



## REVISTA UD Y LA GEOMÁTICA

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/UDGeo/index>

DOI:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.udgeo.2013.7.a04>

INVESTIGACIÓN

### Influencia de las propiedades físicas del suelo y la topografía en la producción del ficus soatensis (caucho sabanero) en el parque metropolitano el Tunal de la ciudad de Bogotá D. C.

Influence of physical soil properties and topography in the production of ficus soatensis (rubber savanna) at el Tunal metropolitan park in the city of Bogotá D. C.

*Linda Katherine García Polanco<sup>a</sup>, Diego Felipe Samudio Pulido<sup>b</sup>*

Citation / Para citar este artículo: García Polanco L.K., & Samudio Pulido D.F., (2013). Influencia de las propiedades físicas del suelo y la topografía en la producción del Ficus soatensis (Caucho sabanero) en el Parque Metropolitano el Tunal de la ciudad de Bogotá D.C. UD y la Geomática, (7), pp 31 – 40.

Fecha de recepción: 01 de septiembre de 2013 / Fecha de aceptación: 01 de diciembre 2013

#### RESUMEN

La presente investigación analiza la relación existente entre las propiedades físicas del suelo y los parámetros topográficos con el desarrollo y crecimiento de 24 individuos de Ficus soatensis (caucho sabanero) localizados en el Parque Metropolitano El Tunal de la ciudad de Bogotá D. C., teniendo en cuenta el diámetro a la altura del pecho y la altura total como variables forestales. Después de un análisis estadístico descriptivo y de distribución espacial de las propiedades físicas del suelo y las variables topográficas, se aplicó un diseño experimental donde se consideraron como fuentes de variación diferentes rangos de valores en el contenido de humedad, densidad aparente, densidad real, contenido de arena, infiltración básica, conductividad hidráulica, lámina de agua, pendiente, gradiente, curvatura y el aspecto (orientación). De esta forma se analizó la existencia de diferencias significativas tanto en la altura como en el diámetro en función de los tratamientos considerados. La investigación se enmarca dentro de una fase exploratoria que integra el estudio de campos como la física de suelos, la silvicultura urbana y rural, y donde se establece una metodología en estudios como los de índice de sitio.

**Palabras clave:** propiedades físicas del suelo, parámetros topográficos, análisis de varianza, matriz de correlación, diámetro a la altura del pecho, altura total.

#### ABSTRACT

This investigation analyzes the existing relation between the physical soil properties, topographical parameters with the growth and development of 24 individuals of Ficus soatensis (Savannah rubber) located at El Tunal Metropolitan Park in the city of Bogotá D.C. where diameter and total height was taken as forestall variables.

After an analysis of descriptive statistic and spatial distribution of physical soil properties, and topographical parameters, an experimental design was applied, taking into account different range values of moisture content, bulk density, real density, sand content, basic infiltration, hydraulic conductivity, water blade, slope, gradient, curvature and aspect (orientation), in this way there was analyzed the existence of significant differences with the diameter and the total height in function of the considered treatments. This investigation is marked within an explorative phase that integrates studies related with soils physic, urban and country forestry, establishing a methodology to be considered in site index studies.

**Keywords:** Physical soil properties, topographical parameters, analyze of variance, correlation matrix, chest height diameter, total height.

<sup>a</sup>Ingeniera topográfica - especialista en Sistemas de Información Geográfica (lindakatherine09@gmail.com).

<sup>b</sup>Ingeniero topográfico - especialista en Sistemas de Información Geográfica (diegofsamudio@gmail.com).

## 1. Introducción

La condición física de un suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes de las plantas (García et al., 2004). Además, las condiciones en las cuales se encuentran el suelo y la topografía determinan el desarrollo y las expectativas de vida en dicho sistema. Por lo tanto, es de gran importancia conocer las propiedades físicas del suelo y las variables topográficas, ya que éstas describen en qué circunstancias se están desarrollando las plantas y los organismos.

En el caso del Parque Metropolitano El Tunal, por tratarse de un espacio público, el desarrollo de las especies forestales obedece a fines estéticos, en función de aspectos como el tamaño, color y vigorosidad, los cuales podrían relacionarse con las condiciones del suelo y la topografía. Estudios precedentes (Hernández et al., 2008; Garzón et al., 2009) han relacionado las propiedades físicas del suelo con variables medidas en zonas bajo cobertura forestal de forma descriptiva, obviando aspectos como la variabilidad espacial y la respuesta de éstas ante valores agrupados de los componentes físicos del suelo, lo cual permite corroborar o rechazar posibles supuestos. Por tal motivo, esta investigación pretende establecer cuál es la influencia de las propiedades físicas del suelo y la topografía en el desarrollo y la producción (desarrollo y crecimiento) del *Ficus soatensis* (caucho sabanero) en el Parque Metropolitano El Tunal de la ciudad de Bogotá D. C., el cual ha sido plantado con fines estéticos y paisajísticos.

## 2. Metodología

El Parque Metropolitano El Tunal se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá D. C., en la localidad de Tunjuelito. El área de estudio está localizada en el sector suroccidental del Parque (figura 1). El levantamiento topográfico se realizó con base en las coordenadas de inicio que proveyó el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), las cuales hacen referencia al punto geodésico Bogotá 17 y la Cruz de Monserrate.

Las unidades experimentales del estudio (24 individuos de *Ficus soatensis*) se delimitaron en parcelas individuales orientadas al norte, cuyas dimensiones fueron de 10 m × 10 m. A partir de la información topográfica obtenida se determinaron las siguientes variables: curvatura, pendiente, gradiente y orientación (aspecto), y se efectuaron los modelos digitales de terreno (MDT) de cada una de las unidades experimentales, así como el MDT general de la zona de estudio. En el caso de las variables forestales sólo se tuvo en cuenta el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura

total de cada árbol.



