

Sustratos con biocarbón y compost mejoran el desarrollo y sanidad de semilleros de *Solanum lycopersicum* L. en bandejas multiceldas



<https://cu-id.com/2247/v38e01>

Substrates with biochar and compost improve the development and health of *Solanum lycopersicum* L. seedlings in multi-cell trays

 Julio César Hernández Salgado^{1,2*}, Olga Nely O'Reilly Cobas², Alejandro Hernández O'Reilly¹, Oscar Jesús Acosta Valdivia¹

¹Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, Quivicán, Cuba.

²Módulo de casas de posturas “La Magela”, Quivicán, Cuba.

RESUMEN: Esta investigación se desarrolló en el módulo de casas de posturas “La Magela”, municipio Quivicán, provincia Mayabeque, Cuba, en los meses de octubre y noviembre del 2022. Se utilizó la variedad de tomate ‘Elbita’; la siembra se realizó en bandejas de poliestireno de 260 alveólos, que se desinfectaron con hipoclorito de sodio (1 %). Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con 12 tratamientos, combinando las variables: **sustratos** (cáscara de arroz natural, compost solarizado y sustrato residual de bandejas anteriores) y **momento de pirólisis** (mezclando los materiales antes de la pirólisis, o pirólisis de la cáscara de arroz sola y luego mezclarla con compost o sustrato residual) empleando cuatro controles (100 % de cáscara de arroz carbonizada, turba rubia, compost solarizado y sustrato residual); cada tratamiento tuvo tres réplicas (bandejas). La pirólisis se realizó en quemador artesanal (80 cm diámetro, 60 cm altura) con orificios y chimenea. Se determinó porcentaje de germinación (7 días) y altura, diámetro del tallo, número de hojas, volumen de raíces e integridad del cepellón (a los 35 días) contabilizando, en todo el período, las plantas muertas por “*damping off*”. En el análisis de la información, se utilizó el programa estadístico Infostat (versión libre) para realizar análisis de varianza (ANOVA) de las variables de respuesta del experimento, en los casos en que hubo significación estadística se aplicó la prueba de Tukey. Se realizó un análisis de correlación simple para determinar la relación entre las variables volumen de las raíces e integridad del cepellón. La variante de mezclar 75 % de cáscara de arroz con 25 % de compost y luego carbonizarlos juntos, evidenció los mejores resultados en altura, diámetro de tallo y número hojas de las plantas, con menor afectación por “*damping off*”.

Palabras claves: biocarbón, cepellón, damping off, posturas, sustrato, turba.

ABSTRACT: This research was carried out in the “La Magela” seedling house module, Quivicán municipality, Mayabeque Province, Cuba, in October and November 2022. The ‘Elbita’ tomato variety was planted in polystyrene trays of 260 cells, which were previously disinfected with sodium hypochlorite (1%). A completely randomized experimental design with three replicates (trays) and twelve treatments was used. The treatments resulted from combining the **substrates** (natural rice husk, solarized compost and residual substrate from previous trays) and the **pyrolysis moment** (mixing the materials before pyrolysis, or pyrolysis of the rice husk, rice alone and then mix it with compost or residual substrate). Four controls (100% carbonized rice husk, blonde peat, solarized compost and residual substrate) were included. Pyrolysis was carried out in a traditional burner (80 cm in diameter, 60 cm in height) with holes and a chimney. Germination percentage (7 days) and height, stem diameter, number of leaves, root volume and integrity of the root ball (after 35 days) were determined. The plants diseased by “*damping off*” throughout the period were counted. The Infostat statistical program (free version) was used to perform analysis of variance (ANOVA) of the response variables of the experiment. The Tukey test was used in case of statistical significance. A simple correlation analysis was performed to determine the relationship between the variables root volume and root ball integrity. The variant of mixing 75% rice husk with 25% compost and then carbonizing them together showed the best results in height, stem diameter, and number of leaves of the plants, with less impact by “*damping off*”.

Key words: biochar, root ball, damping off, seedlings, substrate, peat.

INTRODUCCIÓN

La producción de posturas (*sinónimos*: plántulas, plantines, pilones o mudas) con cepellones libres de plagas y disponibles a tiempo para su trasplante, es un elemento importante en los sistemas de producción

protegida de hortalizas (1). En la obtención de las plántulas resulta conveniente el uso de contenedores (bandejas) donde las posturas podrán ser extraídas con su cepellón (agregado que forma la masa de raíces y el sustrato, que toma la forma de la celda que lo contiene) lo que

*Correspondencia a: Julio César Hernández Salgado. E-mail: juliocesarquivican@gmail.com

Recibido: 28/02/2023

Aceptado: 10/07/2023

garantizará la supervivencia de diversas especies de vegetales al estrés del trasplante (2).

En el caso de los sustratos, numerosos materiales orgánicos o inorgánicos se sugieren como soporte físico para la producción de plantas con cepellón, como turba, suelo, compost, entre otros (2, 3, 4). En años recientes, el biocarbón (en inglés biochar) se está empleando también en la conformación de sustratos para semilleros (5).

El uso de biocarbón combinado con otros abonos se estudió en Cuba por Alonso (6); sin embargo, es necesario aportar nutrientes a este material para suplir las necesidades de la planta en esta primera etapa de desarrollo. Resulta escasa la información sobre el impacto de las mezclas de este biocarbón y abonos, en el desarrollo y sanidad del tomate en los semilleros.

Uno de los abonos generalizados, en Cuba, es el compost producido en pilas o corral, mediante el método aeróbico (7). Este material está, teóricamente, libre de plagas (incluyendo nematodos y semillas de arvenses); sin embargo, puede contaminarse debido a las deficientes prácticas de saneamiento o por el compostaje incompleto (8) siendo recomendable su higienización para el uso en sustratos de semilleros.

