

## MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUSTRATOS CON BIOCARBÓN

### IMPROVING THE PHYSICAL PROPERTIES OF SUBSTRATE WITH BIOCHAR

DR. C. YASIEL ARTEAGA-CRESPO, DRA. C. GRETTEL GEADA-LÓPEZ, DR. C. YUDEL GARCÍA-QUINTANA,  
M. SC. MARILYN ALONSO-LOPEZ Y DRA. C. IRIS CASTILLO-MARTÍNEZ

Universidad de Pinar del Río, Facultad de Forestal y Agronomía. Calle Martí 270, Pinar del Río,  
Cuba, C. P. 20100, teléf.: 53-048-779363, yasiel@af.upr.edu.cu

#### RESUMEN

*El propósito de esta investigación fue determinar las propiedades físicas de sustratos orgánicos en mezclas con biocarbón como acondicionador. Los sustratos independientes empleados fueron cachaza, turba, biocarbón y mezclas volumétricas de cachaza-biocarbón, y turba-biocarbón en un experimento completamente aleatorio con nueve tratamientos y diez réplicas. Se demostró la influencia positiva del biocarbón en las propiedades físicas de los sustratos dados por la disminución de la densidad aparente, diámetro medio de partículas y aumento de la retención de humedad de las mezclas en relación con los componentes individuales. El análisis de correspondencia mostró una correlación significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre los sustratos y las variables destubetado, estabilidad del cepellón y arquitectura radical.*

Palabras claves: biocarbón, propiedades físicas, sustratos.

#### ABSTRACT

*The aim of this study was to determine the physical properties of organic substrates in mixtures with biocharcoal as substrate-conditioner. The substrates used were sugar cane straw, peat, biocharcoal and volumetric mixtures with biocharcoal under a completely randomized treatment and ten replicates. We demonstrate the positive influence on the physical properties biocharcoal the substrates given by the decrease in soil density, average particle diameter and moisture retention of the blends relative to the individual components. Correspondence analysis shows a significant correlation ( $p \leq 0,05$ ) between the substrates and three nominal such as container removal capacity, stability and radical architecture of the root.*

Key words: bio charcoal, physical properties, substrate.

#### INTRODUCCIÓN

La importancia del conocimiento de las propiedades de los materiales usados para producir plantas forestales resulta necesario dado sus requerimientos para su desarrollo; de ahí que para el logro de un sustrato con características adecuadas, generalmente se requiera de la combinación de dos o más componentes. En la actualidad se continúa la búsqueda de nuevas combinaciones de materiales que garanticen las propiedades deseadas y minimizar las actividades de preparación del sustrato.

El biocarbón ha sido ampliamente empleado en suelos agrícolas, atribuyéndosele propiedades que contribuye al mejoramiento de su fertilidad y sustentabilidad, a la vez que mejora sus propiedades químicas, físicas y biológicas; proporciona retención de nutrientes y mejora la capacidad de intercambio catiónico (CIC), y participa en los procesos biogeoquímicos del suelo, así como reacciones de absorción de nutrientes [Glaser *et al.*, 2002; Smith *et al.*, 2010; Durenkamp *et al.*, 2010; Graber *et al.*, 2010].

El tipo de superficie encontrada en el biocarbón con gran cantidad de grupos aromáticos se informa que pudiera ser responsable de los aumentos de la CIC [Schmidt *et al.*, 1999]; dicha propiedad lo hacen un material bueno para la retención y disponibilidad de nutrientes en el suelo, reciclaje de nutrientes, lo cual mejora el crecimiento y aumento en la productividad de los cultivos [Steiner *et al.*, 2007, Madari, 2009; Novak *et al.*, 2010]. La aplicación de biocarbón en suelos ejerce también una influencia en el propio suelo, mejorando su calidad al disminuir las pérdidas de nutrientes por lixiviación [Laird *et al.*, 2010].