**Figura 1.** Localización del Área de Estudio en el Parque Metropolitano El Tunal de la Ciudad de Bogotá D.C.

**Fuente:** Google Earth.

Los puntos de sondeo se localizaron a 90°N y 270°N tanto para conductividad hidráulica, propiedades físicas e infiltración a una distancia de 1 m dentro del área de influencia definida por la gotera de cada unidad experimental; no obstante, la distancia varió debido a las condiciones topográficas del terreno, desfavorables para desarrollar adecuadamente el ensayo de infiltración. Las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio y se obtuvieron las siguientes propiedades físicas: humedad, densidad real y aparente y textura. De acuerdo con los resultados de densidad aparente y humedad se calculó la lámina de agua para el primer y segundo cuarto del patrón de extracción de humedad, donde la profundidad efectiva empleada fue de 25 cm para cada cuarto, teniendo en cuenta las propiedades físicas del suelo de los estratos contenidos en dicha profundidad. De esta forma, se consideró el 70% de extracción de humedad del sistema radicular con una profundidad efectiva teórica de 1 m.

Finalmente, la zona de estudio se fraccionó en tres sectores de acuerdo con las similitudes en las variables forestales y la topografía. Estos son: cancha de fútbol No. 1, que comprende las unidades experimentales 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11 y 12; cancha de fútbol No. 2, con las unidades 13 a 24; y, por último, el sector de la avenida Boyacá, con las unidades 1, 3, 5 y 7.

Con el fin de determinar la influencia de las propiedades físicas del suelo y la topografía en la altura y DAP, se realizó un análisis estadístico que comprendió diferentes enfoques: descriptivo, analítico y multivariado, en el que se emplearon las medidas de tendencia central y dispersión, la distribución espacial, análisis de varianza y la matriz de correlación.

### 3. Resultados

#### 3.1. Descripción de la altura y el DAP de las unidades experimentales

La altura de las unidades experimentales presenta un promedio de 4,25 m, cuyos valores máximo y mínimo se encuentran entre 2,425 m y 5,733 m, lo cual indica una heterogeneidad moderada, confirmada por el coeficiente de variación de 20,87% (Vásquez, 2009). Por otra parte, las alturas presentan una tendencia determinada de acuerdo con su localización en el área de estudio: las mayores predominan en el sector aledaño a la cancha de fútbol No. 2 y las menores, en el sector que delimita la cancha de fútbol No. 1. En el caso del DAP, el promedio fue de 0,121 m, el cual se encuentra dentro del porcentaje de mayor dominancia del total de las unidades experimentales (37,5%), además no se evidenció una tendencia de agrupamiento de acuerdo con su localización en el área de estudio.

Es posible que la heterogeneidad moderada tanto del DAP como de la altura se relacione con las diferencias que presentan actualmente las unidades experimentales en el área de estudio, a pesar de pertenecer a la misma plantación, lo cual ratifica la importancia de determinar si dichas diferencias se relacionan ya sea con las propiedades físicas del suelo, la topografía o ambas.

#### 3.2. Descripción de las propiedades físicas del suelo

De acuerdo con los valores encontrados de humedad, se evidencia una tendencia de agrupamiento según la localización de las unidades experimentales en el primer estrato, siendo mayores las cercanas al sector de la cancha de fútbol No. 2 y las menores en el sector que delimita la cancha de fútbol No. 1 y la avenida Boyacá. En el segundo estrato, los mayores valores del contenido de humedad podrían obedecer a la localización de las unidades experimentales que se encuentran en el sector contiguo a la cancha de fútbol No. 2. Los promedios de humedad son de 26,39% y 18,52% tanto para el primer como para el segundo estrato respectivamente.

En el caso de la densidad aparente, la diferencia entre los promedios del primer y segundo estrato no es muy significativa, al ser de 1,73 gr/cc y 1,76 gr/cc respectivamente. Así mismo, sus coeficientes de variación indican que en ambos casos existe una variabilidad relativamente homogénea (Vásquez, 2009). La densidad aparente en el área de estudio no presentó una tendencia de agrupamiento en el primer estrato de acuerdo con la localización de las unidades experimentales, sin embargo, en el segundo estrato se puede apreciar que los valores más altos se encuentran en el sector de la cancha de fútbol No. 2.

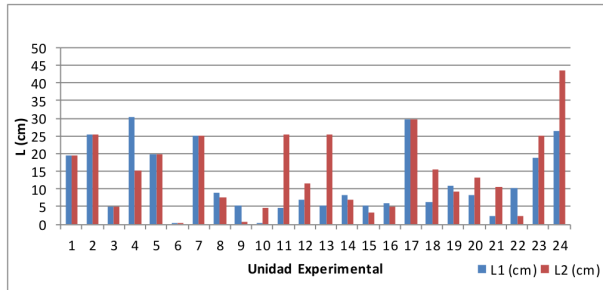
La clasificación de los componentes del suelo para los promedios (2,56 gr/cc y 2,63 gr/cc) de la densidad real en el primer y segundo estrato corresponde a minerales de arcilla, cuarzo y feldespato. Por tal motivo, se puede inferir que en el primer estrato hay mayor presencia de materiales orgánicos, mientras que el segundo posee una distribución más equitativa de los minerales. Los resultados obtenidos de la densidad real indican que es relativamente homogénea (Vásquez, 2009), ya que los coeficientes de variación se encuentran por debajo del 20% en ambos casos. Además no se evidencia una tendencia de agrupamiento de acuerdo con la localización de las unidades experimentales en el primer y segundo estrato.

En el primer y segundo estrato se presentó una dominancia de la clase textural francoarcilloarenosa con el 54,17% y 57,89% respectivamente, lo que indica condiciones similares en el tamaño de las partículas de dichos estratos. El contenido promedio de arcilla, arena y limo en los tres estratos no presenta diferencias significativas, ya que la media es muy similar en todos los casos; además, las variables que tienen mayor coeficiente de variación por estrato son: limo en el primer y tercer estrato, y arcilla en el segundo, clasificándola como moderadamente heterogénea siendo moderadamente heterogéneas (Vásquez, 2009).