El empleo de sustratos libres de patógenos fue sugerido por Ayoub *et al.* (9) quienes emplearon, de forma eficiente, el método de solarización. Por otra parte, McGovern y McSorley (10) aplicaron ese método durante seis meses para lograr un control eficiente de las plagas del suelo, periodo de tiempo muy largo para una organización que se dedica a los semilleros hortícolas. Al-Shammary *et al.* (11) plantean que la efectividad de la solarización depende de las diferentes propiedades termofísicas del suelo o sustrato, como el flujo térmico, conductividad, difusividad, capacidad calorífica volumétrica y temperatura, así como varios factores externos que modifican de manera significativa la eficacia, en particular las condiciones climáticas. Teniendo en cuenta lo anterior y para garantizar que el sustrato quede limpio de microorganismos patógenos, es que se decidió aplicar el método de pirólisis.

La enfermedad conocida como *damping off*, causada por diversos hongos, afecta mayormente a los vegetales, en el estado de postura en los semilleros, y provoca la muerte fulminante a las posturas (12).

En los viveros y semilleros se generan importantes cantidades de residuos de sustratos infectados con microorganismos patógenos, debido a las plántulas que no pudieron ser comercializadas por ser portadoras de plagas fungosas y bacterianas, creándose así un problema ambiental.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la desinfección del compost y del sustrato residual, mezclado con la cascarilla de arroz, mediante el método de pirólisis, para lograr posturas con buena sanidad, utilizando tomate (*Solanum lycopersicum* L.) como planta de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fecha y ubicación del sitio de preparación de los sustratos y ensayo

La obtención del compost, biocarbón y preparación de sustratos para el ensayo, se produjo en el Módulo de Casas de Cultivo “La Magela” (22° 50' 52.2" de latitud N y 82° 21' 50.5" de longitud O, a 60 m.s.n.m) ubicado en el municipio de Quivicán, provincia Mayabeque, Cuba, entre octubre y noviembre del 2022, en una casa de cultivo modelo Tropical A-12.

Como sustratos, se evaluaron: **cáscara de arroz carbonizada** (carboncillo), **turba rubia**, material orgánico importado para su uso en semilleros, **compost** solarizado durante 40 días, cubierto con una manta de polietileno transparente, en los meses de marzo y abril de 2022, y **sustrato residual**, utilizado previamente, el cual fue obtenido de bandejas que presentaron más de 40 % de las posturas afectadas por damping off; conformado por compost al 25 % y carboncillo al 75 %. Apelando al concepto de economía circular (13) aplicado en la finca, ese tipo de sustrato se debe reutilizar, razón por la cual se evaluó.

Preparación del biocarbón

Como biomasa para la elaboración del biocarbón, se utilizó cáscara de arroz. La pirólisis se produjo en horno artesanal modificado (1).

De forma sintetizada, se puede señalar que el equipo para la pirólisis de cáscara de arroz consiste en un quemador metálico de 80 cm de diámetro y 60 cm de alto con 70 orificios de 1 cm de diámetro, distribuido por todo el perímetro; en el centro posee una chimenea de 75 mm de diámetro, con 2,50 m de alto (Fig. 1). El tambor del quemador tiene una abertura, en forma de pequeña puerta, donde se colocan abundantes fragmentos de madera que, posteriormente, se encienden y cuando se produce la ignición los mismos, se arroja la biomasa a carbonizar, que es la cascarilla de arroz natural procedente del proceso de descascarado de arroz para consumo humano. El quemador procesa, en cada lote, 48 carretillas de jardín, equivalente a un volumen total de 4,56 m³ y para la carbonización completa, se emplean unas 21 horas, obteniéndose 27 carretillas de biochar (2,56 m³) para un rendimiento de 56,25 %. El horno se apaga con agua, lo cual contribuye a “activar” el biocarbón resultante de la pirólisis. El biocarbón se deja secar al aire libre y se coloca en sacos para almacenar hasta su uso posterior.

Se tomaron tres muestras del biocarbón de 100 g cada una y enviaron al Laboratorio de Nematología Agrícola del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria donde se les determinó pH, Conductividad Eléctrica (CE) y Potencial REDOX. Las muestras (biocarbón y suelo) se mezclaron en 100 ml de agua



Figura 1. Proceso de obtención del biocarbón de cáscara de arroz (carboncillo) utilizando el horno artesanal descrito y ubicado en el Módulo de casas de Cultivo “La Magela”, Quivicán, Cuba / Process for obtaining rice husk biochar (charcoal) using the artisan oven described and located in the “La Magela” crops under protected condition module, Quivicán, Cuba.

destilada (pH 7,69) se filtraron a través de un tamiz 700 μm y se determinó pH (Medidor de pH ExStik® de EXTECH), Conductividad eléctrica (CE) (equipo portable Meter Toledo, sonda IF703 IP 67, 0,01-200 $\text{mS}/0\text{-}80^\circ\text{C}$), Potencial REDOX (Equipo portable ORP (*Oxidation reduction potencial*) Meter, modelo YK-23RP, LUTRON ELECTRONIC) y temperatura (medidor GREISINGER GFTB 200). El biocarbón tuvo pH: 7,3; CE: 0,19 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y REDOX: 410,02 mV.

Momento de mezcla de sustratos y pirólisis

Se evaluaron los sustratos resultantes de pirolizar la cascarilla de arroz y luego mezclar con el compost solarizado y el sustrato recuperado, y otro momento en el que se mezcló cascarilla de arroz natural, compost solarizado y sustrato recuperado, y se sometió la mezcla a pirólisis.

Tratamientos (Tabla 1): Significado de siglas y acrónimos; PosB (posterior al biocarbón) primeramente, se carbonizó la cascarilla de arroz sola y después se mezcló este carboncillo con los materiales que no pasaron por el proceso de pirólisis. PreB (previo al biocarbón), mezcla de sustratos realizada antes de la pirólisis. C; compost solarizado; CAN, cascarilla de arroz natural; CA, carboncillo de arroz; T, turba rubia; SR, sustrato residual infectado.

