturas, es parecido a la de 0-30 cm. Con algunos puntos de muestreo que se encuentran dentro del rango franco y franco arcilloso en Cujicito y en La Yaguara hacia las texturas más franco arenosas y en la Figura 1 c a partir de los 60 cm. de profundidad se observa que los suelos de Cujicito muestran un rango más amplio de texturas, que varían desde franco arenoso, franco arcillo arenoso y arcillo arenoso. En esa profundidad se observa un incremento en los contenidos de arcilla y limo. Los suelos de La Yaguara poseen una mayor variabilidad a esa profundidad, además se aprecia que estos pueden tener en su mayoría texturas franco y franco arcilloso, pero en algunos casos aparecen texturas más arcillosas como arcillo arenosa y franco arcillo limosa. Los suelos de Cujicito presentan un incremento en los contenidos de arena, pero se mantienen predominantemente dentro de la textura franca y franco arcilloso.

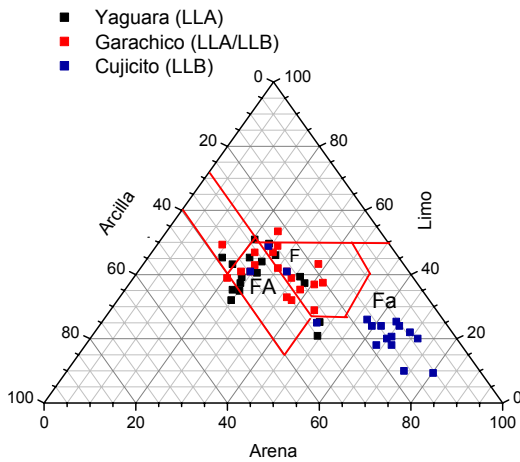
Los valores porcentuales de arena que se presentan en el Cuadro 1, permiten separar los sitios estudiados en dos grupos. Los suelos de Cujicito que tienen contenidos de arena significativamente ($\alpha = 0,05$) más altos que La Yaguara y Garachico, que le confieren a estos suelos un buen drenaje interno. Los suelos de La Yaguara y Garachico exhiben porcentajes de arcilla $> 25\%$, lo que trae como consecuencia que esos suelos presenten un drenaje interno de moderado a lento. Las características hidromórficas que reflejan más claramente el grado de saturación de esos suelos son las tonalidades de color del suelo, que va desde 5YR sobre 7.5YR hasta 10YR, lo que indica moteados con presencia de iones férricos (Fe^{+3}).

Los suelos de Cujicito, carecen de moteados en cualquiera de los horizontes del perfil entre la superficie y 100 cm de profundidad, es decir manchas más rojas o más amarillas que el color principal y generalmente no se observan colores grises; así mismo ocupan las posiciones más altas del terreno y están libres de inundación. Estos suelos se caracterizan por ser excesivamente permeables o bien drenados.

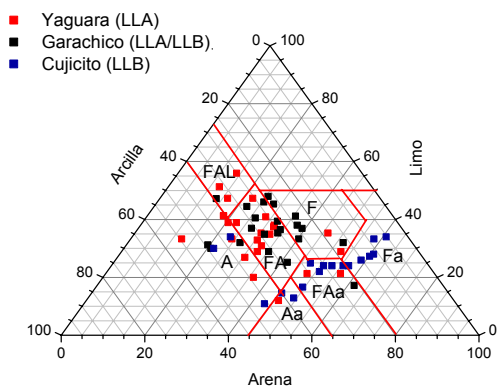
Figura 1. Ubicación en el Triángulo Textural de las Diferentes Posiciones Fisiográficas en las Fincas de la División Forestal de Smurfit Cartón de Venezuela.