La infiltración básica presenta una heterogeneidad extrema (Vásquez, 2009) en el área de estudio, debido a la diversidad de clasificaciones de la velocidad de infiltración y el alto valor en el coeficiente de variación (108,84%). Además, esta alta variabilidad probablemente está relacionada con la compactación del terreno donde se efectuaron los ensayos, ya que en algunas zonas el suelo presentaba mayor compactación, lo que dificulta el paso del agua al interior del suelo, mientras que en otras zonas ocurrió el caso contrario. Asimismo, no existe una tendencia definida en los sectores de las canchas de fútbol ni en las unidades cercanas a la avenida Boyacá.

De acuerdo con su promedio (0,509 cm/h) la conductividad hidráulica es moderadamente lenta (Cruz y López, 1995). Además, los valores correspondientes de esta propiedad no representan una tendencia en los sectores previamente mencionados. La conductividad hidráulica se encuentra con resultados normalmente heterogéneos (Vásquez, 2009) que obedecen a un coeficiente de variación del 45,08%, lo cual podría encontrarse determinado por la alteración antrópica del suelo y las condiciones irregulares en la compactación del terreno.

De acuerdo con la figura 2, las láminas de agua en el primer y segundo cuarto son iguales cuando la unidad experimental posee un estrato o cuando la profundidad del primer estrato cubra los 50 cm que comprenden el primer y segundo cuarto de extracción de humedad, en caso contrario las láminas serán independientes.



**Figura 2.** Lámina en el Primer y Segundo Cuarto de Extracción de Humedad.

La extrema variabilidad de la lámina tanto en el primer como en el segundo cuarto se encuentra influenciada por los cambios de estrato, ya que no en todos los casos el primer estrato comprendía los 25 cm que corresponden al primer cuarto de extracción de humedad, por lo que fue necesario considerar las propiedades físicas del segundo estrato hasta completar la profundidad requerida.

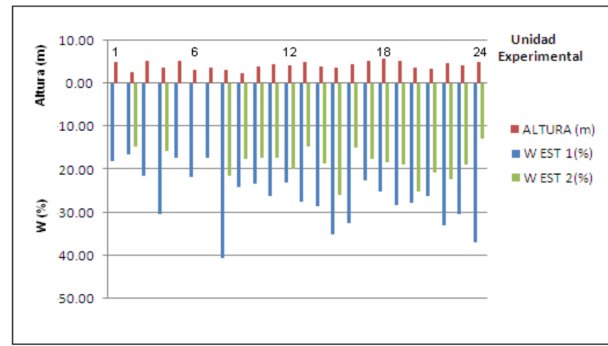
La pendiente, el gradiente y la curvatura en el estudio se encuentran claramente sectorizados, siendo menores los que se encuentran localizados tanto en la cancha de fútbol No. 1 como en el sector paralelo a la avenida Boyacá y los mayores en la cancha de fútbol No. 2. Igualmente, se presenta una sectorización en la orientación (aspecto), donde los valores más altos se encuentran comprendidos en los sectores de la cancha de fútbol No. 1 y el paralelo a la avenida Boyacá y los menores, en el sector aledaño a la cancha de fútbol No. 2. La orientación en el estudio comprendió al 50% de los datos en 125,5° con un promedio de 112°. El gradiente presentó la mayor frecuencia en el intervalo de 0,008 a 0,038, el cual se encuentra por debajo del promedio (0,065) y corresponde al 41,67% del total de los datos. En lo que respecta a la curvatura, en promedio fue de 0,020 y se encuentra catalogada como normalmente heterogénea (Vásquez, 2009) según su coeficiente de variación.

### 3.3. Análisis de la influencia de las propiedades físicas del suelo y la topografía en la producción de las unidades experimentales

De acuerdo con los resultados obtenidos de las propiedades físicas del suelo y de la topografía, la influencia de éstas sobre la producción del *Ficus soatensis* presentó las siguientes relaciones:

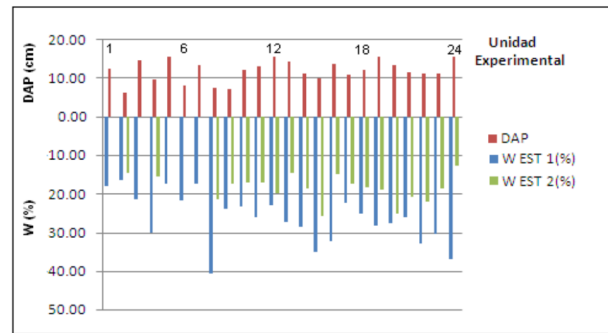
#### 3.3.1. Humedad

Las unidades experimentales que tienen mayor altura (1, 3, 5, 13, 17, 18, 19 y 24) no corresponden con los contenidos de humedad más altos. En el caso del DAP, las unidades 3, 5, 12, 13, 16, 19, 20 y 24 comprenden los valores más significativos, sin embargo, los contenidos de humedad no coinciden con los más representativos del estudio (figura 3).



**Figura 3.** Relación del Contenido de Humedad del Primer y Segundo Estrato con la Altura de las Unidades Experimentales.

Además, los contenidos de humedad más altos corresponden con unidades experimentales de alturas medias. Igualmente, con el DAP los contenidos de humedad coinciden en su mayoría con los valores de diámetro más bajos (figura 4).



**Figura 4.** Relación del Contenido de Humedad del Primer y Segundo Estrato con el DAP de las Unidades Experimentales.

El diámetro y la altura no presentaron una dependencia detectable en función del contenido de humedad, a pesar de que el contenido de humedad en el primer estrato se comporta de forma similar a la variación de la altura por unidad experimental. Tampoco se encontraron diferencias significativas aplicando la humedad como tratamiento en el análisis de varianza para el primer y segundo estrato, lo cual no quiere decir que esta propiedad no influya en la producción de los árboles en la zona de estudio, sino que se deben tener en cuenta fuentes de variación que garanticen la homogeneidad de las unidades experimentales mas allá de lo que el ojo humano detecte.

#### 3.3.2. Densidad aparente

Los diámetros más altos de las unidades presentan en el primer estrato densidades que se encuentran en valores medios con respecto a la totalidad del estudio. No obstante, en el segundo estrato la densidad aparente presenta una relación inversa con los diámetros más altos del área de estudio (figura 5).