Las mezclas de los materiales para su posterior pirólisis, se realizó en un tambor giratorio y tanto el tiempo necesario para la pirólisis completa de la mezcla, como el rendimiento, fue diferente. (Tabla 2)

Se utilizó el cultivar de tomate 'Elbita', que presenta resistencia intermedia al virus del rizado amarillo de la hoja del tomate (*TYLCV*) (14). Las semillas de este cultivar tenían 92 % de germinación, comprobado a través de prueba inicial realizada en placas Petri, en condiciones de laboratorio. La siembra se realizó en bandejas de poliestireno expandido, de 70 cm de largo, 50 cm de ancho y con una altura de 7 cm; cada bandeja tenía 260 alveólos, con un volumen de 20 cm^3 cada uno.

El experimento se sembró el 7 de octubre de 2022; se depositaron dos semillas por alveólo, excepto en las bandejas utilizadas para evaluar el porcentaje de germinación, en las que se sembró solo una semilla por alveólo. Las bandejas se colocaron en un local con condiciones adecuadas de humedad y temperatura para lograr la germinación de las semillas en un tiempo de 48 horas, al término del cual, se llevaron para la casa de posturas. A las bandejas se les aplicó el llamado “riego de germinación”, y se les aplicaron las atenciones y riegos diarios, como sugirieron Casanova y Hernández (1).

El repique se realizó diez días después de la siembra, con el objetivo de garantizar el 100% de la población en cada bandeja. Consistió en plantar posturas en los alveólos que no germinaron, estas se extrajeron de aquellos que tenían más de una. Desde la siembra hasta la extracción de las posturas para su análisis, transcurrieron 35 días. El manejo de postura se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones planteadas en el Manual práctico para la producción protegida de hortalizas en Cuba (1).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos evaluados en el estudio de sustratos para la obtención de plántulas de tomate (*S. lycopersicum*) con buen desarrollo y menor afectación por damping off, en el Módulo de Casas de Cultivo “La Magela”, Quivicán, Cuba. / Description of treatments evaluated, in the study of substrates; to obtain tomato (*S. lycopersicum*) seedlings with good development and less damage due to damping off in “La Magela” growing house module, Quivicán, Cuba

No	Mezcla	Momento de la carbonización de un componente o la mezcla
1	CAN 75 % + C 25 % (PreB): Mezcla del 75 % de cascarilla de arroz natural y 25 % de compost solarizado	Carbonizados, los dos materiales del sustrato, después de mezclados
2	CAN 50 % + C 50 % (PreB): Mezcla del 50 % de cascarilla de arroz natural y 50 % de compost solarizado	Carbonizados, los dos materiales del sustrato, después de mezclados
3	CAN 75 % + SR 25 % (PreB): Mezcla del 75 % de cascarilla de arroz natural y 25 % de sustrato residual	Carbonizados, los dos materiales del sustrato, después de mezclados
4	CAN 50 % + SR 50 % (PreB): Mezcla del 50 % de cascarilla de arroz natural y 50 % de sustrato residual	Carbonizados, los dos materiales del sustrato, después de mezclados
5	CA 75 % + C 25 % (PosB): Mezcla del 75 % de carboncillo de arroz y 25 % de compost solarizado	Carbonizada la CAN y después se realizó la mezcla con el C sin carbonizar
6	CA 50 % + C 50 % (PosB): Mezcla del 50 % de carboncillo de arroz y 50 % de compost solarizado	Carbonizada la CAN y después se realizó la mezcla con el C sin carbonizar
7	CA 75 % + SR 25 % (PosB): Mezcla del 75 % de carboncillo de arroz y 25 % de sustrato residual	Carbonizada la CAN y después se realizó la mezcla con el SR sin carbonizar
8	CA 50 % + SR 50 % (PosB): Mezcla del 50 % de carboncillo de arroz y 50 % de sustrato residual	Carbonizada la CAN y después se realizó la mezcla con el SR sin carbonizar
9	100 % carboncillo de arroz	
10	100 % turba rubia	
11	100 % compost solarizado	
12	100 % sustrato residual	

Tabla 2. Detalles sobre volúmenes de materiales, tiempo de pirólisis y rendimiento de la CAN y de las mezclas evaluadas en el estudio de sustratos para la obtención de plántulas de tomate (*S. lycopersicum*) con buen desarrollo y menor afectación por damping off, en el Módulo de Casas de Cultivo “La Magela”, Quivicán, Cuba. / Details on volumes of materials, pyrolysis time and yield, of the CAN and the mixtures evaluated, in the study of substrates, to obtain tomato seedlings (*S. lycopersicum*) with good development and less affectation by damping off in the “La Magela” Farm House Module, Quivicán, Cuba.

Sustratos.	CAN 100 %	CAN 75% y C o SR 25 %	CAN 50 % y C o SR 50 %
Número de carretillas de sustrato sin pirolizar	48 de CAN	36 de CAN y 12 de C o SR	24 de CAN y 24 de C o SR
Volumen (m ³)	4,56 de CAN	3,42 de CAN y 1,14 de C o SR	2,28 de CAN y 2,28 de C o SR
Horas necesarias para la carbonización	21	27	43
Número de carretillas de sustrato obtenidas	27	32	35
Volumen (m ³)	2,56	3,04	3,32
Rendimiento (%)	56,25	66,66	72,91

VARIABLES EVALUADAS

Porcentaje de germinación

Se determinó a los diez días después de la siembra, en las bandejas donde se depositó una semilla por alveólo. Se consideraron como plantas germinadas, las posturas que tenían las dos hojas de los cotiledones abiertas, erectas y bien formadas.

