

Artículo científico**INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES EDÁFICAS Y DE PRODUCCIÓN EN LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DEL TILO (*JUSTICIA PECTORALIS* J. VAR. *PECTORALIS*)**

Maite Torres Leblanch, Yakelin Hernández Fundora, Yaisely Orquídea Hernández Fernández, Julio Rodríguez Martínez, Yosney Díaz Miranda, Amarilis Cruz Ortega, María Iluminada Rodríguez García, María Esperanza Álvarez Lora[†], Yurisleisy Duarte Morales y Leonor Pérez Rodríguez

RESUMEN

El objetivo de la investigación consistió en determinar la influencia de las propiedades edáficas y de producción en los componentes del rendimiento del tilo. El mismo se desarrolló en el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La plantación del cultivo se realizó sobre un sustrato compuesto por humus de lombriz y suelo Ferralítico Rojo (proporción 1/1) y este último como testigo, bajo condiciones de organopónico. Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y dos marcos de plantación, bajo el efecto de la sombra y del sol. Las propiedades físicas fueron: densidad aparente y real, humedad natural e higroscópica y porosidad total y las biológicas: la abundancia de la macrofauna y relación detritívoros/no detritívoros; los indicadores fisiológicos del rendimiento: la longitud, el número de ramas y hojas, el rendimiento en kg.m⁻². La densidad real mostró valores entre 2,46-2,48 mg.m⁻³, los cuales se consideran adecuados. Los sustratos reflejaron una buena humedad natural, característica de buenos tenores de materia orgánica, al igual que la humedad higroscópica. El porcentaje de porosidad indicó buenas condiciones de aireación y drenaje (72,98 - 76,71 %). El sustrato cumplió con el suministro de agua y aire, una alta capacidad de retención de agua, unido a un drenaje rápido y una buena aireación, lo que le proporcionó al sustrato una mejor estructura. Se observó una buena abundancia de la macrofauna y fertilidad de acuerdo a la relación detritívoros/no detritívoros, lo cual garantizó el éxito del sistema. Los mayores rendimientos se obtuvieron a la sombra, a la distancia de 10 x 30 cm, tanto en el suelo como en el sustrato, aunque en este último fueron superiores.

Palabras clave: indicadores fisiológicos, macrofauna, sustratos

Influence of edaphic and production conditions on yield components of linden (*Justicia pectoralis* J. var. *pectoralis*).

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the influence of edaphic and production properties on the yield components of the tile. It was developing at Institute for Fundamental Research in Tropical Agriculture

MSc. Maite Torres Leblanch, <https://orcid.org/0000-0003-0660-1862>. Especialista del Departamento de Agricultura Urbana y Manejo Sostenible del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT) MINAG. Calle 188 no. 38754 e/ 397 y Linderos, Santiago de las Vegas, Boyeros. La Habana, Cuba. E-mail: agroquim@inifat.co.cu

"Alejandro de Humboldt" (INIFAT). The planting of the crop was carried out on a substrate composed of earthworm humus and Red Ferralitic soil (proportion 1/1) and the latter as a control, under organoponic conditions. A randomized block design with three replications and two planting frames was used, under the effect of shade and sun. The physical properties were: apparent and real density, natural and hygroscopic moisture and total porosity and the biological ones: the abundance of the macrofauna and the ratio of detritivores/non-detritivores; physiological indicators of yield: length, number of branches and leaves, yield in kg.m⁻². The real density showed values between 2.46-2.48 mg.m⁻³, which are considered adequate. The substrates reflected good natural moisture, characteristic of good contents of organic matter. The same thing happened with hygroscopic moisture. The porosity percentage indicated good aeration and drainage conditions (72.98 - 76.71%). The substrate complied with water and air supply, high water holding capacity, coupled with fast drainage and good aeration, which gave the substrate a better structure. A good abundance of macrofauna and fertility were observed according to the detritivore/non-detritivore ratio; which guaranteed the success of the system. The highest yields there obtained in the shade, at a distance of 10 x 30 cm, both on the ground and on the substrate, but in the last it was higher.