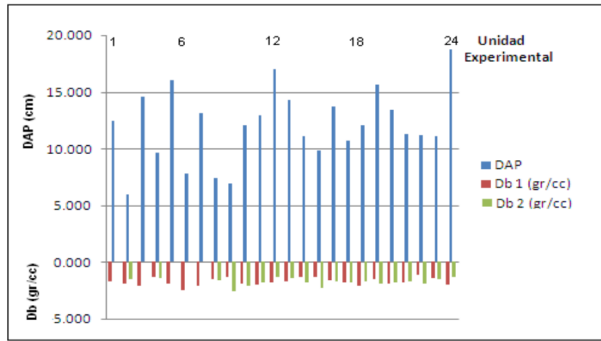


Figura 5. Relación de la Densidad Aparente del Primer y Segundo Estrato con el DAP de las Unidades Experimentales.

En el segundo estrato, los valores más altos de densidad aparente corresponden a las unidades experimentales aledañas al sector de la cancha de fútbol No. 2. Esta situación evidenciaría un desarrollo de los árboles más restringido que el de los que presentan valores de densidad menores, no obstante, en el área de estudio se presenta el caso contrario.

Con respecto a la altura, la densidad aparente no presenta una relación definida con el primer y segundo estrato, ya que los valores más bajos de densidad no siempre coinciden con las alturas más altas (figura 6).

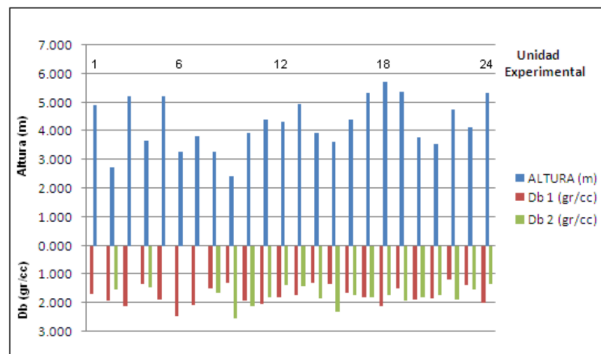


Figura 6. Relación de la Densidad Aparente del Primer y Segundo Estrato con la Altura de las Unidades Experimentales.

En el análisis de varianza para el primer estrato con la densidad aparente empleada como tratamiento para el diámetro y la altura se llegó a la conclusión de que ésta no presenta diferencias significativas. Esta misma característica se presentó en la altura para el segundo estrato, sin embargo, la disposición de los datos del diámetro llevó a realizar una transformación exigida por el resultado de la prueba de Bartlett. Pese a esto, el análisis de varianza con los datos transformados no indicó diferencias.

Según lo descrito en el análisis de varianza, la densidad aparente en el primer y segundo estrato no presenta una relación perceptible con el diámetro y la altura, por lo tanto en el área de estudio no se puede establecer cuál es el grado de influencia de esta propiedad.

### 3.3.3. Densidad real

La densidad real muestra ciertas relaciones de dependencia con las variables forestales en algunos sectores, sin embargo, esta tendencia no es suficiente para afirmar en qué grado la altura y el diámetro interactúan con esta propiedad física. Esta situación queda corroborada por los resultados del análisis de varianza en primer y segundo estrato utilizando la densidad real como fuente de variación.

### 3.3.4. Contenido de arena

Según los valores de la textura en el primer y segundo estrato, no se evidencia una relación destacable con la altura y el diámetro de los árboles. Además, el análisis de varianza descarta que el contenido de arena represente variaciones significativas en la altura y el diámetro.

### 3.3.5. Infiltración básica

Las unidades experimentales de mayor altura (1, 3, 5, 13, 17, 18, 19 y 24) se encuentran inversamente relacionadas con la infiltración, ya que éstas presentan valores bajos de infiltración básica en la mayoría de los casos (figura 7). Sin embargo, cuando se analizan las alturas menores (2, 4, 6, 8, 9, 15, 20 y 21), la infiltración básica se comporta de forma independiente. Además, el coeficiente de correlación entre la altura y la infiltración presenta un valor del -1%, el cual es muy poco significativo.

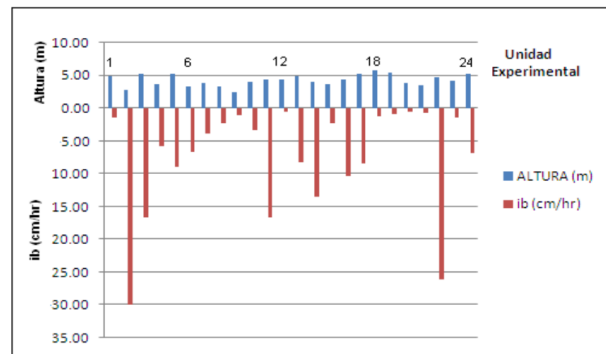


Figura 7. Relación de la Infiltración Básica con la Altura de las Unidades Experimentales.

En el caso del DAP, las unidades 3, 5, 12, 13, 16, 19, 20 y 24 (los cuales comprenden los valores más altos del área de estudio) se encuentran relacionados con valores de infiltración básicos bajos y medios (figura 8). Por otra parte, en la matriz de correlación existe una dependencia inversa de -5,9%, la cual es irrelevante para el crecimiento del DAP.

Además, en el análisis de varianza al emplear diferentes velocidades de infiltración como tratamientos no se encontraron diferencias significativas, razón por la cual es necesario analizar estos tratamientos suprimiendo otras fuentes

de variación como el origen de las unidades experimentales y sus componentes genéticos.