A los 35 días de la siembra, se evaluaron las siguientes variables: **Altura de la plántula** (cm): se midió con una cinta métrica (0,1 mm) la distancia desde la base del tallo (superficie del sustrato) hasta la yema apical de la postura. **Diámetro del tallo** (mm): se midió en la base de las posturas, con la ayuda de un pie de rey. **Numero de hojas** (unidad): se cuantificaron las hojas verdaderas que tenían un largo mayor de

0,5 cm. **Volumen de raíces:** Se introdujeron las raíces de nueve posturas en una probeta con agua, aforada hasta los 15 ml, y se midió el volumen de líquido desplazado. **Integridad del cepellón:** se realizó a través de una evaluación por apreciación visual, sugerida por Alfredo *et al.* (15) y modificada por los autores donde, al sustraer las plántulas, se determinó el estado de integridad del cepellón asignado en cinco categorías, de acuerdo a la integridad del cepellón (Fig. 2). **Número de posturas muertas por damping off:** se realizó un conteo diario de las posturas muertas por esta causa, en cada tratamiento.

Se empleó un diseño experimental, completamente aleatorizado, con tres repeticiones y los doce tratamientos antes referidos. El experimento tuvo 36 bandejas en total; cada unidad experimental estuvo constituida por una bandeja, de la cual se tomaron nueve

posturas ubicadas en el centro de la misma para realizar las evaluaciones. El ensayo se repitió dos veces.

Análisis estadístico

Las variables: número de posturas germinadas, altura de las posturas, diámetro del tallo, número de hojas, volumen de las raíces e integridad del cepellón; para su análisis, se utilizó el programa estadístico Infostat (versión libre, <http://www.infostat.com.ar>) para realizar análisis de varianza (ANOVA) de las variables de respuesta del experimento; donde hubo significación estadística se procedió a realizar la prueba de Tukey. Se realizó un análisis de correlación y de regresión lineal para determinar la relación entre las variables, volumen de las raíces e integridad del cepellón.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de germinación

Las semillas de hortalizas germinan entre los 3 y 5 días, a temperaturas óptimas del sustrato/suelo de 20-30°C (16); por tanto, la decisión de evaluar el

porcentaje de germinación a los 10 días, ofreció la posibilidad de que germinara la mayor cantidad de semillas por tratamiento.

Los tratamientos donde los sustratos se mezclaron antes de carbonizarse, lograron mejores valores de porcentaje de germinación (hasta 90 %) difiriendo, de forma significativa, de aquellos que poseían sustratos reciclados, que no se carbonizaron. Se destacó, por presentar el menor porcentaje de germinación (< 50 %) el sustrato donde se mezcló carboncillo y sustrato residual (50:50 %) y no se carbonizó el sustrato residual, sin diferir con el sustrato residual (100 %) por su parte, el tratamiento testigo (turba rubia) no estuvo entre los que alcanzaron mejor germinación. (Fig. 3).

Rodríguez y González (17) evaluaron el uso de carboncillo en diferentes proporciones, como sustratos para semilleros en una cooperativa urbana en La Habana, y determinaron que la mezcla de carboncillo: humus: compost (25: 50: 25 %) fue la óptima para el desarrollo de plántulas de lechuga donde, incluso, se



Figura 2. Imágenes correspondientes a la escala establecida por los autores para evaluar la integridad del cepellón, expresado en porcentaje (%) y su correspondiente valoración cualitativa (categoría) / Images established by the authors that correspond to the scale to evaluate the integrity of the root ball expressed in percentage (%) and its corresponding qualitative assessment (category)

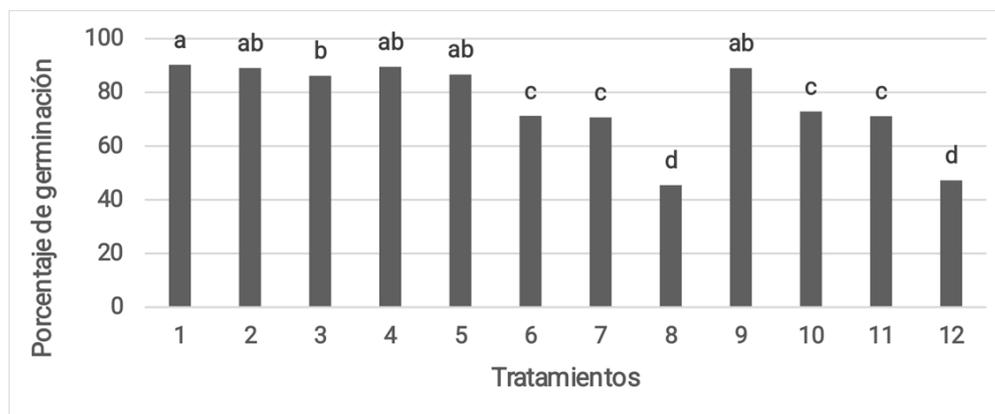


Figura 3. Porcentaje de germinación de las semillas de tomate cv 'Elbita' en diferentes tratamientos donde se combinaron carboncillo y compost, que se sometieron o no a solarización y / o carbonización / Germination percentage of tomato cv 'Elbita' in different substrates, where rice husk biochar and compost were combined and subjected or not to solarization and / or carbonization. (Letras diferentes expresan diferencias significativas según Tukey al 95 % de confianza (ES: 2,59; CV: 20,57 %))

constató en observaciones que la germinación fue mejor. El tratamiento con el uso exclusivo de carboncillo no ofreció buenos resultados.

Por su parte, en el caso de la turba, material sugerido en la tecnología de casas de cultivo en Cuba para la obtención de posturas (1) se informó que presentó el porcentaje de germinación más bajo, en un estudio de sustratos donde se incluyeron compost y carbón vegetal, entre otros (15).