Sin embargo, el efecto de las aplicaciones de biocarbón en el sector forestal ha estado poco documentado, y su potencial uso en la producción

de plantas en viveros forestales con tecnología de tubetes representa una oportunidad escasamente estudiada, por lo que el objetivo de la presente investigación consistió en determinar las propiedades químicas de los sustratos en mezclas con biocarbón.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sustratos empleados y tipo de envase

Se utilizaron diferentes sustratos: cachaza, turba y biocarbón. Se emplearon además mezclas volumétricas de cachaza-biocarbón y turba-biocarbón (4:1, 1:1, 1:4). El envase empleado fue el tubete plástico de color negro de 90 cm<sup>3</sup> de capacidad. La composición de los sustratos se muestra en la *Tabla 1*.

**TABLA 1**  
**Composición de los sustratos empleados en el experimento**

| <i>Sustrato</i>     | <i>Variante</i> | <i>Abreviatura</i> | <i>Composición (v/v)</i> |
|---------------------|-----------------|--------------------|--------------------------|
| Biocarbón           | BC              | BC                 | 100                      |
| Turba               | T               | T                  | 100                      |
| Cachaza             | C               | C                  | 100                      |
| Turba + biocarbón   | T + BC          | T20                | 20 + 80                  |
| Turba + biocarbón   | T + BC          | T50                | 50 + 50                  |
| Turba + biocarbón   | T + BC          | T80                | 80 + 20                  |
| Cachaza + biocarbón | C + BC          | C20                | 20 + 80                  |
| Cachaza + biocarbón | C + BC          | C50                | 50 + 50                  |
| Cachaza + biocarbón | C + BC          | C80                | 80 + 20                  |

### Determinación de las propiedades físicas de los sustratos

Se determinaron propiedades físicas a partir de las metodologías descritas por Ansorena (1994) (densidad aparente y retención de humedad) y el diámetro medio de las partículas (Dmp) con la consiguiente distribución granulométrica, por el método de tamizado para la serie de tamices ASTM [ASTM E-29, 1972].

La densidad aparente se determinó por el método del cilindro, calculándose mediante la expresión:

$$da = \frac{M}{V}$$

donde:

M: Masa del sustrato (g)

V: Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)

### Destubetado, estabilidad del cepellón y arquitectura radical

Para las variables destubetado, estabilidad del cepellón y arquitectura radical se analizaron niveles del grado de complejidad como se indica en la *Tabla 2*.

**TABLA 2**  
**Niveles establecidos para las variables destubetado, estabilidad del cepellón y desarrollo radical**

| <i>Variable</i>          | <i>Nivel</i> |            |          |
|--------------------------|--------------|------------|----------|
|                          | <i>1</i>     | <i>2</i>   | <i>3</i> |
| Destubetado              | Fácil        | Medio      | Difícil  |
| Estabilidad del cepellón | Alta         | Intermedia | Baja     |
| Arquitectura radical     | Buena        | Aceptable  | Mala     |

## Procesamiento estadístico

Se realizó un análisis de varianza de clasificación simple y una prueba de comparación de medias de Duncan para un 95 % de probabilidad para la comparación de las propiedades físicas de los sustratos, mientras que para las variables nominales destubetado, estabilidad del cepellón y arquitectura radical se realizó un análisis de correspondencia. Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS ver. 15.0 para Windows.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización física de los sustratos

El análisis de las propiedades físicas (Tabla 3) indicó diferencias significativas entre los sustratos, influenciado por las diferentes proporciones de biocarbón.

**TABLA 3**

**Valores medios y desviación típica de la densidad aparente (DA), diámetro medio de partículas (DMP) y retención de humedad (RH) de los sustratos**

| Sustrato | DA ( $g \times mL^{-1}$ ) | DMP (mm)          | RH (%)                |
|----------|---------------------------|-------------------|-----------------------|
| BC       | $0,26 \pm 0,02^f$         | $0,34 \pm 0,02^i$ | $68,73 \pm 1,25^a$    |
| T        | $0,62 \pm 0,02^a$         | $1,03 \pm 0,02^a$ | $42,10 \pm 1,60^f$    |
| C        | $0,55 \pm 0,01^b$         | $1,00 \pm 0,06^b$ | $53,54 \pm 1,15^e$    |
| T20      | $0,32 \pm 0,01^e$         | $0,37 \pm 0,01^g$ | $64,63 \pm 0,67^b$    |
| T50      | $0,46 \pm 0,01^c$         | $0,61 \pm 0,01^c$ | $57,34 \pm 1,53^d$    |
| T80      | $0,57 \pm 0,01^b$         | $0,90 \pm 0,02^c$ | $52,94 \pm 1,42^e$    |
| C20      | $0,32 \pm 0,02^e$         | $0,42 \pm 0,01^h$ | $65,49 \pm 1,60^b$    |
| C50      | $0,44 \pm 0,03^d$         | $0,46 \pm 0,01^d$ | $59,20 \pm 1,14^c$    |
| C80      | $0,43 \pm 0,02^d$         | $0,89 \pm 0,01^c$ | $58,36 \pm 1,04^{cd}$ |