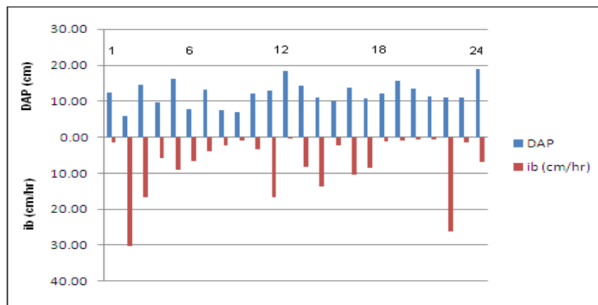


Figura 8. Relación de la Infiltración Básica con el DAP de las Unidades Experimentales.

### 3.3.6. Conductividad hidráulica

En los sectores definidos en el área de estudio (avenida Boyacá, cancha de fútbol No. 1 y No. 2), la conductividad hidráulica no fue causal de cambios en las alturas y diámetros de las unidades experimentales, razón por la cual el análisis de varianza mostró estadísticamente que no existen diferencias en las variables forestales. Además, se presentan ciertas relaciones entre la conductividad hidráulica con la altura y el diámetro, lo cual se encuentra confirmado por el coeficiente de correlación, que presenta valores de 8,8% y -8,8%, respectivamente. Sin embargo, esta situación no representa una alta significancia con en el desarrollo y crecimiento del Ficus soatensis.

### 3.3.7. Lámina de agua

Cuando se relaciona la altura de las unidades experimentales con la lámina en el primer y segundo cuarto, y efectuando un ajuste para determinar una superficie que coincida con los datos encontrados, se tiene que no se evidencia una tendencia definida en el aumento de la altura con respecto a los valores de las láminas, salvo en casos aislados (figura 9). Además, el análisis de varianza establece que no existen diferencias significativas de la altura con la lámina en el primer y segundo cuarto.

Según el ajuste realizado para crear la superficie, la relación de las láminas en el primer y segundo cuarto con el diámetro indica un incremento mayor en el tamaño de éste cuando L2 aumenta (figura 10), lo cual revela que la planta obtiene del 30% de extracción de humedad (segundo cuarto) un mayor aprovechamiento que del primer cuarto de la profundidad efectiva (40% de extracción de humedad del suelo). Además, de acuerdo con los resultados del análisis de varianza, no existen diferencias en ninguno de los cuartos, empleando las láminas como fuente de variación en el diámetro. Asimismo, la correlación entre las láminas en

el primer y segundo cuarto indica que para la altura existe una interacción del 14,9% y 36,3%, respectivamente, lo cual corrobora que la lámina en el segundo cuarto es más aprovechada por la altura, sin embargo, esta relación no es lo suficientemente significativa. En el caso del DAP, la relación con las láminas se encuentra valorada en -11,6% con la lámina en el primer cuarto y 32,1% en el segundo cuarto, de acuerdo con el coeficiente de correlación; igualmente, no es de gran relevancia el comportamiento de las láminas en el desarrollo del DAP.

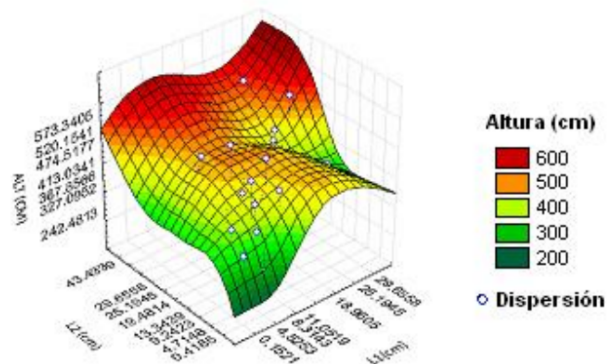


Figura 9. Relación de la Altura y la Lámina en el Primer y Segundo Cuarto.

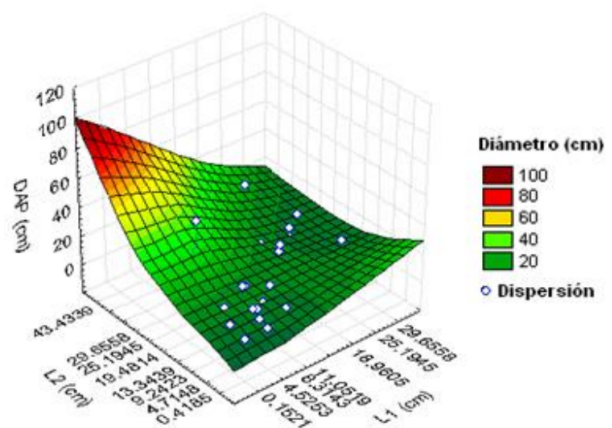


Figura 10. Relación del DAP con las Láminas en el Primer y Segundo Cuarto.

La alta variabilidad de las propiedades analizadas ratifica que la capacidad de retención de humedad es diferente en cada unidad experimental. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, ya que tanto la altura como el diámetro no mostraron diferencias significativas de la lámina en el primer y segundo cuarto, la cual incluye las propiedades físicas del suelo, sin embargo, estos resultados podrían estar sujetos a características de los árboles que no fueron tenidas en cuenta y que pueden hacer indetectable la influencia de las propiedades físicas del suelo.

### 3.3.8. Pendiente y gradiente

La pendiente y el gradiente presentan una tendencia en el incremento de la altura de las unidades experimentales, por consiguiente a medida que estas variables topográficas aumenten la altura también lo hará (figura 11).

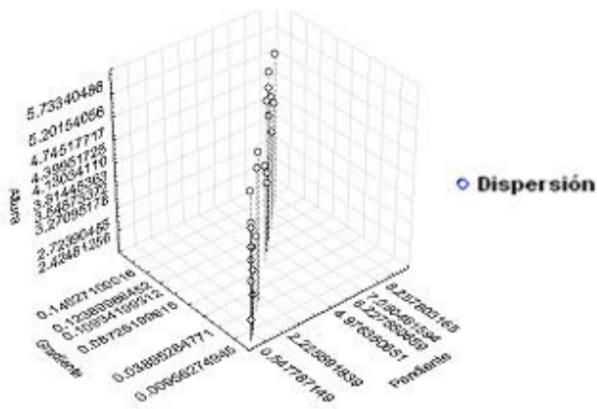


Figura 11. Relación de la Altura, la Pendiente y el Gradiente.