Altura de la plántula, Diámetro del tallo y Número de hojas

Las posturas de la mayoría de los tratamientos, alcanzaron una altura por encima del valor establecido de 15 cm para el trasplante (1); destacándose tres tratamientos, donde las plántulas tenían más de 25 cm (Tabla 3). Este crecimiento pudo estar relacionado al hecho de que se excedió en 5 días el ciclo en el semillero, que debe ser de 30 días. Los tratamientos 9, 11 y 12, con los sustratos 100 % puros y la turba, exhibieron los valores menores en cuanto a la altura de las plantas. Los tratamientos con más de 75% de carboncillo alcanzaron los mayores valores en altura, excepto el tratamiento CA 75 % + SR 25 % (PosB) que tuvo alta afectación por damping off.

Debe destacarse, que los tratamientos con sustratos 100% puros mostraron el diámetro de tallo más pequeño, no sobrepasaron los 4 mm, al igual que los tratamientos que tenían SR sin carbonizar. Al respecto, señalaron Nava *et al.* (18) que cuando utilizaron 100 % vermicompost, los tallos tuvieron diámetro < 4 mm. Según Kämpf (19) alcanzar mayor grosor de tallo es indicativo del estado vigoroso de la plántula, mostrando fortaleza y resistencia al ser trasplantada.

Los tratamientos con más de 75 % de CA, alcanzaron valores de grosor del tallo > 4 mm, excepto el tratamiento CA 75%+SR 25% (PosB) que estuvo afectado por damping off.

Solo los tratamientos con SR sin carbonizar y la turba rubia, mostraron posturas con un número de hojas por debajo de 5. Una postura de tomate debe tener entre 4 y 5 hojas (1). De León *et al.* (20) lograron pilones de tomate con una calidad superior a los obtenidos en turba rubia (peat moss) y con una mayor rentabilidad económica.

Volumen de raíces e integridad del cepellón

La calidad de la postura está relacionada, en buena medida, con la calidad del sustrato y con la cantidad de raíces de la misma, ambos forman un agregado nombrado cepellón (adobe en otras regiones), este último (Fig. 4) debe mantenerse íntegro durante la extracción de la bandeja y traslado hacia el campo, lo cual facilita la recuperación de la postura después del trasplante, de esto depende su calidad.

Los tratamientos con SR, sin carbonizar, tuvieron un cepellón poco íntegro (Fig. 5) y un bajo volumen de raíces (Fig. 6). Se observa que el cepellón la turba rubia fue el más íntegro, a pesar de no estar entre los sustratos que tuvieron el más alto volumen de raíces. (Fig. 6)

Según la definición de Triola (21) existe una correlación positiva y alta (0,72) entre las variables volumen de las raíces e integridad del cepellón, lo cual indica que existe una relación positiva entre ambas variables y un coeficiente de determinación (R^2) de 0,52, que nos dice que la variable integridad del cepellón depende en un 52 % del volumen de raíces. (Fig. 7)

Tabla 3. Parámetros de crecimiento de plántulas de tomate cv 'Elbita' en diferentes tratamientos, donde se combinaron carboncillo y compost, y se sometieron o no a solarización y/o carbonización. / Growth parameters of tomato seedlings cv 'Elbita' in different substrates, where rice husk biochar and compost were combined and subjected or not to solarization and/or carbonization.

Tratamientos	Altura de la postura	Diámetro del tallo	No. de hojas
CAN 75%-C 25% PreB	27,56 a	4,15 abcd	5,67 a
CAN 50%-C 50% PreB	19,55 c	3,83 abcd	5,44 ab
CAN 75%-SR 25% PreB	25,67 ab	4,19 abc	5,33 ab
CAN 50%-SR 50% PreB	21,22 bc	4,39 ab	5,56 ab
CA 75%-C 25% PosB	27,44 a	4,22 abc	5,22 abc
CA 50%-C 50% PosB	19,33 c	4,41 a	5,11 abcd
CA 75%-SR 25 PosB	18,22 c	3,72 abcd	4,33 cde
CA 50%-SR 50% PosB	17,78 cd	3,51 cd	4,00 e
CA 100%	16,89 cde	3,67 bcd	5,61 a
T 100%	11,11 a	3,66 cd	4,67 bcde
C 100%	12,22 de	3,73 abcd	5,17 abc
SR 100%	17,69 cd	3,45 d	4,22 de
ESX	0,89	0,06	0,10
CV	28,56	9,98	12,43

Letras diferentes expresan diferencias significativas, según Tukey al 95 % de confianza



Figura 4. Posturas de tomate mostrando cepellones íntegros obtenidos en bandejas multi-celdas con sustrato compuesto por biocarbón de cáscara de arroz y compost /Tomato seedlings showing intact root balls obtained in multi-cell trays with substrate composed of rice husk biochar and compost

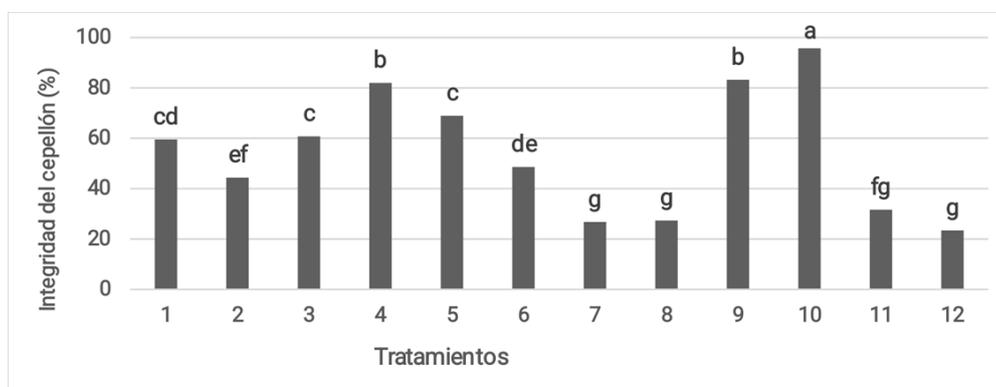


Figura 5. Integridad del cepellón de las plántulas obtenidas en bandejas multi-celdas con sustrato compuesto por biocarbón de cáscara de arroz y compost o sustrato recuperado / Root ball integrity of seedlings obtained in multi-cell trays with substrate composed of rice husk biochar and compost or recovered substrate (Letras diferentes expresan diferencias significativas según Tukey al 95% de confianza. ES: 0,37; CV: 44,88 %)