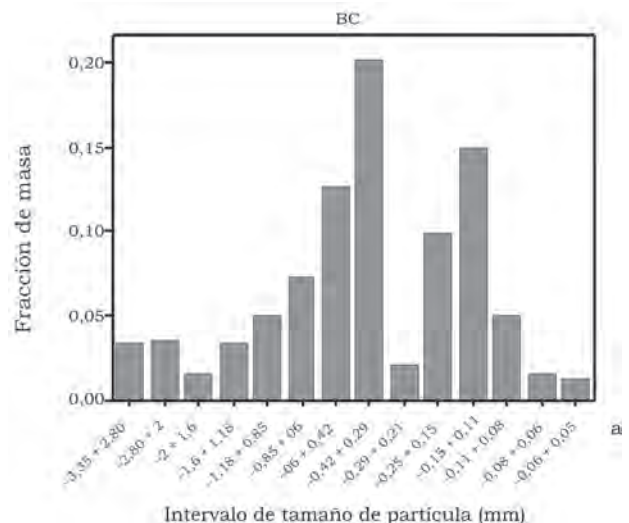
En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para la prueba de comparación de medias de Duncan con una  $p \leq 0,05$ .

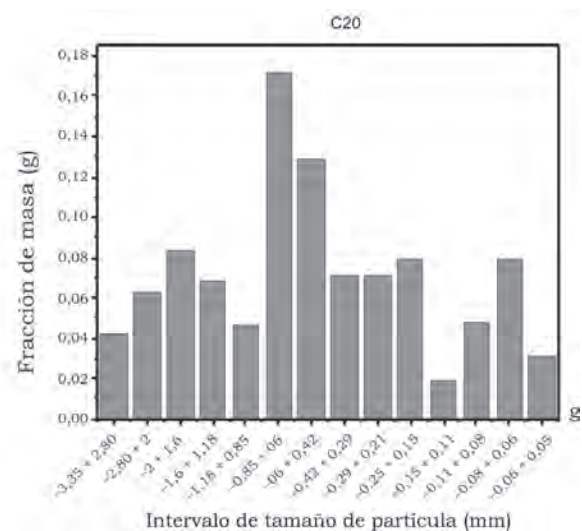
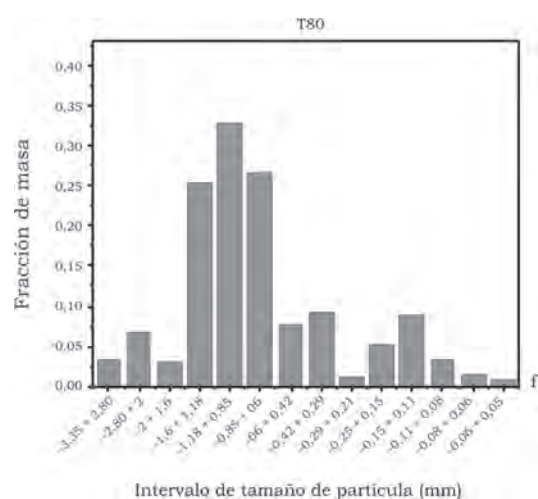
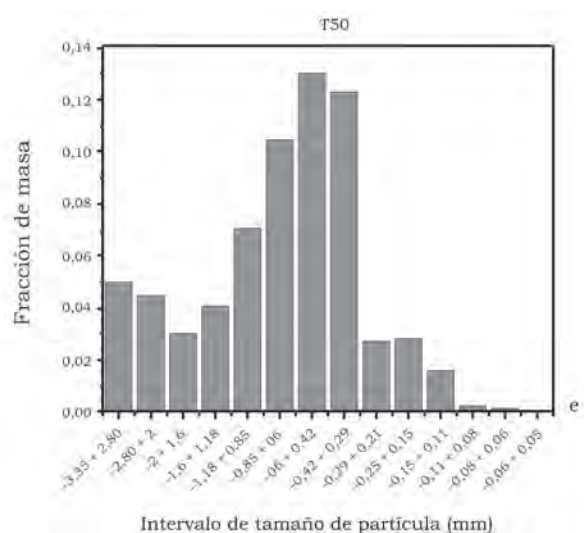
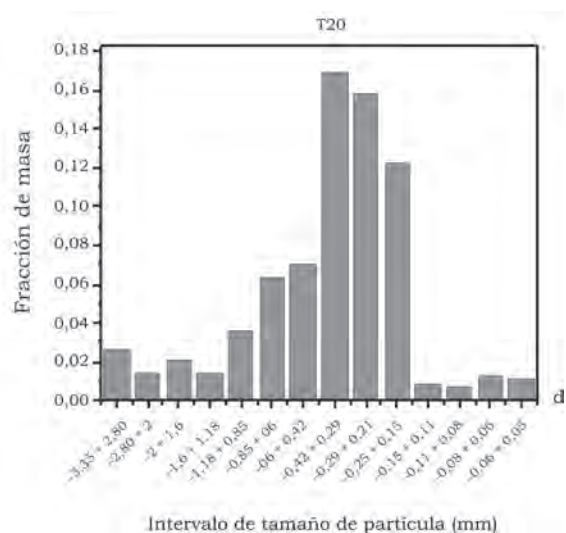
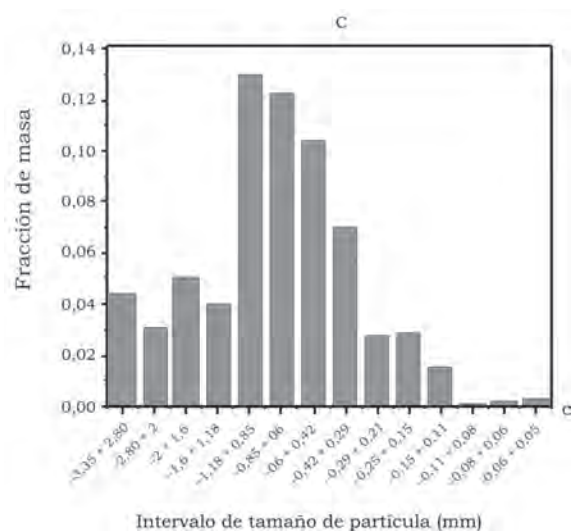
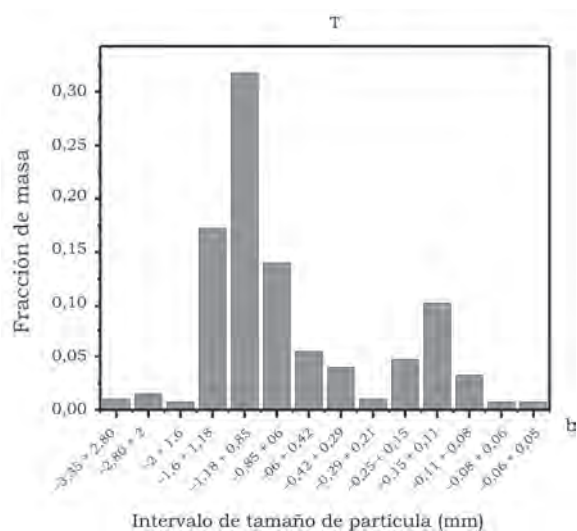
Los valores más bajos DA y DMP correspondieron al biocarbón, lo que condiciona los valores más altos para la RH, lo cual está dado por la presencia de partículas pequeñas que hacen que disminuya la porosidad total y aumenta la capacidad de retención de agua al disminuir el tamaño de los poros interpartículas [Ansorena, 1994]. Las mezclas, por su parte, mostraron valores intermedios al de los

constituyentes individuales, lo que evidenció que las combinaciones con biocarbón empleadas influyeron en todas las propiedades físicas. Con relación a la densidad aparente, Guzmán (2003) sostiene que valores menores de  $0,2 \text{ g} \times \text{mL}^{-1}$  es buena; sin embargo, Ansorena (1994) argumenta que estos pueden llegar a ser cercanos a  $0,4 \text{ g} \times \text{mL}^{-1}$ . De forma general, los sustratos donde el biocarbón se halla por encima del 50 % se alcanzan los niveles idóneos.