a) Profundidad de 0 -30 cm



b) Profundidad de 30 - 60 cm



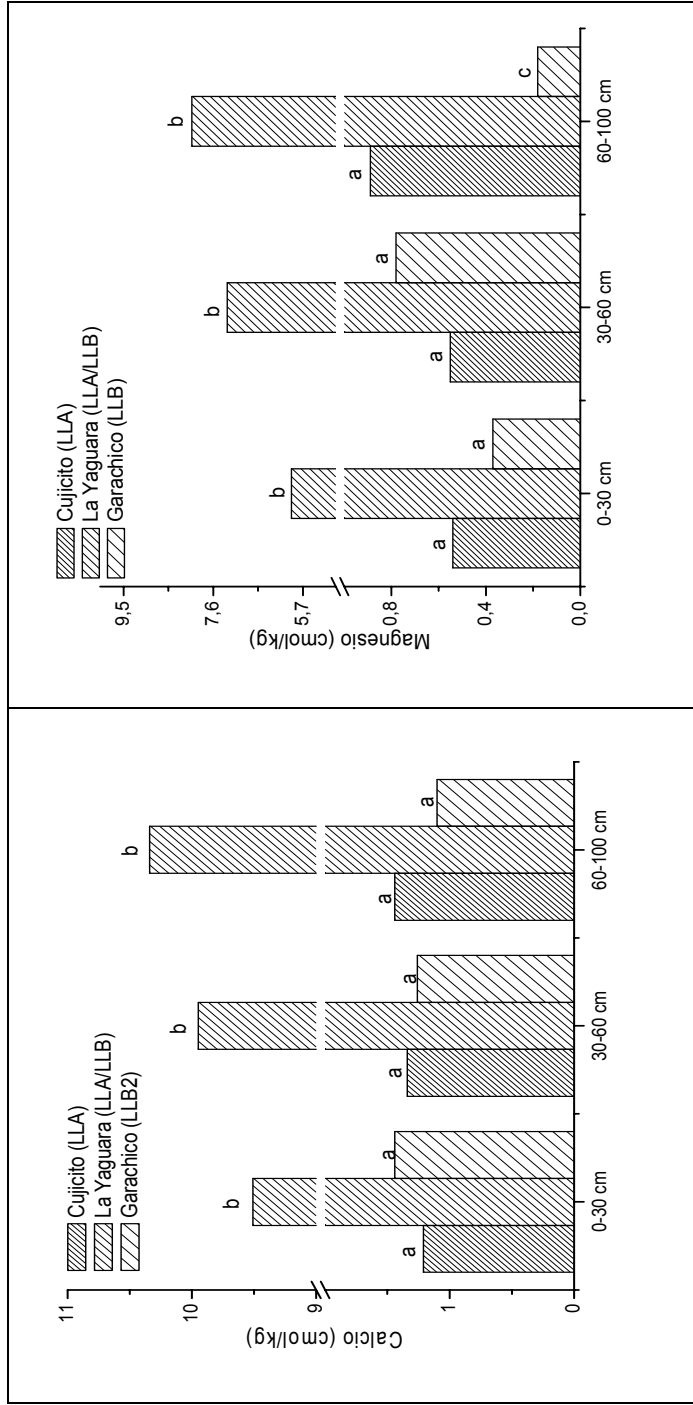
c) Profundidad de 60 - 100 cm

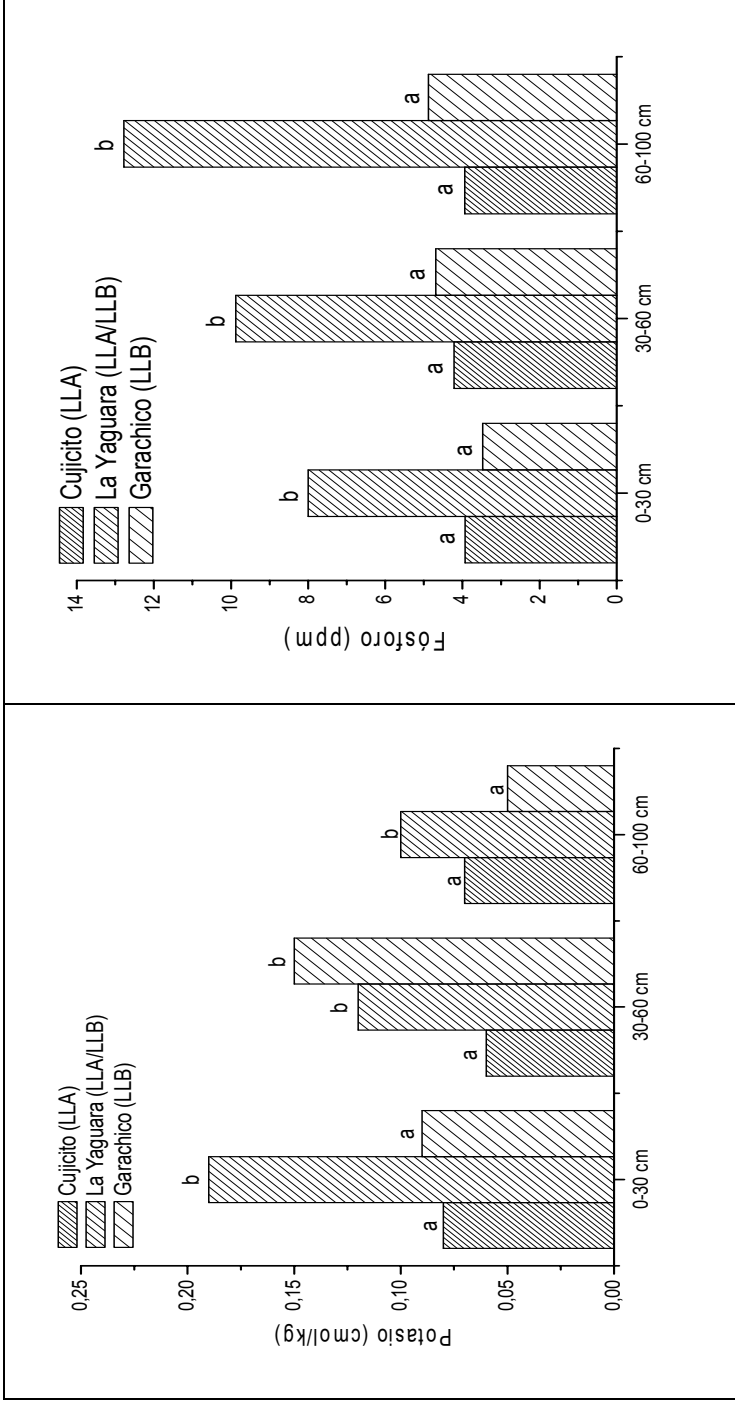
Los suelos de La Yaguara están divididos en dos tipos; suelos que tienen uno o varios horizontes con moteados; es decir, manchas más rojas o amarillas que el color principal, con chromas (purezas) en húmedo > 2 y suelos que no presentan moteado en ninguno de los horizontes.