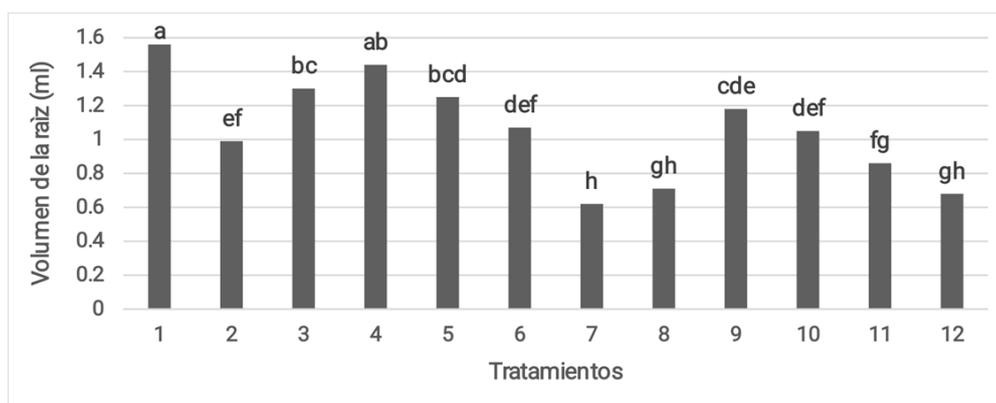


Figura 6. Volumen de raíces de las plántulas obtenidas en bandejas multi-celdas con sustrato compuesto por biocarbón de cáscara de arroz y compost o sustrato recuperado / Root volume of seedlings obtained in multi-cell trays with substrate composed of rice husk biochar and compost or recover substrat (Letras diferentes expresan diferencias significativas según Tukey al 95% de confianza. ES: 0,05; CV: 29,73 %)

Número de posturas muertas por damping off

Los tratamientos con SR sin carbonizar, estuvieron muy afectados por damping off con diferencias significativas respecto al resto (Fig. 9); mientras que,

cuando se utilizó SR y se sometió al proceso de pirólisis, no se produjeron daños de importancia por esta enfermedad. (Fig. 8). El sustrato residual, tal como se comentó antes, provenía de lotes de plántulas desechados por afectación de damping off; al no someter este

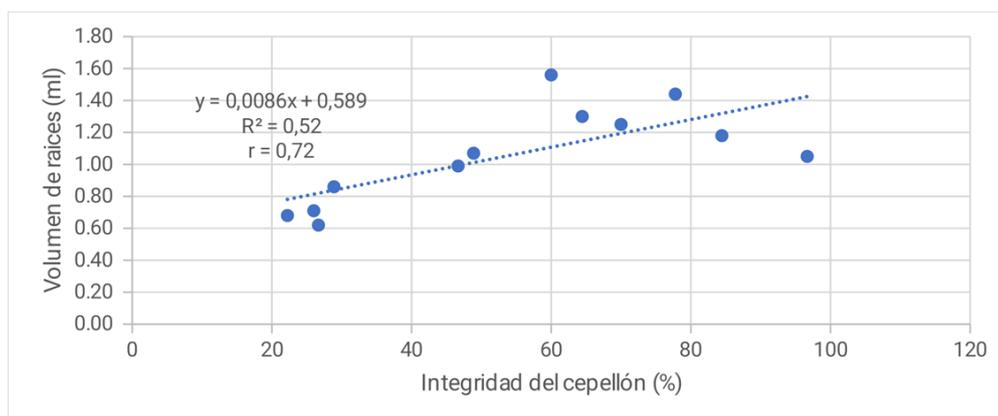


Figura 7. Correlación entre las variables volumen de raíces e Integridad del cepellón de las plántulas obtenidas en bandejas multi-celdas con sustrato compuesto por biocarbón de cáscara de arroz y compost o sustrato recuperado / Correlation between the variables root volume and integrity of the root ball of the seedlings obtained in multi-cell trays with substrate composed of rice husk biochar and compost or recovered substrate



Figura 8. Plántulas exhibiendo el síntoma típico de damping off en semilleros de tomate / Seedlings exhibiting the typical symptom of damping off in tomato seedbeds

sustrato a pirólisis es posible la contaminación por hongos, presentes en los tratamientos que recibieron el SR sin desinfectar a través de la pirólisis.

Los daños por damping off se presentan de diversas formas. Aparece desde la germinación hasta alrededor de seis semanas posteriores a ésta; incluye afectaciones a las semillas y raíces, pero lo que más se reconoce, es el daño al cuello del tallo, ya que la plántula se dobla y cae. En el caso de las afectaciones a las semillas, estas se vuelven blandas, podridas y no germinan; mientras que, cuando se presenta en los tallos, las lesiones se oscurecen de marrón-rojizo hasta negro, las plantas se marchitan y mueren. Aunque factores abióticos pueden dar lugar a síntomas semejantes y la muerte de las plantas, al *damping off* se asocian, generalmente, los hongos *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Pythium* spp., y *Phytophthora* spp. (22).

Según Saldaña *et al.* (23) la eliminación de los sustratos al final del cultivo es una amenaza potencial

para el ambiente. Para disminuir los efectos negativos, está la alternativa de reutilizar los sustratos durante varios ciclos, lo cual no daña los cultivos y aumenta la rentabilidad del material.