Igualmente, el análisis de varianza confirma que la altura se encuentra influida por el gradiente y la pendiente, ya que se presentaron diferencias poco significativas. De acuerdo con el coeficiente de correlación, la influencia de la pendiente y el gradiente en la altura es de 49,5% y 49,6%, lo cual indica que estas variables sí inciden en el comportamiento de la altura de los individuos de Ficus soatensis.

Con respecto al DAP el gradiente y la pendiente no ejercen una influencia significativa, ya que a pesar del incremento de éstas, el diámetro no presenta cambios considerables, sino sólo en casos aislados (figura 12).

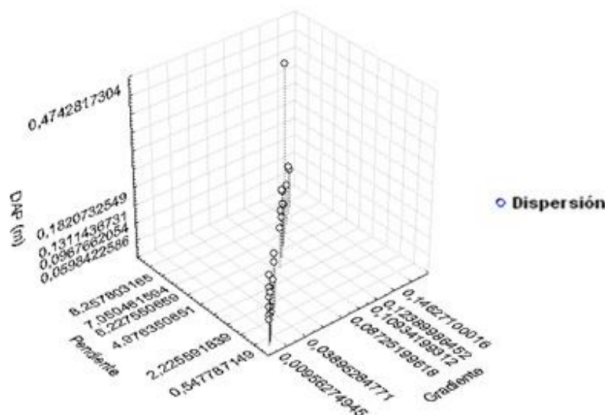


Figura 12. Relación del Diámetro, la Pendiente y el Gradiente.

Lo anterior se encuentra sustentado en los coeficientes de correlación de la pendiente y el gradiente sobre el DAP, correspondientes a 31% en ambos casos.

### 3.3.9. Curvatura y orientación (aspecto)

De acuerdo con los resultados de la curvatura y orientación (aspecto), no existe una relación visible con las variables forestales que indique dependencia, razón por la cual el análisis de varianza no muestra diferencias significativas o poco significativas.

Las figuras 13 y 14 presentan la relación entre la altura, diámetro, curvatura y orientación. Allí se observa que no existe una tendencia definida entre estas variables.

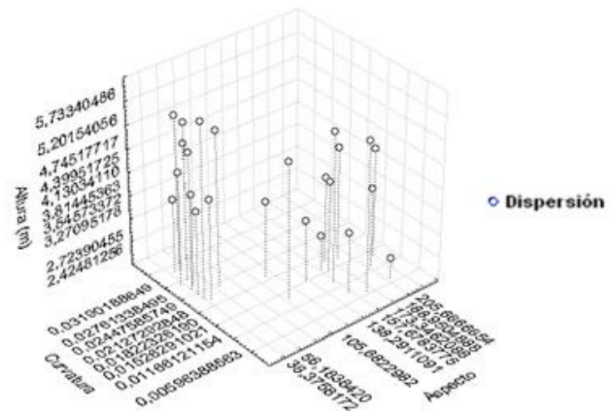


Figura 13. Relación de la Altura, la Curvatura y el Aspecto.

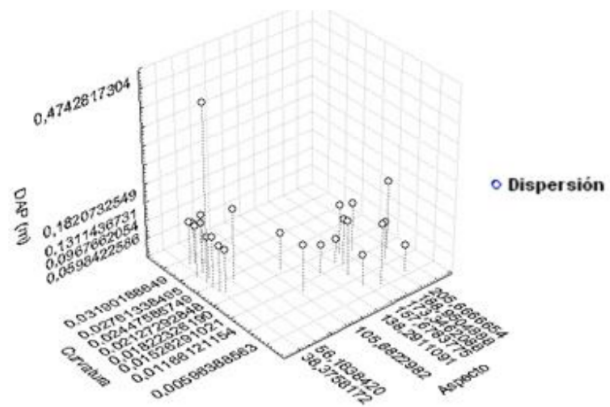


Figura 14. Relación del Diámetro, la Curvatura y el Aspecto.

En el caso del diámetro, la curvatura y el aspecto comprenden un grado de influencia poco relevante, lo cual se encuentra dado por los coeficientes de correlación de 21,9% y -26,3%.

El grado de influencia de estas variables topográficas en la altura no es de gran significancia, ya que éstas presentan correlaciones de 33,2% con la curvatura y -42,5% con la orientación.

#### 4. Discusión de resultados

##### 4.1. Condiciones óptimas del suelo para el desarrollo y crecimiento del caucho sabanero (*Ficus soatensis*) frente a las condiciones actuales del suelo en el Parque Metropolitano El Tunal

Dentro de las condiciones óptimas del suelo para el desarrollo del caucho sabanero (*Ficus soatensis*) se encuentran suelos fértiles, sueltos y con bastante drenaje, sin embargo, es una especie que se logra adaptar a suelos pobres, ya que resiste sequías y heladas y tolera la contaminación (CAR, 2004). Por lo tanto, el *Ficus soatensis* se acondiciona a suelos francoarenosos que permitan tanto la circulación como la retención del agua dentro del suelo, factores que también se encuentran influidos por la infiltración, conductividad hidráulica, humedad, porosidad y densidades aparente y real.

En el caso de la textura, el *Ficus soatensis* requiere de una clase textural francoarenosa, la cual comprende valores de arena entre 85% a 43%, limo entre 50% a 0% y arcilla entre 20% a 0% (Jaramillo, 2002). De acuerdo con la clase textural predominante en el suelo del parque El Tunal (francoarcilloarenosa), se requeriría un aumento en el contenido de limo, un contenido máximo de 20% para la arcilla y una ligera disminución en el contenido de arena, ya que los rangos de esta clase textural son: arena entre 80% a 45%, limo entre 28% a 0% y arcilla entre 35% a 20% (Jaramillo, 2002).

La densidad real para fines prácticos asume un valor promedio de 2,65 gr/cc, donde los valores que se encuentren por debajo indican una alta presencia de materia orgánica en el suelo (Jaramillo, 2002). Teniendo en cuenta que el caucho sabanero requiere un suelo fértil para un desarrollo óptimo, el suelo del Parque El Tunal cumple en el primer, segundo y tercer estrato con dicha condición, pues sus valores promedios son 2,563 gr/cc, 2,634 gr/cc y 2,538 gr/cc, respectivamente.