Acerca de la retención de humedad, Abad *et al.* (1999), citado por Guzmán (2003), expone que los sustratos que retengan al menos el 50 % de humedad son apropiados para el desarrollo de las plántulas en tubetes. De forma general, todos los sustratos satisfacían con dicha condición, con excepción de T, y en aquellos resultantes de las combinaciones con biocarbón se modificó dicha propiedad positivamente.

Como se aprecia en la Fig. 1 (a, b, c, d, e, f, g, h, i), los sustratos individuales de T y C presenta una concentración en los intervalos de mayor diámetro promedio de partículas, y el biocarbón posee una distribución más homogénea a intervalos de menores tamaños de partículas. La adición de biocarbón proporciona una nueva distribución para cada sustrato, donde se incorporan fracciones correspondientes en su mayoría a menores tamaños de partícula. Por tanto, esto puede ser una de las causas de la mayor retención de humedad.





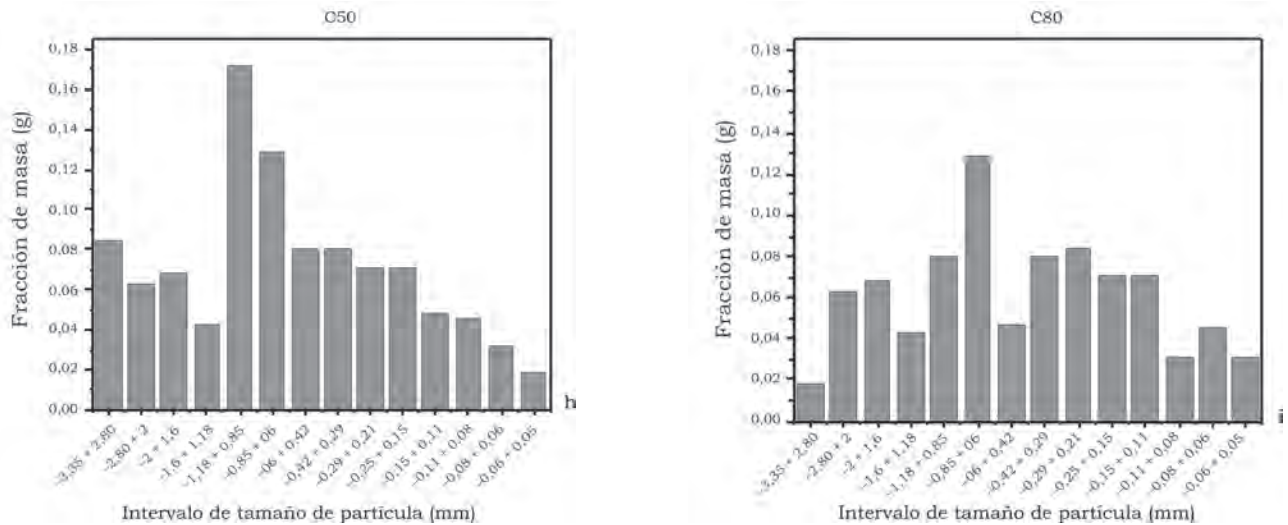


Figura 1. Distribución del tamaño de las partículas en los sustratos.

La relación entre dichas propiedades se comprobaron en la matriz de correlación de Pearson (Tabla 4), donde las correlaciones fueron altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ), y las más correlacionadas fueron DA y RH, por lo que puede simplemente determinar la DA para tener un indicador de la posible RH de un sustrato en la práctica.

#### Análisis de las propiedades relativas al destubetado, la estabilidad del cepellón y la arquitectura radical

El análisis de correspondencia mostró una correlación significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre los sustratos y las variables destubetado, estabilidad del cepellón y arquitectura radical (Tabla 5), con valores de inercia total mayores que uno.