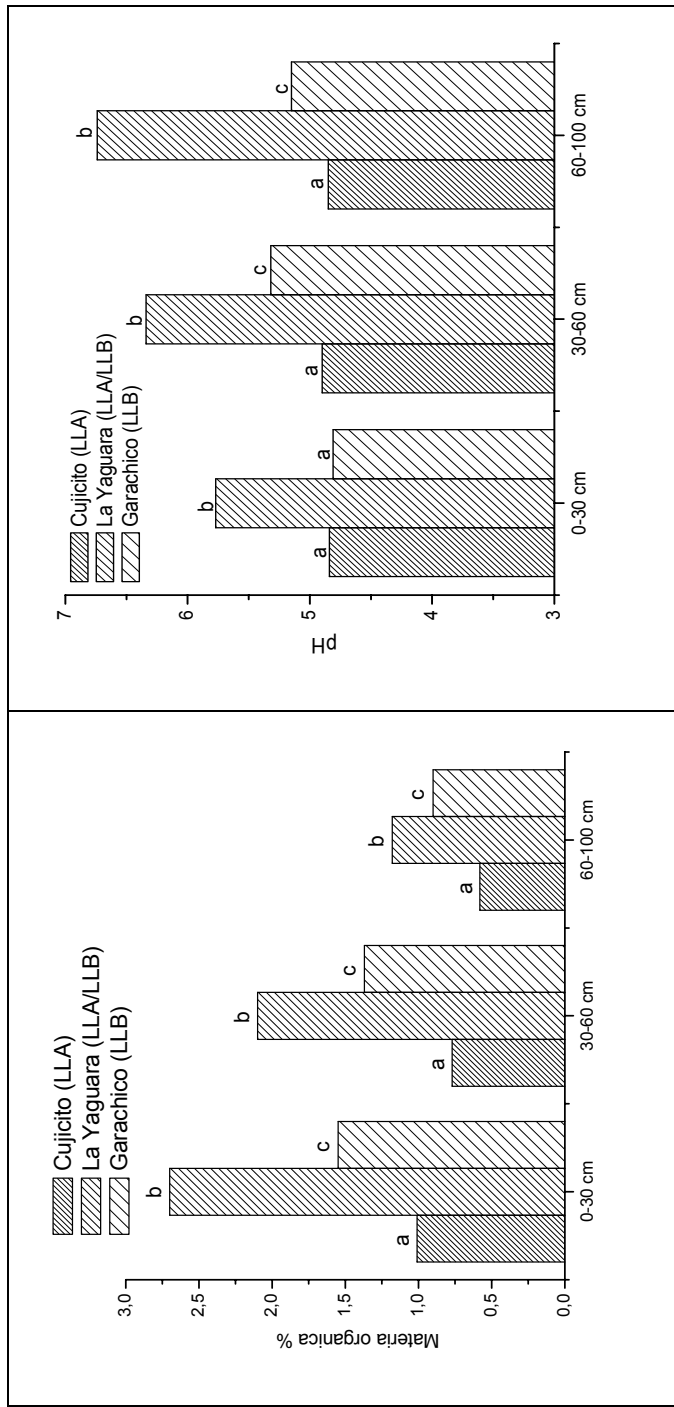
Los suelos de la finca Garachico, están representados por aquellos que generalmente tienen uno o varios horizontes con moteados, manchas y casi siempre presentan colores grises con chromas (purezas) < 2 , en todo o en alguna parte del perfil. Generalmente se inundan una o pocas veces al año y se encuentran en las posiciones más bajas del terreno. En algunos lotes se observó pedregosidad, lo que afecta de forma directa la sobrevivencia. En síntesis, del cuadro 1 se puede concluir, que el comportamiento textural del suelo es similar en todas las profundidades estudiadas en las tres fincas.

Las variables químicas más importantes del suelo se muestran en la figura 2, donde podemos observar que los valores de calcio están dentro del rango de mediano a alto (9,35 – 10,63 cmol/kg) para la finca La Yaguara, siendo estos valores 7,8 veces mayores que los valores reportados para Cujicito y Garachico, que caen en el rango de muy bajos (0,94 – 1,63 cmol/kg), para las tres profundidades.

Figura 2. Valores Promedios de las Variables Químicas en Función de la Profundidad en las Diferentes Posiciones Fisiográficas en las Fincas de la División Forestal de Smurfit Cartón de Venezuela.