Cortés y Malagón (1984, citados por Jaramillo, 2002) estiman que valores de densidad aparente mayores a 1,4 gr/cc en suelos de textura media (como lo es en el caso del Parque El Tunal) son considerados altos, lo cual, según Pla (1996, citado por Pinzón, 2003), es causante de bajas aireaciones que generan resistencias altas a la penetración en el suelo por parte de las raíces. El caucho sabanero requiere de buen drenaje para un desarrollo óptimo y esto implica que las condiciones de aireación sean adecuadas, lo que se encuentra influido por la densidad aparente. En el caso del área de estudio, los valores promedios de densidad aparente en el primer, segundo y tercer estrato son mayores de 1,4 gr/cc, esto indica que el suelo posee bajas aireaciones.

La conductividad hidráulica define las posibilidades que tiene el agua de moverse dentro del suelo y se encuentra estrechamente relacionada con el drenaje (Jaramillo, 2002).

Para el óptimo desarrollo del caucho sabanero, las condiciones de drenaje deben ser bastante eficientes, lo que implica clasificaciones de conductividad hidráulica moderadamente rápida y rápida, las cuales según Cruz y López (1995) comprenden los siguientes valores: 6,25 cm/h a 12,5 cm/h y 12,5 cm/h a 18,75 cm/h, respectivamente. En el caso del Parque El Tunal, la conductividad hidráulica indica que el drenaje no es adecuado para el desarrollo del *Ficus soatensis*, ya que su promedio es de 0,509 cm/h.

Teniendo en cuenta que la infiltración es el proceso de entrada del agua a través de la superficie del suelo en forma vertical y descendente (Baver et al., 1972), esta influye en el tiempo que debe permanecer el agua sobre la superficie del suelo para que haya un adecuado humedecimiento y drenaje. Por lo tanto, el caucho sabanero requiere que la infiltración no sea ni muy lenta ni muy rápida. En la zona de estudio el promedio de infiltración 7,44 cm/h el cual se clasifica según el USDA (1993) como moderadamente rápida, dicha situación se ajusta a los requerimientos para el desarrollo y crecimiento óptimo del *Ficus soatensis*.

##### 4.2. Modelos digitales del terreno del área de influencia de las unidades experimentales con la altura y el diámetro

Con base en los modelos digitales del terreno del área de influencia de las unidades experimentales, se efectuó el análisis de las unidades experimentales que mayor y menor altura presentaron en el área de estudio.

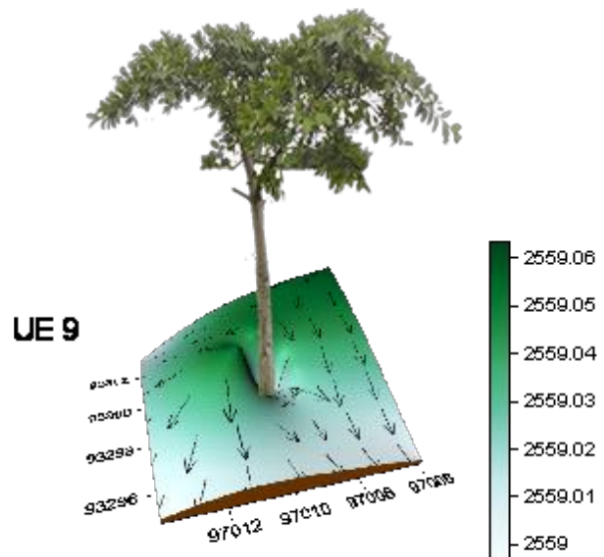


Figura 15. MDT y Diagrama de Vectores del Área de Influencia de la Unidad Experimental 9.

La unidad experimental 9 presentó la menor altura (2,42 m) de la zona de trabajo, lo cual se encuentra relacionado con la pendiente del área de influencia de ésta, ya que es uno



de los valores más bajos de pendiente ( $0,588^\circ$ ). Además, el diagrama de vectores muestra que el recorrido del agua es muy disperso sobre el área de influencia, situación que impide el aprovechamiento óptimo del agua (figura 15).

La unidad experimental 18 (figura 16) comprende una altura de 5,73 m, la mayor en el área de estudio, lo cual se ve reflejado en la pendiente ( $6,228^\circ$ ) del área de influencia de ésta, que se encuentra, a su vez, entre las mayores. A partir del MDT y el diagrama de vectores del área de influencia, se puede inferir que el curso del agua permite una mayor retención de humedad, ya que la microtopografía proporciona una dirección en el flujo de agua más adecuada que en la unidad No. 9.

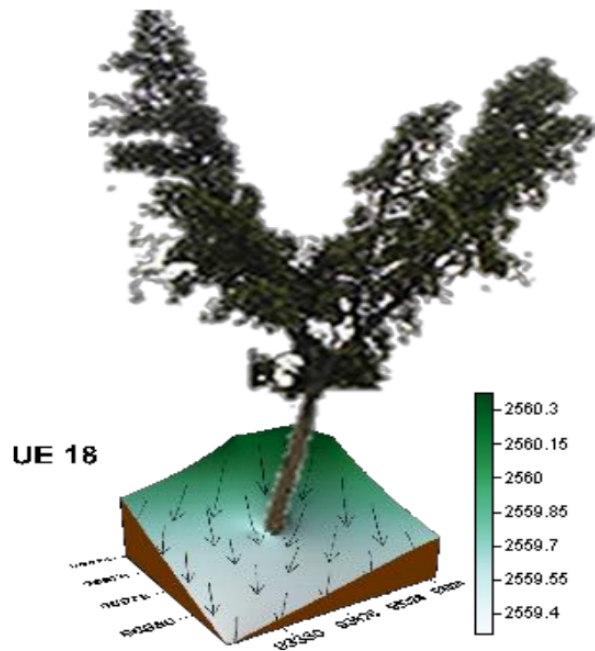


Figura 16. MDT y Diagrama de Vectores del Área de Influencia de la Unidad Experimental 18.