**TABLA 4**

**Matriz de correlación de Pearson para las variables físicas**

|     | DMP   | RH       | DA       |
|-----|-------|----------|----------|
| DMP | 1,000 | -0,884** | 0,931**  |
| RH  |       | 1,000    | -0,943** |
| DA  |       |          | 1,000    |

\*\* Significativa para  $p \leq 0,01$ .

DA: Densidad aparente DMP: Diámetro medio de partículas

RH: Retención de humedad

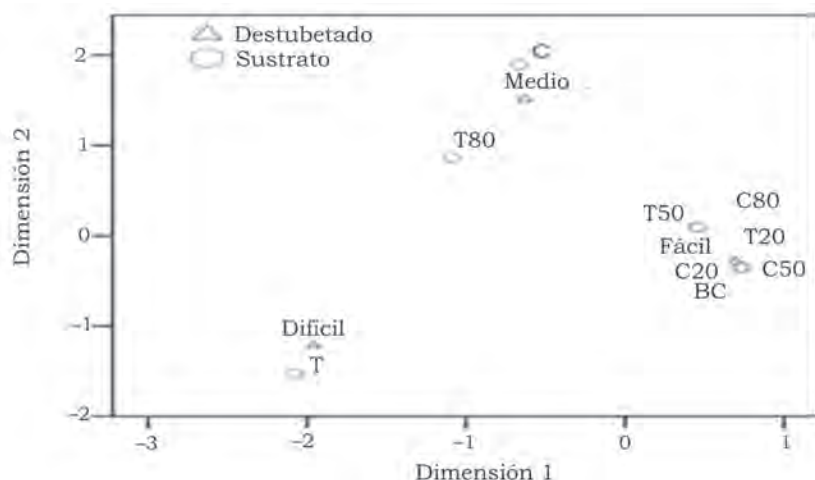
**TABLA 5**

**Resumen del análisis de correspondencia**

| Destubetado              |              |         |              |       |                       |           |
|--------------------------|--------------|---------|--------------|-------|-----------------------|-----------|
| Dimensión                | Valor propio | Inercia | Chi-cuadrado | Sig.  | Proporción de inercia |           |
|                          |              |         |              |       | Explicada             | Acumulada |
| 1                        | 0,944        | 0,891   |              |       | 0,583                 | 0,583     |
| 2                        | 0,799        | 0,638   |              |       | 0,417                 | 1,000     |
| Total                    |              | 1,529   | 137,6        | 0,000 | 1,000                 | 1,000     |
| Estabilidad del cepellón |              |         |              |       |                       |           |
| 1                        | 0,961        | 0,923   |              |       | 0,660                 | 0,660     |
| 2                        | 0,690        | 0,476   |              |       | 0,340                 | 1,000     |
| Total                    |              | 1,399   | 125,889      | 0,000 | 1,000                 | 1,000     |
| Arquitectura radical     |              |         |              |       |                       |           |
| 1                        | 0,960        | 0,921   |              |       | 0,534                 | 0,534     |
| 2                        | 0,896        | 0,803   |              |       | 0,466                 | 1,000     |
| Total                    |              | 1,724   | 155,194      | 0,000 | 1,000                 | 1,000     |

En la *Fig. 2* se puede apreciar que a un fácil destubetado estuvieron asociados los sustratos BC, T20, T50, C50 y C80; medio a C y T80, y