Key words: physiologic indicators, macrofauna, substrate

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones científicas relacionadas con las plantas medicinales contribuyen decisivamente al desarrollo de nuevos medicamentos, los cuales pasan a formar parte del arsenal terapéutico para el tratamiento de diversas enfermedades. Muchos de estos estudios tienen su origen a partir del uso popular que le confiere la población, los que resultan muy diversos y variables (Padró *et al.*, 2017).

Cuba posee una rica flora y una valiosa tradición en el uso de las plantas medicinales (Vega *et al.*, 2019). En tal sentido, se realizan investigaciones que permiten evaluar científicamente el uso de los productos naturales. El tilo (*Justicia pectoralis* J. (Acanthaceae) es una de las 260 000 especies de plantas medicinales conocidas y en Cuba, existen dos variedades, *stenophylla* Leonard y *pectoralis*; siendo esta última, la autorizada por el Ministerio de Salud Pública (MINSAP) para la elaboración de fitofármacos.

La identificación de la riqueza taxonómica de la fauna edáfica y de los organismos que la componen, permite determinar la diversidad de especies, con sus funciones específicas y

repercusión dentro del medio, así como, valorar el estado de salud o deterioro de un sistema (Kamau *et al.*, 2017). Estos grupos de la fauna edáfica son susceptibles a los cambios del medio y guardan relación con algunos atributos físicos y químicos del suelo, por lo que se considera a la macrofauna edáfica como un bioindicador de la estabilidad y la fertilidad del suelo, por su simplicidad y bajo costo (Velasquez y Lavelle, 2019), a la vez que refleja el estado de degradación de los suelos (Mancilla *et al.*, 2017).

Por otra parte, las condiciones físicas en las que se encuentran los suelos y sustratos resultan vitales para los cultivos, ya que según las características físicas será la respuesta de la productividad y el rendimiento del cultivo.

Vega *et al.* (2019) refieren que el rendimiento productivo del tilo debe estar entre 0,4 y 1 kg.m⁻² sobre suelos. Sin embargo, el Programa Nacional del Ministerio de la Agricultura de Plantas Medicinales, ha identificado, que ésta es una de las especies que no alcanzan su máximo potencial productivo.

El empleo de sustratos podría ser una alternativa viable para incrementar los rendimientos en el cultivo del tilo, dada esta problemática (Raviv y Heinrick, 2019).

Por tanto, el objetivo de la investigación consistió en evaluar las condiciones edáficas y de producción en los suelos y sustratos, a fin de determinar su influencia en los componentes del rendimiento del tilo (*Justicia pectoralis* J. var. *pectoralis*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio edáfico

La investigación se estableció en un área experimental del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La plantación

del cultivo se realizó sobre un sustrato orgánico compuesto por humus de lombriz y suelo Ferralítico Rojo (proporción 1/1), según GNAU (2011) y como testigo un suelo Ferralítico Rojo, los cuales se depositaron en contenedores de poliespuma.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres réplicas por tratamiento y dos marcos de plantación, los cuales se evaluaron bajo el efecto de la sombra (malla negra de sombreo al 30 %) y cielo abierto (al sol). Las variantes experimentales evaluadas se relacionan en la Tabla 1.

Propiedades físicas del sustrato

Los análisis físicos de los sustratos se realizaron según la Norma Ramal NARG 128 del 2009 (Tabla 2).

Tabla 1. Condiciones experimentales.

Tratamiento	Marco de siembra (cm)	Condiciones
Tratamiento 1	10 x 20	Sombra/sustrato
Tratamiento 2	10 x 30	
Tratamiento 3	10 x 20	Sol/sustrato
Tratamiento 4	10 x 30	
Tratamiento 5	10 x 20	Sombra/suelo
Tratamiento 6	10 x 30	
Tratamiento 7	10 x 20	Sol/suelo
Tratamiento 8	10 x 30	

Tabla 2. Indicadores físicos del sustrato y metodologías empleadas.