* Letras distintas indican diferencias estadísticas entre fincas localizadas en diferentes posiciones fisiográficas y espesores a un nivel de significación del 0.05 mediante la prueba de T.

Las concentraciones de magnesio (5,94 – 8,05 cmol/kg), en la finca La Yaguara, son aproximadamente 13 veces mayores que los valores reportados para Cujicito y Garachico, que están en el rango de bajos a muy bajos (0,18 – 0,89 cmol/kg), para las tres profundidades.

Con relación al contenido de potasio, se observa que en algunos casos existen diferencias significativas en los valores determinados, sin embargo estos valores se sitúan en el rango de bajos, en todas las profundidades estudiadas y en las diferentes posiciones fisiográficas.

El fósforo aprovechable es bajo, sin embargo, se presentan contenidos significativamente más altos en las tres profundidades de los suelos localizados en la Yaguara, que en Cujicito y Garachico, cuyos valores son inferiores.

Los suelos de la Yaguara presentan contenidos de materia orgánica significativamente más altos en las tres profundidades que los suelos localizados en la finca Garachico; ambos a su vez presentan valores significativamente superiores a los suelos de Cujicito, que poseen cifras inferiores al 1% en las diferentes profundidades.

La posición fisiográfica de llano alto (finca Cujicito) y llano bajo (finca Garachico), muestran suelos con un pH muy ácido y ácido. La prueba de T, para los suelos en consideración, arrojaron diferencias significativas a un nivel del 5% en los horizontes sub-superficiales (30 -100 cm).

Se puede observar también que los suelos de La Yaguara localizados en posición fisiográfica de llano alto, corresponden a rangos de pH ligeramente ácidos a casi neutros en función de la profundidad. Los valores de pH muestran diferencias significativas ($P < 0.05$) con relación a las dos posiciones fisiográficas antes mencionadas.

En el Cuadro 2 se muestran los promedios (\bar{x}) con sus respectivas desviaciones estándar (**S**) de las variables diámetro a la altura del pecho (DAP), altura promedio, altura dominante, IMA y sobrevivencia de las tres fincas estudiadas. Se observa que estas variables muestran valores similares en promedio en Cujicito y La Yaguara, mientras que en Garachico existen diferencias estadísticamente significativas al 5% con respecto a la altura dominante, altura promedio, IMA y sobrevivencia.

Cuadro 2. PROMEDIOS DE DIÁMETRO A LA ALTURA DE PECHO, ALTURA PROMEDIO, ALTURA DOMINANTE, ALTURA DOMINANTE, SOBREVIVENCIA E IMA EN PLANTACIONES DE *EUCALYPTUS* EN DIFERENTES POSICIONES FISIOGRAFICAS DE LAS FINCAS DE LA DIVISION FORESTAL DE SMURFIT CARTÓN DE VENEZUELA.

Finca	DAP (cm)		Altura Promedio (m)		Altura Dominante (m)		IMA (m ³ /ha/año)		Sobrevivencia (%)	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
Cujicito	18.23	(1.49)a	21.81	(3.67)a	26.80	(4.60)a	23.79	(6.80)a	73.81	(15.35)a
La Yaguara	17.16	(1.01)a	21.90	(3.11)a	27.71	(4.90)a	23.34	(8.34)a	70.70	(13.57)a
Garachico	17.37	(3.14)a	19.57	(2.82)b	23.14	(4.49)b	14.35	(6.06)b	39.42	(11.05)b

* Letras distintas indican diferencias estadísticas entre fincas localizadas en diferentes posiciones fisiográficas y espesores a un nivel de significación del 0.05 mediante la prueba de T.

Los niveles de sobrevivencia superan el 70% en suelos localizados en las unidades fisiográficas representadas por Cujicito y La Yaguara, estando esta un 30 por ciento por encima de la sobrevivencia en los suelos de Garachico, que es aproximadamente 39.42%. El comportamiento del DAP es similar en las tres fincas mostrando un promedio de 17,6 cm. La altura promedio en La Yaguara y Cujicito son similares, es de alrededor de 21,87 m, mientras que presenta una diferencia significativa con respecto a Garachico que tiene un valor de 19,57 m.

Al analizar las cantidades del IMA en cada unidad fisiográfica, podemos notar que no existen diferencias significativas entre Cujicito y La Yaguara, con un promedio cercano a 23,6 m³/ha/año, mientras que existe diferencia con Garachico cuyo valor es 14.35 m³/ha/año. Cujicito y La Yaguara poseen crecimientos medios anuales 1,64 veces mayores que Garachico.

El análisis del componente principal (ACP) le fue realizado a cada finca, ya que estas presentan condiciones fisiográficas diferentes, que pueden afectar las variables físicas y químicas del suelo. Esta separación contribuye a reducir el error y en consecuencia se puede tener mejor control de la variabilidad en el crecimiento del *Eucalyptus*, en los suelos estudiados. Por otra parte, se considero importante considerar la profundidad del suelo, como parámetro que puede explicar sus características (Peña, 1996). En este caso se consideró la profundidad a tres niveles de 0 – 30, de 30 – 60 y de 60 – 100 cm.