Los sustratos son materiales orgánicos o inorgánicos, distintos al suelo, utilizados como soporte en la producción de plántulas con cepellones. Generalmente, se emplean mezclados, y su uso tiene como objetivo evitar el empleo directo del suelo para atenuar los problemas físicos, químicos y sanitarios que pueden afectar la germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas. La calidad del sustrato elegido, es el principal factor de éxito de esta técnica. Además de servir como soporte a la plántula, suministra a las raíces cantidades equilibradas de aire, agua y nutrientes (1)

Las cáscara de arroz se obtiene en el proceso industrial, donde se separa la cáscara del grano seco por medios mecánicos. Se considera que la cantidad

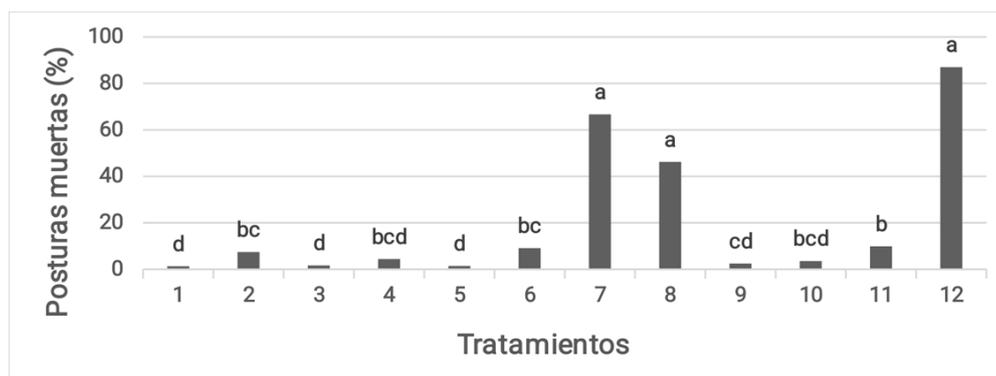


Figura 9. Posturas muertas por damping off en tratamientos con mezclas de biocarbón de cáscara de arroz y compost o sustrato recuperado, carbonizados en diferentes momentos /Dead seedlings due to damping off in treatments with rice husk and compost biochar mixtures or recovered substrate, carbonized at different times (Letras diferentes expresan diferencias significativas según Tukey al 95 % de confianza (ES: 4,83; CV: 132,99 %))

de cáscara que se obtiene es el 22 % del arroz que entra al molino (24). El uso de cáscara de arroz carbonizada se generalizó en diversas partes del mundo para la obtención de plántulas, contribuyendo al reciclaje de los desechos de esta agroindustria. En Cuba, se informó que el uso del carboncillo de arroz mezclado con humus y compost, ofrecía posturas de buena calidad (17).

Los resultados de este estudio muestran que el método de pirólisis empleado en el semillero “La Magela”, permite reutilizar los sustratos residuales de forma segura, sin daño a los cultivos y permitiendo producir más de 10 millones de plántulas de alta calidad cada año, lo cual es reconocido por los agricultores que lo aplican en la provincia Mayabeque, Cuba.

CONCLUSIONES

- Los sustratos con 75 y 50% de carboncillo de arroz, mezclados con 25 y 50% de compost o sustrato residual, respectivamente, carbonizados todos después de mezclados, logran posturas con mayor calidad, respecto a los sustratos 100% puros.
- Los residuos de sustratos infectados con patógenos, se pueden transformar en sustratos inocuos y reutilizarlos en la producción de plántulas, siempre que se sometan a un proceso eficaz de pirólisis, como el empleado en el semillero La Magela.

AGRADECIMIENTOS

A Pedro Giglio (Pedro el argentino) quien estimuló el uso del carboncillo de arroz en la producción de plántulas en Cuba, y nos transmitió su experiencia en el manejo de los semilleros hortícolas. A las Doctoras Mayra Guadalupe Rodríguez Hernández e Ilenana Miranda Cabrera, por su revisión del trabajo y valiosas sugerencias. A la Dra. Dainé Hernández Ochandía, por su colaboración en la determinación de parámetros como pH, CE y REDOX del biocarbón. Este trabajo se

realizó en el marco del Proyecto BioC (*Re-cycling of biomass nutrients and carbon for advanced organic fertilization in an ecosmart and climate positive agriculture on Cuba* (Bio-C) con financiamiento de SNSF, Suiza; FONCI y Programa Sectorial de Salud Animal y Vegetal, Cuba.

REFERENCIAS

1. Casanova Morales AS, Hernández Salgado JC (Eds). Manual práctico para la producción protegida de hortalizas en Cuba. 2023. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”-Grupo Agrícola_PNUD, Cuba. 256 pp. ISBN: 978-959-7111-71-9. Disponible en: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-08/PNUD-Cuba-manual-hortalizas-protogada.pdf>. Acceso: 3/11/23
2. Schales FD. Growing Vegetable Transplants: Lights, Containers, Media, Seed. Pp 111-117. En US Government Printing Office. 1977. Department of Agriculture (Ed). Yearbook of Agriculture, Gardening/or Food and Fun. ISBN-13. 978-9997389497.
3. Ortega Martínez LD, Sánchez Olarte J, Díaz Ruiz R, Ocampo Mendoza J. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Ra Ximhai. 2010; 6(3): 365-372.
4. Costa E, Leal PAM, Bennett CGS, Bennett KSS, Salamene LCP. Production of tomato seedlings using different substrates and trays in three protected environments. Eng. Agríc., Jaboticabal. 2012; 32 (5): 822-830.
5. Souza CO, Passos RR, Gonçalves EO, Oliveira E. Biochar as substrate conditioner for the production of seedling of native forest species. Research, Society and Development. 2023; 12 (9): e2712943156, 2023. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i9.43156>