Análisis	Métodos	Unidad de medida
Humedad natural (W_N)	Gravimétrico (105°C)	%
Humedad higroscópica (W_H)	Gravimétrico (105°C)	%
Densidad aparente (D_a)	Cilindros (336 cm ³)	mg.m ⁻³
Densidad real (p_s)	Picnómetros (50 cm ³)	mg.m ⁻³
Porosidad total (P_t)	1- D_a/p_s x 100 (cálculos)	%

Propiedades biológicas

Los indicadores biológicos empleados fueron la abundancia de la macrofauna y la relación Detritívoros/No detritívoros. Este último es muy

valioso para evaluar el estado de deterioro de los suelos y sustratos, utilizado en Cuba en estudios anteriores realizados por Cabrera (2019).

La prevalencia de detritívoros sobre no detritívoros como componentes en la relación, indicará sistemas con mejores condiciones edáficas de fertilidad y menor degradación. Un resultado inverso explicará sistemas con menor calidad edáfica.

Durante el desarrollo del experimento se efectuaron escardas según las necesidades del cultivo y se mantuvo la humedad de los canteros por el riego con mangueras. También se efectuaron observaciones para detectar la presencia de plagas.

Crecimiento y desarrollo

La caracterización morfológica de la especie se realizó a través de la determinación de diferentes indicadores fisiológicos, para ello se tomó una muestra aleatoria de 10 plantas por tratamiento y las variables evaluadas fueron las siguientes:

- ✓ Longitud: se determinó midiendo con una regla graduada desde el cuello de la raíz hasta la yema terminal de la planta (cm).
- ✓ Número de ramas: se determinó mediante conteo directo.
- ✓ Número de hojas: se determinó mediante conteo directo.
- ✓ Rendimiento en kg.m^{-2}

En los análisis físicos se determinaron los estadígrafos descriptivos de error de la media, desviación típica y el coeficiente de variación. En el caso de los análisis biológicos se empleó como bioindicador la abundancia de la macrofauna edáfica y relación detritívoros/no detritívoros, para ello se utilizó la metodología propuesta por el Programa Internacional “Biología y Fertilidad del Suelo Tropical” (TSBF), según Anderson e Ingram (1993). Los organismos fueron identificados a partir de la consulta de claves (Ruiz *et al.*, 2008).

Para el análisis de varianza se utilizó el Anova de un factor y para determinar las diferencias significativas entre tratamientos se empleó la

Prueba de Tukey $P < 0,05$. Para ambos análisis se empleó el paquete estadístico SPSS para Microsoft Windows versión 12.1 del 2004.

El procesamiento estadístico de los datos de crecimiento y desarrollo se realizaron mediante un diseño trifactorial, a través del diagrama de Pareto mediante el paquete estadístico Statgraphics Plus para Microsoft Windows versión 5.0 del 2000.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas

Los resultados obtenidos sobre el análisis de las propiedades físicas del sustrato se muestran en la Tabla 3. Los mismos se realizaron a partir de un muestreo previo a la siembra.

El valor de la densidad aparente del suelo o sustrato es utilizado como indicador de calidad, con lo que se puede determinar alteraciones producidas por las actividades antrópicas, puede indicar además el grado de compactación y las limitaciones para el crecimiento de las raíces (Calderón *et al.*, 2018). En este caso los valores que se muestran son aptos para sustratos bien preparados, lo que permite el adecuado desarrollo radicular del cultivo al ser livianos. Es indicativo, además, de buenos tenores de materia orgánica lo que favorece el desarrollo de una cobertura vegetal estable. Cabe acotar que mientras más baja es la densidad aparente mayor es el contenido de materia orgánica (Jackson *et al.*, 2017).

La densidad real (ρ_s) como indicador de la naturaleza orgánica de esta fracción en el sustrato, está determinada por la mineralogía y composición química de la fase sólida del suelo, mostró valores entre (2,46-2,48 mg.m^{-3}), por encima del valor óptimo recomendado para sustratos sin mezclar (1,5 mg.m^{-3}), pero bueno para sustratos mezclados con suelo.

El sustrato reveló una buena humedad natural, característica de buenos tenores de materia

orgánica que permiten la conservación de esta. Lo mismo ocurrió con la humedad higroscópica, variable que muestra el agua retenida fuertemente en los poros más pequeños. Estos

resultados mostraron la alta capacidad del sustrato para retener el agua y concuerda con lo reportado por Castro *et al.* (2019) para sustratos orgánicos.