Se seleccionaron los componentes principales para cada una de las fincas, en base al criterio propuesto por Pla, (1986) de incluir solo aquellos componente con valores propios que sean superiores al promedio, es decir los que muestran un valor propio mayor o igual a uno, pero además coincide que los primeros tres componentes en cada una de las fincas muestran un porcentaje de varianza explicada mayor o igual al 75%.

En el Cuadro 3, se pueden observar los componentes seleccionados en las tres profundidades, de cada una de las fincas evaluadas. En Cujicito los componentes considerados presentan una varianza acumulada en la profundidad de 0 – 30 cm del 86.62%, en la de 30 - 60 cm del 79% y en la de 60 – 100 cm un 75.65%, es decir, estos componentes explican para cada una de las profundidades mas del 75% de la variabilidad total existente en el suelo. Ese comportamiento es similar en todas las profundidades de las fincas estudiadas, a excepción de Garachico que en la profundidad de 60-100 cm., sólo explica el 71.59%.

Es importante señalar que aún cuando el valor propio es mayor a 1, la varianza explicada para el tercero y cuarto componente es menor del 20%, por lo que se decidió no utilizarlos. Esta decisión ayudará a interpretar de manera más sencilla los dos primeros componentes que explican más del 40% de la variabilidad de los suelos en las tres fincas.

Cuadro 3. VALOR PROPIO, VARIANZA EXPLICADA Y VARIANZA ACUMULADA DE CADA COMPONENTE EN LAS TRES PROFUNDIDADES DE LAS FINCAS DE LA DIVISIÓN FORESTAL DE SMURFIT CARTÓN DE VENEZUELA.

FINCA CUJICITO.				FINCA LA YAGUARA				FINCA GARACHICO			
Componente	Valor Propio	Varianz Explic.	Varianz Acumul	Profundidad 0 – 30 cm							
				Valor Propio	Varianz Explic.	Varianz Acumul.	Valor Propio	Varianz Explic.	Varianz Acumul.		
1	3,51	35,11	35,11	2,86	28,60	28,60	2,89	28,91	26,28		
2	2,72	27,23	62,36	1,84	18,35	46,95	2,42	21,94	48,22		
3	1,31	13,14	75,51	1,69	16,89	63,84	1,56	14,19	62,42		
4	1,11	11,10	86,62	1,09	10,88	74,72	1,38	12,51	74,93		
Profundidad 30 - 60 cm											
1	3,51	35,14	35,14	2,76	25,57	27,57	3,45	31,34	31,34		
2	2,75	27,45	62,62	2,25	22,51	50,08	2,09	19,02	50,36		
3	1,64	16,41	79,03	1,37	13,68	63,76	1,66	15,10	65,47		
				1,33	13,25	77,01	1,40	12,77	78,23		
Profundidad 60 – 100 cm											
1	3,61	36,07	36,07	3,29	32,88	32,88	2,62	23,81	23,81		
2	2,62	26,19	62,26	2,04	20,44	53,32	2,14	19,48	43,29		
3	1,34	13,39	75,65	1,79	17,86	71,18	1,71	15,51	58,81		
				1,04	10,41	81,59	1,41	12,74	71,59		

En el Cuadro 4 se presentan las correlaciones o pesos de las variables evaluadas con cada componente. Es importante resaltar que el primer componente siempre es el que tiene la mayor varianza explicada (Cuadro 3), en consecuencia su identificación y análisis es de gran ayuda a la hora de interpretar los resultados.

En La Yaguara no se consideró el aluminio intercambiable debido a que los suelos de esta finca en investigaciones anteriores han reportado un pH superior a 5, es decir, que se encuentran en el rango de moderadamente ácido a básico.

En este cuadro el primer componente presenta los mayores pesos con las variables Ca, K y Mg en las tres profundidades de Cujicito, es decir, Ca (39.54%), K (48.49%) y Mg (49.37%), en la primera profundidad y valores similares en el resto de las profundidades; mientras que en La Yaguara la arena (55.61%), el limo (42.38%) y la arcilla (38.75%) muestran el mayor peso en la primera profundidad, aunque su comportamiento es parecido en el resto de las profundidades.

Es importante resaltar que la arena muestra correlaciones negativas, aunque en el limo y la arcilla son positivas, esto indica una relación inversa, que es lógica en el comportamiento de estas variables. Este primer componente para el caso de Garachico no es sencillo de explicar en las tres profundidades, ya que no presenta un patrón de comportamiento definido que nos ayude a identificarlo e interpretarlo, sin embargo, este primer componente muestra un patrón que se relaciona con variables como aluminio intercambiable, K y pH, ya que se observan pesos significativos en las tres profundidades. La arcilla por su parte en las dos últimas profundidades, es significativa mientras que el Ca manifestó ser importante en la primera profundidad; así mismo lo hacen el Mg y la MO en la segunda profundidad.