En el caso del diámetro, la unidad experimental que posee el menor valor es la 2 (6 cm), con una pendiente de  $1,206^\circ$ , la cual se encuentra entre los valores más bajos de la zona de trabajo, lo que indica una posible relación entre el DAP y la pendiente en esta unidad. Además, el MDT del área de influencia permite destacar que el recorrido del agua hacia la unidad experimental provocaría una mayor retención de humedad, sin embargo, esta situación no se evidencia en el diámetro (figura 17).

Por otra parte, la unidad experimental 24 (figura 18) presenta el mayor diámetro de la zona de estudio (18,8 cm), comprendiendo en el área de influencia una pendiente de  $5,611^\circ$ . En este caso se presenta una relación directa entre la pendiente y el DAP, lo cual se encuentra apoyado en los resultados que presenta el MDT, ya que la disposición del curso de agua (a pesar de tener condiciones menos favorables que la unidad No. 2) provoca una retención de

humedad adecuada para el desarrollo del árbol.

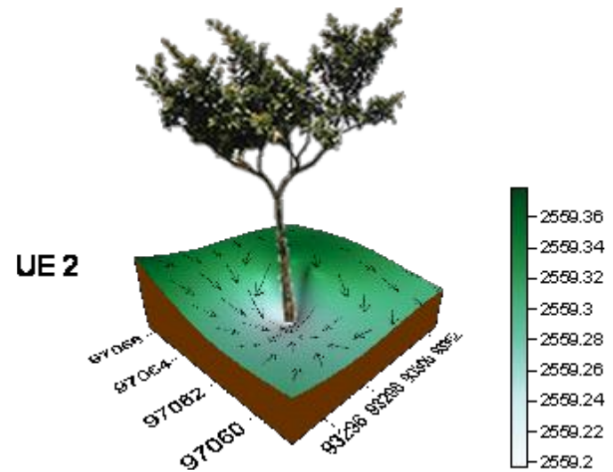


Figura 17. MDT y Diagrama de Vectores del Área de Influencia de la Unidad Experimental 2.

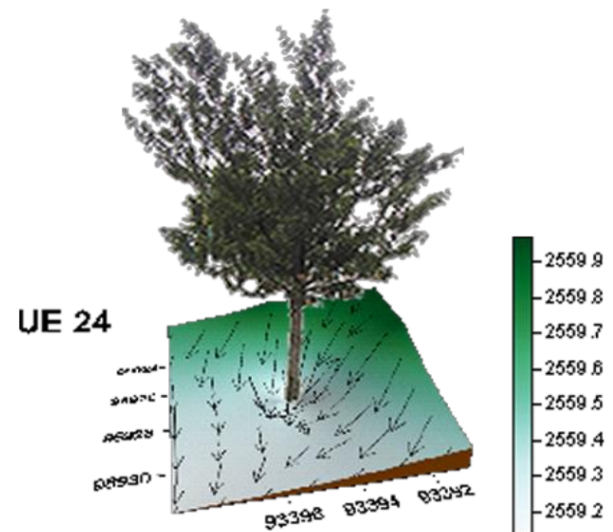


Figura 18. MDT y Diagrama de Vectores del Área de Influencia de la Unidad Experimental 24.

## 5. Conclusiones

La gran variabilidad encontrada en el suelo del Parque Metropolitano El Tunal de la ciudad de Bogotá D. C. puede obedecer a la influencia antrópica basada en rellenos con material sobrante de construcción. A pesar de no encontrarse en las condiciones ideales, el Ficus soatensis logra adaptarse a este suelo.

El análisis estadístico indicó que la pendiente y el gradiente presentan una influencia poco significativa sólo en la altura, lo cual es corroborado por la correlación entre estas variables topográficas, mientras que en la curvatura y

el aspecto no hubo diferencias poco o muy significativas ni correlaciones considerables.

Los especímenes analizados de *Ficus soatensis* en el área de estudio se están desarrollando en condiciones de suelo altamente variables en la parte física; sus diferencias también podrían encontrarse relacionadas con las propiedades químicas y biológicas del suelo.

De acuerdo con los modelos digitales del terreno del área de influencia de las unidades experimentales, se puede apreciar claramente las diferencias microtopográficas en las cuales los árboles se están desarrollando, lo cual indicaría una posible influencia de la topografía no solo en la altura del árbol sino en su arquitectura.

El grado de influencia de las propiedades físicas del suelo sobre el crecimiento y el desarrollo del *Ficus soatensis* en la zona de estudio no es muy significativo, ya que la matriz de correlación no muestra valores mayores al 50%, así mismo el análisis de varianza no produjo diferencias significativas.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al ingeniero José Miguel Cepeda Rendón y al Laboratorio de Suelos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

### Referencias

Baver, L. D., Gardner, H. W., Gardner, R. (1972). Física de suelos. México: Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR] (2004). Vegetación del Territorio CAR. Bogotá.

Cruz, J. y López, O. (1995). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali: Cenicaña.

García, F., Hill, M., Kaplán, A., Ponce de León, J. y Rucks, L. (2004). Propiedades físicas del suelo. Montevideo: Universidad de la República, Facultad de Agronomía Departamento de Suelos y Aguas.

Garzón, S., Holguín L., Muñoz, J. y Núñez, C. (2009). Estudio de las propiedades físicas de los suelos bajo cobertura forestal de *Gmelina arborea* y *Pachia quinata* en el bosque seco tropical en el bajo Magdalena. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Hernández, D., Tafur, O. y Tovar, J. (2008). Estudio de las características físicas de los suelos bajo cobertura forestal en el Parque Central Simón Bolívar de la ciudad de Bogotá D. C. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.

Vásquez, J. R. (2009). Caracterización de la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en los suelos de la Granja Experimental de la Universidad del Magdalena. Universidad Nacional de Colombia, Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos. Santa Marta, Colombia.