Tabla 3. Valores de los Indicadores evaluados en el sustrato suelo Ferralítico Rojo/humus de lombriz (1/1), con el cultivo del tilo.

Indicadores Físicos	Sustrato			Estadígrafos Descriptivos			
	I	II	III	x	Ex	Desv. típ	CV
Da (Mg.m ⁻³)	0,5734	0,6725	0,6194	0,6217	0,0286	0,0495	0,002
W _N (%)	48,17	47,18	49,17	48,17	0,57	0,99	0,99
W _H (%)	11,4405	11,4827	11,5275	11,4835	0,0251	0,04350	0,002
ps (Mg.m ⁻³)	2,4625	2,4885	2,4673	2,4727	0,0079	0,01383	0,000
Pt (%)	76,71	72,98	74,90	74,86	1,07	1,86	3,47

Densidad aparente (Da), Humedad natural (W_N). Humedad higroscópica (W_H), Densidad real (ps), Porosidad total (Pt).

La porosidad total (Pt) representa el porcentaje del volumen de suelo que no se encuentra ocupado por sólidos y está constituido aproximadamente del 50 % por materiales sólidos y el otro 50 % por espacio poroso, donde nutrientes, aire, gases y agua pueden circular. El porcentaje de porosidad indicó adecuadas condiciones de aireación (72,98 - 76,71 %); lo que evita condiciones anaeróbicas en el mismo, que resultan fatales para el cultivo y permiten una buena circulación de oxígeno.

Una buena humedad y porosidad favorecen la actividad microbiana de la fauna edáfica. Los sustratos orgánicos deben poseer una porosidad entre 70-85 % para cumplir con el suministro de agua y aire, alta capacidad de retención de agua, unido a un drenaje rápido y una aireación entre 10 y 30 %.

Se resalta de esta manera, la necesidad de obtener mezclas de sustratos de bajas densidades y elevadas porosidades (López *et al.*, 2017), para favorecer la aireación, la

retención de humedad, una mejor estructura, que sean más ligeros y que garanticen el éxito del sistema.

Propiedades biológicas

Los resultados de la macrofauna edáfica identificada en cada tratamiento y su abundancia total se observan en la Tabla 4. Se observa que los grupos aparecieron indistintamente en los diferentes tratamientos. Las lombrices colectadas se encontraron en estado juvenil, por lo que no fue posible la identificación de las mismas, al no presentar clitelo, papilas genitales y otras estructuras fundamentales para la clasificación taxonómica. Asimismo, no se presentaron en los tratamientos T7 y T8, ambos en suelo al sol y con las dos distancias de siembra. Esta situación pudo estar determinada por el menor contenido de materia orgánica y humedad en estos tratamientos, lo que pudo provocar el movimiento de las mismas hacia estratos más profundos en busca de mejores condiciones de hábitat.

Tabla 4. Grupos de la macrofauna edáfica identificados en los diferentes tratamientos.

Grupos de la macrofauna		Tratamientos
Lombrices (Orden Haplotaxida)		T1, T2, T3, T4, T5, T6.
Milpiés (Clase Diplopoda)	Orden Polydesmida	T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8
	Orden Spirobolida	T1, T3, T4, T5, T6, T7, T8
	Orden Polyxenida	T2
Caracoles (Clase Gastropoda, Orden Stylommatophora)		T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8
Cochinillas (Clase Malacostraca, Orden Isopoda)		T1, T2, T3, T5, T6, T7, T8
Ciempiés (Clase Chilopoda, Orden Geophilomorpha)		T2, T7
Hormigas (Clase Insecta, Orden Hymenoptera, Familia Formicidae)		T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8
Arañas (Clase Chelicerata, Orden Araneae)		T2, T4, T6, T7
Larvas (Clase Insecta)	Orden Coleoptera	T8
	Orden Lepidoptera	T2, T4

T1: 10 x 20 cm en sustrato (sombra); T2: 10 x 30 cm en sustrato (sombra); T3: 10 x 20 cm en sustrato (sol); T4: 10 x 30 cm en sustrato (sol); T5: 10 x 20 cm en suelo (sombra); T6: 10 x 30 cm en suelo (sombra); T7: 10 x 20 cm en suelo (sol); T8: 10 x 30 cm en suelo (sol).