Evidenciamos que este componente está constituido básicamente por atributos químicos, similar a Cujicito, pero las variables químicas son diferentes a las presentes en esa finca, mientras que en La Yaguara este componente está constituido por variables físicas.

Del análisis anterior se puede concluir que la mayor variabilidad de los suelos de Cujicito y Garachico es posible explicarlos por los factores químicos (nutrientes), mientras que en La Yaguara sus suelos dependen fuertemente de la textura (variables físicas).

Cuadro 4. VECTORES DE COMBINACIÓN DE VARIABLES PARA CADA COMPONENTE, SEGÚN ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES, PARA LAS TRES PROFUNDIDADES EN LAS FINCAS DE LA DIVISIÓN FORESTAL DE SMURFIT CARTÓN DE VENEZUELA.

FICA CUJICITO			FINCA LA YAGUARA			FINCA GARACHICO			
Profundidad 0 – 30 cm									
Variable	Comp1	Comp2	Comp3	Comp1	Comp2	Comp3	Comp1	Comp2	Comp3
Alint	-0,2371	0,3841	-0,3041	-	-	-	-0,3411	0,2745	0,1740
Arcilla	-0,1055	0,5163	-0,1831	0,3875	0,2465	-0,3581	-0,1268	0,3230	-0,6028
Arena	0,1734	-0,5177	-0,2664	-0,5561	-0,1167	0,0527	0,1283	-0,4846	0,2299
CA	0,3954	0,2199	0,1739	0,2682	-0,0185	0,4999	0,4827	-0,0535	0,2121
K	0,4849	0,1426	0,0084	-0,2774	0,4395	0,4202	0,4828	0,1456	-0,0123
Limo	-0,1657	0,2550	0,6574	0,4238	0,0021	0,3124	-0,0320	0,3043	0,3565
MG	0,4937	0,1130	-0,0592	0,3407	0,4240	-0,1412	0,2177	0,3641	0,0384
MO	0,100	0,3138	0,2255	-0,1739	0,3878	-0,2168	0,1984	0,3520	0,3892
P	0,0832	0,0506	0,4443	0,1760	0,0341	0,2800	0,2492	0,2220	-0,3580
pH	0,2540	-0,2646	0,2975	-0,0944	0,2860	0,4290	0,4192	-0,2732	-0,3580
Motes	-	-	-	0,1601	-0,5645	0,1238	-	-	-
Profundidad 30 - 60 cm									
Alint	-0,3857	0,954	-0,2881	-	-	-	0,4637	0,1456	0,1633
Arcilla	0,0809	0,780	0,1662	0,4001	0,1473	-0,4504	0,3151	0,4656	-0,3168
Arena	0,0916	-0,290	-0,2471	-0,4260	-0,3977	0,0738	-0,0485	-0,6357	-0,1754
CA	0,4352	-0,100	-0,3347	0,2517	-0,0033	0,5560	-0,2598	0,2304	-0,5390
K	0,4201	0,524	-0,0971	0,2595	-0,2980	-0,3915	0,4992	0,0675	-0,2678
Limo	-0,3342	-0,918	0,1211	0,1258	0,4052	0,4621	-0,2155	0,4053	0,5051
MG	0,4046	-0,0129	-0,4130	0,5086	0,0230	0,0885	-0,1885	0,1009	0,0513
MO	0,2489	0,3299	0,1361	0,0251	0,5231	-0,1927	-0,1306	0,0241	0,3301
P	-0,2363	0,3599	-0,4373	0,2415	-0,4350	0,2547	-0,2096	0,1715	-0,0785
pH	0,2775	0,0002	0,5583	0,4141	-0,2012	0,0521	-0,4693	0,1862	-0,3240
Motes	-	-	-	0,1500	-0,2510	-0,0544	0,056	0,2467	0,0421
Profundidad 60 - 100 cm									
Alint	-0,3857	0,954	-0,2881	-	-	-	0,4637	0,1456	0,1633
Arcilla	0,0809	0,780	0,1662	0,4001	0,1473	-0,4504	0,3151	0,4656	-0,3168
Arena	0,0916	-0,290	-0,2471	-0,4260	-0,3977	0,0738	-0,0485	-0,6357	-0,1754
CA	0,4352	-0,100	-0,3347	0,2517	-0,0033	0,5560	-0,2598	0,2304	-0,5390
K	0,4201	0,524	-0,0971	0,2595	-0,2980	-0,3915	0,4992	0,0675	-0,2678
Limo	-0,3342	-0,918	0,1211	0,1258	0,4052	0,4621	-0,2155	0,4053	0,5051
MG	0,4046	-0,0129	-0,4130	0,5086	0,0230	0,0885	-0,1885	0,1009	0,0513
MO	0,2489	0,3299	0,1361	0,0251	0,5231	-0,1927	-0,1306	0,0241	0,3301
P	-0,2363	0,3599	-0,4373	0,2415	-0,4350	0,2547	-0,2096	0,1715	-0,0785
pH	0,2775	0,0002	0,5583	0,4141	-0,2012	0,0521	-0,4693	0,1862	-0,3240
Motes	-	-	-	0,1500	-0,2510	-0,0544	0,056	0,2467	0,0421
				-	-	-	0,4637	0,1456	0,1633

Con relación al segundo componente en Cujicito, las mayores correlaciones con valores positivos las muestran el aluminio intercambiable, y la arcilla; mientras que la arena presenta valores negativos en la primera profundidad.