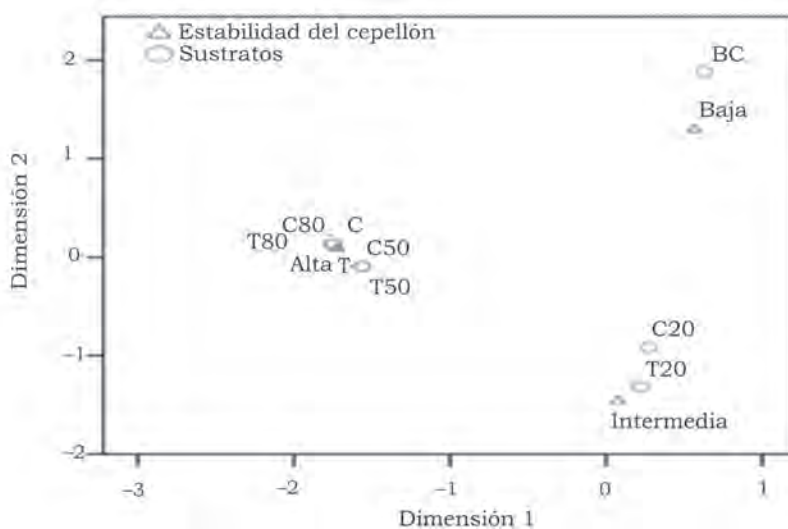
difícil T, por lo que se puede concluir que BC como acondicionador incide favorablemente en esta propiedad.



*Figura 2.* Representación en dos dimensiones de la relación entre los niveles del destubetado y los sustratos.

En la *Fig. 3* se puede apreciar que proporciones de BC del 80 % disminuye la estabilidad del cepellón

tanto en turba como en cachaza. Esto reafirma el uso de biocarbón solo como acondicionador.



*Figura 3.* Representación en dos dimensiones de la relación entre los niveles de estabilidad del cepellón y los sustratos.

La arquitectura radical fue buena para la mayoría de los sustratos (*Figs. 4 y 5a, b, c*), excepto T, que

se consideró malo, lo cual indica que la presencia de BC favorece el desarrollo del sistema radical.

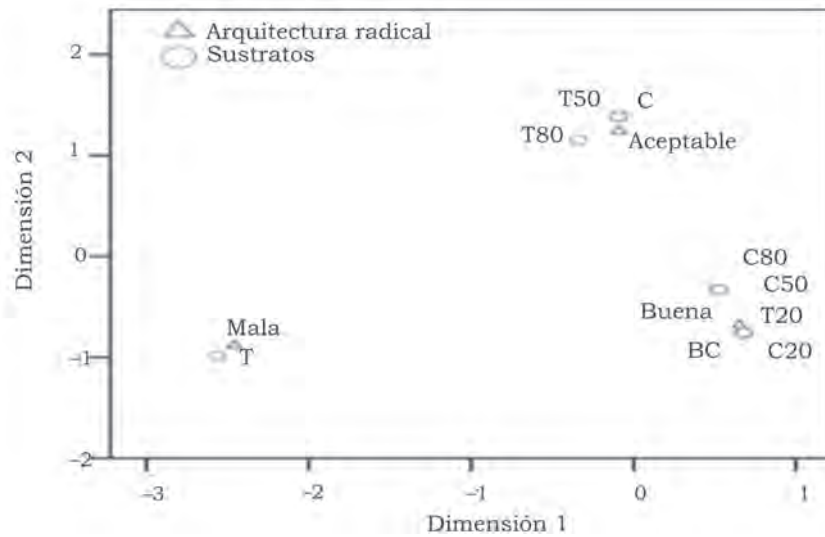


Figura 4. Representación en dos dimensiones de la relación entre los niveles de arquitectura radical y los sustratos

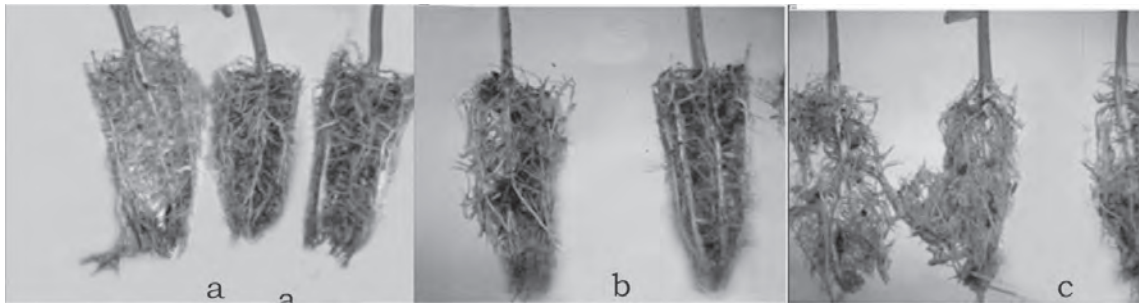


Figura 5. Arquitectura radical: a: buena, b: aceptable, c: mala.