Los milpiés aparecieron en todos los tratamientos al igual que los caracoles y las hormigas. Los dos primeros grupos pertenecen al grupo funcional detritívoros de la macrofauna y la presencia de los mismos indica buenas condiciones de humedad y materia orgánica en los sustratos.

Las hormigas son consideradas ingenieras de los ecosistemas por la contribución de éstas a la estructura de los suelos a través de las galerías y movimientos de partículas de suelo por todo el perfil. También se reportan en diferentes ecosistemas desde los áridos, urbanos hasta los bosques, lo que denota la adaptabilidad de este grupo a diversas condiciones del medio edáfico.

La abundancia total de la macrofauna fue mayor en el tratamiento T2 (10x30 cm en sustrato a la sombra) (Figura 1). Este comportamiento pudo estar determinado por el contenido de materia orgánica en el sustrato, superior a la del suelo; el efecto de la malla que reguló la humedad y la temperatura del sustrato, y por la distancia de

siembra (10x30 cm). Además, al ser un sustrato tiene mayor contenido de materia orgánica, la cual constituye una fuente de alimento esencial para muchos grupos de la macrofauna.

El autosombreo creado por la malla favoreció temperaturas más agradables y una mayor humedad; condiciones necesarias para la fauna edáfica. La mayor distancia de plantación (10x30 cm) pudo determinar una mayor disponibilidad de recursos para la macrofauna, como el hábitat y el alimento.

Las propiedades biológicas en el medio edáfico estuvieron determinadas, en gran medida, por las interrelaciones y la competencia que se establece entre los diferentes grupos de la fauna: micro, meso y macrofauna y el sistema radical del cultivo.

Se pudo apreciar, de forma general la mayor abundancia de la macrofauna en los tratamientos a la sombra (T1, T2, T5, T6), que difieren significativamente con los tratamientos al sol (T3, T4, T7 y T8).

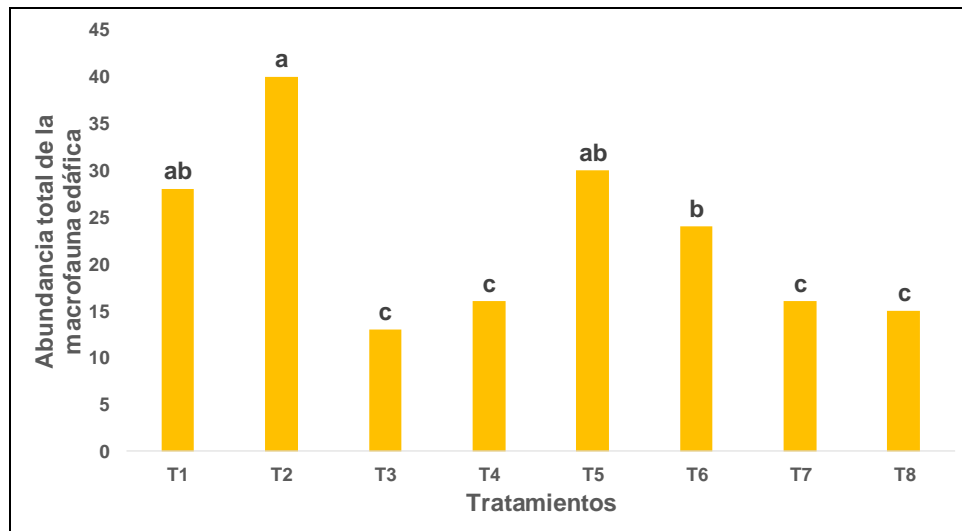


Figura 1. Abundancia total de la macrofauna edáfica en los diferentes tratamientos (T1: 10 x 20 cm en sustrato (sombra); T2: 10 x 30 cm en sustrato (sombra); T3: 10 x 20 cm en sustrato (sol); T4: 10 x 30 cm en sustrato (sol); T5: 10 x 20 cm en suelo (sombra); T6: 10 x 30 cm en suelo (sombra); T7: 10 x 20 cm en suelo (sol); T8: 10 x 30 cm en suelo (sol). Medias con letras iguales en las barras no difieren significativamente para Tukey $P < 0,05$.