Para la finca la Yaguara este segundo componente se relaciona entonces con las variables químicas (K, Mg, MO, P) y el moteo, este último en las dos primeras profundidades, lo que puede indicar que el suelo presenta problemas de mal drenaje hasta los 60 cm de profundidad.

El segundo componente en Garachico, tiene pesos significativos en las variables arcilla, arena y limo en las tres profundidades. La arcilla a pesar de no ser importante en la segunda, lo es en la primera y tercera profundidad. De igual manera ocurre para Mg y MO en la primera profundidad y el P y el pH en la segunda. Este suelo está dominado básicamente por la textura, ya que los atributos físicos son los más significativos.

Una vez seleccionados los componentes, la matriz de datos originales, se redujo de diez variables independientes a tres o cuatro variables (componentes 1, 2, 3 y 4) y con ellos se ajustaron ecuaciones de regresión lineal simple y múltiples con el fin de estimar la altura dominante en cada una de las fincas consideradas, sólo para la profundidad de 0 – 30 cm. Los resultados que se señalan en el Cuadro 5 corresponden a ecuaciones que mostraron ajustes estadísticamente significativos para un nivel de confianza del 95%.

En Cujicito la variabilidad de la altura dominante se puede explicar en un 69.66%, siendo igual la contribución de ambos componentes (químicos y físicos). La altura dominante promedio a partir de esta ecuación es de 29,22 m/año.

De manera similar en la finca la Yaguara la altura dominante resultó ser explicada en un 45.3% por el componente 1 (componente físico), el cual reflejaba una combinación lineal de las variables físicas arcilla, arena y limo. Esta ecuación muestra una altura dominante del *Eucalyptus* de 26,05 m/año. En Garachico la variabilidad de la altura dominante resultó ser explicada en un 31,43% por los componente 3 y 4, donde cada uno explica el 25% y 18% respectivamente. La altura dominante promedio para el *Eucalyptus* en esta finca es de 23,36 m/año.

Cuadro 5. MODELOS DE REGRESIÓN AJUSTADOS; PARA ALTURA DOMINANTE PARA CADA UNA DE LAS FINCAS DE LA DIVISIÓN FORESTAL DE SMURFIT CARTÓN DE VENEZUELA.

Finca Cujicito									
Parámetro	Coef. Estimado	Error Estándar	Estadístico t	Prob.	Estadístico F	Prob	R ² ajustado	R ² parcial	
Const.	29.22	0.47	61.82	0.000	24.99	0.000	69.56%		
Comp 1	-1.204	0.26	-4.67	0.000				49%	
Comp 2	-1.556	0.29	-5.31	0.000				49%	
Finca La Yaguara									
Const.	26.05	0.89	29.12	0.000	14.91	0.001	45.3%		
Comp 1	2.09	0.54	3.86	0.000					
Finca Garachico									
Const.	23.36	0.76	31.036	0.000	6.27	0.007	31.43%		
Comp 3	1.79	0.62	2.915	0.010				25%	
Comp 4	-1.32	0.66	-2.01	0.060				18%	

CONCLUSIONES

Los suelos localizados en la Finca Cujicito, no presentan signos de hidromorfismo en los primeros 100 cm de prof. Son bien drenados con contenidos de arcilla menores al 28%. Presentan valores bajos de Ca, Mg y K. Los suelos localizados en La Yaguara, presentan signos de hidromorfismos en alguna parte del perfil, moteos entre difuso y claro. Presentan contenidos de Ca y Mg altos y medios de K.

Los suelos localizados en la Finca Garachico, presentan severas limitaciones por drenaje están sometidos a inundaciones periódicas. Presentan bajos contenidos de Ca, Mg, K.

En Cujicito la variabilidad de la altura dominante se puede explicar en un 69.66%, siendo igual la contribución de ambos componentes químicos y físicos. La altura dominante promedio a partir de esta ecuación es de 29,22 m/año.