El destubetado es una propiedad física asociada al desarrollo radical y las propiedades físicas de los sustratos. Un menor grado de desarrollo del sistema radical puede disminuir la estabilidad del cepellón.

Castillo *et al.* (2006), en la evaluación de diferentes sustratos compuestos por cachaza como elemento principal en la producción de plantas de *Eucalyptus grandis*, demostraron que las plantas con una mayor colonización de las raíces sobre el sustrato presentan una menor resistencia al destubetado. Estos autores refieren que las variables destubetado, estabilidad del cepellón y arquitectura radical están estrechamente relacionadas entre sí, las cuales se deben tener en cuenta a la hora de estudiar los sustratos, pues del buen comportamiento de ellas depende en gran medida el éxito de la plantación.

Luego, el empleo de biocarbón como componente de los sustratos mejora la mayoría de las propiedades físicas e incide positivamente en las propiedades químicas. En este caso los sustratos con mejores características físico-químicas para el desarrollo de plántulas son aquellos donde el biocarbón está al 50 % o más, en particular las mezcla con cachaza (C50 y C80).

## CONCLUSIONES

- El biocarbón presentó un efecto acondicionador de las propiedades físicas en turba y cachaza con una disminución de la densidad y aumento de la retención de humedad de los sustratos.
- Las mejores propiedades químicas y físicas en los sustratos compuestos por biocarbón

con cachaza en la proporción 50:50 % y 20:80 % (C50 y C80) indican su potencial para el uso en tubetes.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANSORENA, M.J. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. España. Ediciones Mundi-Prensa. 172 p.
- ASTM (E-29). 1972. Guidelines for establishing sieve analysis procedures. 50 p.
- CASTILLO, M.I.C., ET AL. 2006. Evaluación de diferentes sustratos compuestos por cachaza como elemento principal en la producción de plantas de *Eucalyptus grandis* en contenedores. Revista Forestal Baracoa (CU) 25 (2):75-85.
- DURENKAMP, M., LUO, Y., BROOKES, P.C. 2010. Impact of black carbon addition to soil on the determination of soil microbial biomass by fumigation extraction. Soil Biology Biochemical (EU) 42:2026–2029.
- GLASER, B., LEHMANN, J., ZECH, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal a review. Biology Fertil. Soils (EU). 35:219–230.
- GRABER, E.R., ET AL. 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. Plant Soil (NL) 337:481-496.
- GUZMÁN, J.M. 2003. Sustratos y tecnología de almácigo. En: Memoria de cursos de producción en ambientes protegidos. UCR-CYTED. San José, Costa Rica. p 25.
- LAIRD, D., ET AL. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma (NL) 158:436–442. doi:10.1016/j.geoderma.2010.05.012
- MADARI, B.E. 2009. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): sus características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: Teixeira, W.G. et al. As terraspretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento naciação de novas áreas. Manaus: EMBRAPA Amazônia Ocidental. p. 174-187
- Manejo en suelos y sustratos agrícolas. San José, Costa Rica. 23 p.
- NOVAK, J.M., ET AL. 2010. Short-term CO<sub>2</sub> mineralization after additions of biochar and switchgrass to a TypicKandiu-dult. Geoderma (NL) 154:281-288.doi:10.1016/j.geoderma.2009.10.014
- SCHMIDT, M.W.I., SKJEMSTAD, J.O., GEHRT, E., KÖGEL, K.I. 1999. Charred organic carbon in German chernozemic soils. European Journal of Soil Science (GB) 50:351–365.
- SMITH, L.J., COLLINS, P.H., BAILEY, L.V. 2010. The effect of young biochar on soil respiration. Soil Biology and Biochemistry (US) 42:2345-2347.
- STEINER, C., ET. AL. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant and Soil (NL) 291:275-290.

## RESEÑA CURRICULAR:

Autor principal: Yasiel Arteaga Crespo

Químico de formación y docente e investigador en el área de fisiología forestal y viveros forestales en la Universidad de Pinar del Río. Tiene publicaciones en revistas de alto impacto científico.