Este comportamiento pudo estar dado por las mejores condiciones que ofrecen los sustratos (contenido de materia orgánica) y retención de humedad, lo cual beneficia la proliferación de los grupos faunísticos. En las condiciones tropicales la alta radiación solar degrada la materia orgánica y disminuye la humedad.

En los sustratos tanto a la sombra como al sol, con los dos marcos de plantación (10x20 cm y 10x30 cm), la relación Detritívoros / No detritívoros estuvo por encima de uno, lo que indica que estos fueron preparados con la calidad requerida, y a pesar del tiempo transcurrido, conservan su calidad edáfica.

A pesar de lo anterior, la cobertura del sustrato por el crecimiento del cultivo al sol, hizo que la planta se esparciera de forma rápida y densa por toda la superficie, lo que trajo consigo cierta protección del mismo. Además, favoreció también el desarrollo de los grupos faunísticos al regular la temperatura y la humedad.

En cuanto al cultivo en el sustrato a la sombra, el crecimiento de forma erecta en busca de la luz,

no permitió la rápida cobertura del suelo como en el tratamiento al sol. Sin embargo, el efecto de sombreado por la malla también influyó en el desarrollo del tamaño de las hojas y el indicador detritívoros/no detritívoros de la macrofauna edáfica (Figura 2).

En los tratamientos en suelo, los valores de la relación detritívoros/no detritívoros estuvo próximo a uno, lo que indica la posibilidad de manejos que puedan incidir de forma negativa en la calidad del medio edáfico y por tanto hay que ser cuidadosos con las prácticas que se realicen en el suelo.

En el tratamiento T7 (también en suelo, pero con la distancia 10x20 cm, al sol), el valor del indicador es inferior a uno, lo que ya denota que las propiedades edáficas están más deterioradas con respecto al resto de los tratamientos, por lo que resultan necesarios cambios en el manejo que contribuyan a la mejora y restablecimiento de sus propiedades, dentro de los cuales, la aplicación de materia orgánica es determinante.

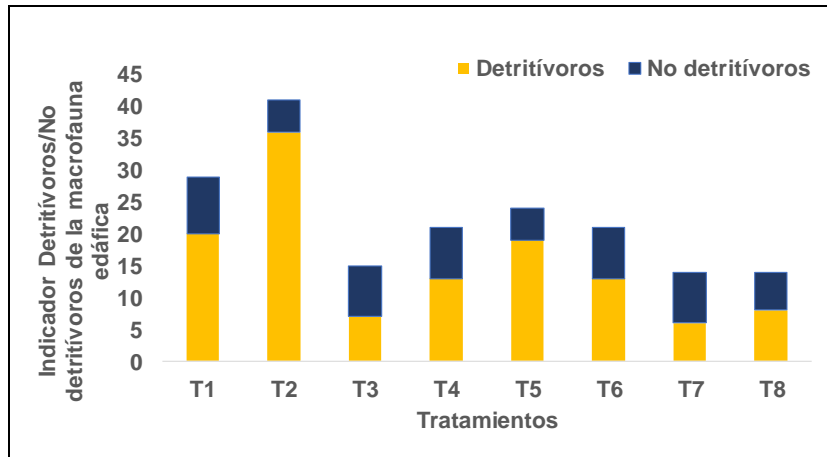


Figura 2. Comportamiento del indicador Detritívoros/No detritívoro de la macrofauna edáfica (T1: 10 x 20 cm en sustrato (sombra); T2: 10 x 30 cm en sustrato (sombra); T3:10 x 20 cm en sustrato (sol); T4:10 x 30 cm en sustrato (sol); T5: 10 x 20 cm en suelo (sombra); T6: 10 x 30 cm en suelo (sombra); T7: 10 x 20 cm en suelo (sol); T8:10 x 30 cm en suelo (sol)).