En la finca la Yaguara la altura dominante resultó ser explicada en un 45.3% por el componente físico. Esta ecuación muestra una altura dominante del *Eucaliptus* de 26,05 m/año. En Garachico la variabilidad de la altura dominante resultó ser explicada en un 31,43% por los componentes 3 y 4, donde cada uno explica el 25% y 18% respectivamente. La altura dominante promedio para el *Eucaliptus* en esta finca es de 23,36 m/año.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Baridon, J., Lanfranco, J, Marlats, R. y Vázquez, M. 1999. **Evaluación de la Calidad de Sitio Forestal para *Eucalyptus camaldulensis* Mediante Índices Edáficos en Argiudoles y Argiacuoles**, Argentina. Agricultura Técnica (Chile) 61(2):192-201.
2. Chavarria-Espinoza, M. 1996. **Clasificación Preliminar de Calidades de Sitio y Factores Asociados con el Crecimiento del *Eucalyptus deglupta* Blume para la Región Huetar Norte, Costa Rica**. Tesis. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Escuela de Ciencias Ambientales, Heredia (Costa Rica). 88p.
3. Chatfield, C. and Collins, A. J.1980. **Introduction to Multivariate analysis**. Chapman and Hall. New York. 246 p.
4. Clutter, J. 1983. **Timber management a Quantitative Approach**. Wiley and Sons, New York, 333p.
5. De las Salas, G. 1987. **Suelos y Ecosistemas Forestales**. San José. IICA, Costa Rica.447 p.
6. **FAO.1979. Eucalyptus for Planting**. Forestry Service N° 11.Rome, 677 p.
7. Fernández, R., Pahr, N. y Lupi, A. 1996. **Potencial de Productividad de los Suelos del Nordeste de Corrientes para el *Eucalyptus grandis***. Hoja Informativa N° 15. INTA EEA. Montecarlo. Argentina. 3p.
8. Garay, V. 1987. **Estudio de la Variación de Plantaciones de *Eucalyptus spp*, con Fines de Manejo en la Finca Santo Tomas, Sarare Estado Lara**. Tesis presentada como requisito para optar al grado de Magíster Scientiae (MSc). Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela. 75 p.
9. Gilabert, J., López, R. y Pérez, R.1990. **Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia**. Análisis de suelos para el diagnóstico de fertilidad. Maracay, Ve FONAIAP CENIAP. Serie D. No 26. 164 p.

10. Guerra, Y.2001. **El Diagnóstico y Lineamientos de Estrategias como Momentos Claves para un Plan de Ordenación del Territorio:** Caso del Municipio Ospino, Estado Portuguesa. Trabajo especial de grado, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía. 102 p.
11. Garay, V. 1987. **Estudio de la Variación de Plantaciones de Eucalyptus spp, con Fines de Manejo en la Finca Santo Tomas, Sarare Estado Lara.** Tesis presentada como requisito para optar al grado de Magíster Scientiae (MSc). Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela. 75.
12. Jurado-Blanco, J. y Kane, M. 1992. **Comportamiento de Procedencias de *E. urophylla* y *E. camaldulensis* a dos Años de Edad en el Centro Occidente de Venezuela.** (Informe de Investigación # 6).
13. Peña, J. 1996. **Evaluación de una Plantación de Apamate “Método Caparo” Mediante Técnicas Multivariadas.** Universidad de los Andes, Centro de Estudios de Postgrado. Mérida, Venezuela. 110p.
14. Pla, L. 1986. **Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales.** Instituto Interamericano de Estadística. Sec. General de la OEA Washington, D.C.89 p.
15. Rosales, L., Jurado-Blanco, J. y Kane, M. 1996. **Crecimiento del Híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, Fuentes de Semillas y Familias Mejoradas de *E. grandis* en Venezuela.** Resultando Cerca de la Cosecha. (Informe de Investigación # 16).
16. Rosales, L., Rojas, J. y Stock J. 1997. **Resultados de Crecimiento a Mitad de Rotación (3años) de un Ensayo de Plantaciones de Estacas Enraizadas y Plántulas de Semillas de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* y el Híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*.** En la finca el Hierro, Ospino Estado Portuguesa, Venezuela. (Informe de Investigación # 8).
17. Saavedra, S. y Peña, N. 1990. **Evaluación de Ensayos y Selección de Arboles Superiores de *Eucalyptus grandis* y *E. grandis* x *e. urophylla* en la Finca el Hierro de Smurfit Cartón de Venezuela.** Acarigua Estado Portuguesa (Informe de Pasantía). ULA, Facultad de Ciencias

Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela. 80 p.

18. Sánchez-Sánchez, A. 1994. **Crecimiento de *Eucalyptus degluta* y *E. grandis* Bajo Tres Sistemas de Plantación a Nivel de Finca en la Zona de Turrialba, Costa Rica.** Tesis MSc. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. CATIE. 95p.
19. Sarmiento, A. 1995. **Informe de Inspección y Muestreo de Suelos de la Finca Cujicito.** Smurfit Cartón de Venezuela, División Forestal, Planificación y Desarrollo Forestal. Acarigua, Venezuela.
20. Soil Survey Staff. 2003. **Keys to soil taxonomy. Washington, D.C:** United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, 11ed. 332 p.
21. Sorrentino, A. 1995. **Índices de Sitios Preliminares Para las Principales Especies Forestales Cultivadas en el Uruguay.** Univ. De la Rep. Facultad de Agronomía. Boletín de Inv. No 33. Montevideo. Uruguay. 30 p.
22. SAS Institute. 1985. SAS user guide: **Statistics.** SAS Institute, Inc., Cary, New Jersey, USA. 98p.