6. Alonso López M, Arteaga Crespo Y, Geada López G, García Quintana Y, Carballo Abreu L, Castillo Martínez I. Características de sustratos orgánicos acondicionados con biocarbón. Influencia en la calidad de plantas de *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell cultivada en tubetes. Revista Cubana de Ciencias Forestales. 2015; 3 (1) Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/96/268>.
7. Martínez F, García C. Abonos orgánicos. En Funes Aguilar F, Vázquez Moreno LL (Eds). pp. Avances de la agroecología en Cuba. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Cuba. 2016. Pp 109- 122. ISBN: 978-959-7138-21-1
8. Inserra RN, Ozores-Hampton M., Schubert TS, Stanley JD, Brodie MW, O'Bannon JH. Guidelines for Compost Sanitation. Proceedings Soil and Crop Science Society of Florida. 2006; 65: 31- 37. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/255576746>. Acceso: 26 marzo 2023
9. Ayoub I, Bigatton ED, Ortiz D, Archilla MV, Lucini EI, Vázquez C, Moreno MV. Effects of solarization on the biological and chemical properties of a substrate. AGRISCIENTIA. 2023; 40: 101-109. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v40.n1.40311>
10. McGovern RJ, McSorley R. Physical methods of soil sterilization for disease management including soil solarization. En Rechcigl NA, Rechcigl JE (Eds). Environmentally Safe Approaches to Crop Disease Control. Chapte 12. (283-314). 1997. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351071826-17>. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/261551106_Physical_Methods_of_Soil_Sterilization_for_Disease_Management_Including_Soil_Solarization. Acceso 26 marzo 2023
11. Al-Shammary AAG, Kouzani A, Gyasi-Agyei Y, Gates W, Rodrigo-Comino J. Effects of solarisation on soil thermal-physical properties under different soil treatments: A review. Geoderma. 2020; 363: 114-137. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114137>
12. Pokhrel M. Damping off in vegetable nurseries. FACTSHEETS FOR FARMERS. 2012. Plantwise. NP006En. CABI: disponible en: www.planwise.org
13. Van Hoof B, Núñez G, de Miguel C. Metodología para la evaluación de avances en la economía circular en los sectores productivos de América Latina y el Caribe. Serie Desarrollo Productivo, N° 229 (LC/TS.2022/83). 2022. 68 pp. Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47975-metodologia-la-evaluacion-avances-la-economia-circular-sector-productivos> Acceso 11/09/2023
14. Alvarez Gil M, Martínez Zubiaur Y, Carabeo JA, Florido BM, Dueñas Hurtado F. 'Elbita': variedad de tomate resistente a Begomovirus para condiciones tropicales. Cultivos Tropicales. 2018; 39 (3): 91.
15. Alfredo Orozco L, Pérez Monzón FR, Angel Castillo GI. Sustratos locales para la producción de pilones de tomate (*Solanum lycopersicum* L), en dos localidades del departamento de San Marcos. Informe final de proyecto CRIA Occidente. 2019. Cadena de Tomate. Disponible en: http://cunori.edu.gt/descargas/CRIA-INFORME_Pdf_FINAL_SUSTRATO-.pdf Acceso 30/03/2023
16. Lin Li, Luther GC, Hanson P. Raising healthy tomato seedlings. 2015. AVRDC - The World Vegetable Center publication #15-795. 15 pp. ISBN 92-9058-211-1
17. Rodríguez Hernández MG, González Fuentes E. Biocarbón enriquecido con humus y compost como sustrato para la producción de plántulas de hortalizas. Boletín Electrónico INIVIT. 2022; 12 (1): 5. Disponible en: http://www.inivit.cu/images/banners/Boletin_INIVIT_1_2022.pdf Acceso 27/03/2023
18. Nava Pérez E, Valenzuela Quiñonez W, Rodríguez Quiroz G. Vermicompost as a substitute substrate in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) germination. Agrociencia. 2019; 53(6): 869-880.
19. Kämpf AN. Substratos hortícolas: Turfa e casca de arroz. Lavoura Arrozeira. 1993; 46(409): 12-13.
20. De León Díaz M, Pérez Monzón F, Velásquez Godínez D. Validación del rendimiento del cultivo de tomate, utilizando pilones elaborados con sustratos locales, altiplano Occidental, guatemalteco. Informe final de proyecto CRIA Occidente. Cadena de Tomate. 2020. Disponible en: <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/8%20TOMATE%20OCCIDENTE/Validaci%C3%B3n%20Sustratos-CUSAM-M%20D%C3%ADaz/Sustratos.pdf>
21. Triola MF. Estadística. 2018. Pearson Educación de México, S.A. de C.V. Decimosegunda edición. 784 pp. ISBN: 978-607-32-4378-0.
22. Lamichhane JR, Dürr C, Schwanck AA, Robin MH, Sarthou JP, Cellier V, et al. Integrated management of damping-off diseases. A review. Agron. Sustain. Dev. 2017; 37: 10. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0417-y>
23. Saldaña Yangüez E, Pineda Pineda J, Rivera Del Río R, Vargas Hernández M, Avitia García E.

Variación en propiedades físicas en sustratos reutilizados en el cultivo de Fresa. I Congresso Luso-Brasileiro de Horticultura | Sessão Horticultura Herbácea (Olericultura). 29 Actas Portuguesas de Horticultura | 1ª Edição. 2018. Pp 280-288. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/326173527>

24. Curbelo Alonso A, Valera Sterling E, Milián Pérez D, Damas German C, González Rodríguez A, Rodríguez Rosales A. Atlas de bioenergía. Cuba. Edición 2022. Proyecto Bioenergía. Tecnologías energía limpia para las áreas rurales en Cuba. Cubaenergía. 2022. Editorial Cubaenergía. La Habana, Cuba. 172 pp. ISBN 978-959-7231-19-6.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Julio César Hernández Salgado: **Conceptualización, Análisis formal, Escritura - borrador original, Redacción: revisión y edición.** Olga Nelys O'Reilly Cobas: **Investigación, Supervisión.** Alejandro Hernández O'Reilly: **Curación de datos, Investigación.** Oscar Jesús Acosta Valdivia: **Curación de datos, Investigación**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)