Componentes del rendimiento

Dentro de los caracteres que influyen sobre la biomasa del tilo se encuentran el número de hojas y ramas por planta y la altura de la misma, por lo que cualquier variación de estos componentes, influyen directamente sobre el rendimiento de la planta.

Según el diagrama de Pareto la única variable que incidió en la longitud de la planta de forma positiva fue la materia orgánica (Figura 3), lo que proporcionó una buena fertilidad, una adecuada densidad aparente y real; además de una porosidad de 70 % y por tanto, una buena relación aire/agua, que le confirió un mayor crecimiento y desarrollo al cultivo.

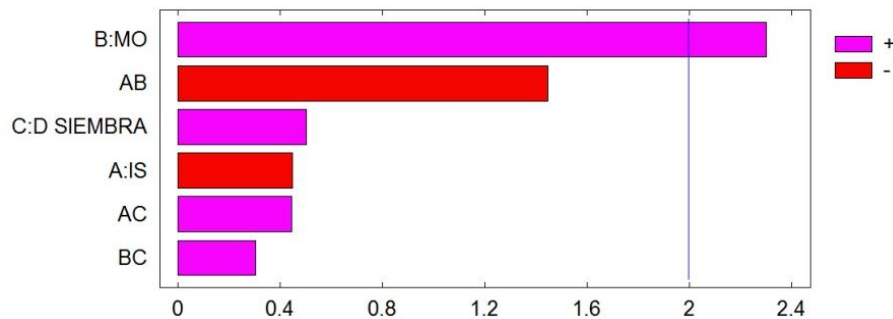


Figura 3. Efecto de las condiciones experimentales sobre la longitud de la planta (A: IS (intensidad solar), B: MO (materia orgánica), C: distancia de siembra; AB: interacción de la MO con la intensidad solar, BC: interacción de la materia orgánica con la distancia de siembra y AC: interacción entre la intensidad solar y la distancia de siembra).

Las variables que incidieron sobre el número de hojas de forma positiva fueron la intensidad solar, la interacción materia orgánica-densidad

de siembra y la materia orgánica, consecutivamente (Figura 4). Esto indicó que en la especie de tilo cuando se emplea tecnología a

cielo abierto (mayor intensidad solar), sobre sustrato y mayor marco de siembra se obtienen un mayor número de hojas. Del mismo modo, disponer de un menor número de plantas por metro cuadrado, facilita la ramificación del tilo.

Por otra parte, la exposición de la planta a una mayor intensidad luminosa facilita el transporte de los fotoasimilados por el efecto de la fotosíntesis, lo que pudiera explicar los resultados (Figuras 4 y 5).

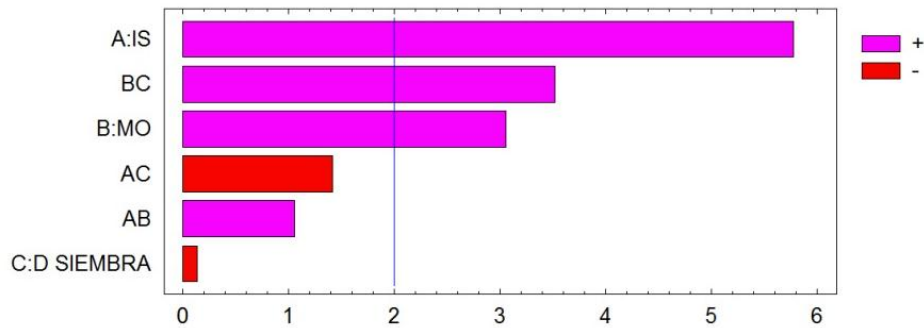


Figura 4. Efecto de las condiciones experimentales sobre el número de hojas (A: IS (intensidad solar), B: MO (materia orgánica), C: distancia de siembra; AB: interacción de la MO con la intensidad solar, BC: interacción de la materia orgánica con la distancia de siembra y AC: interacción entre la intensidad solar y la distancia de siembra).

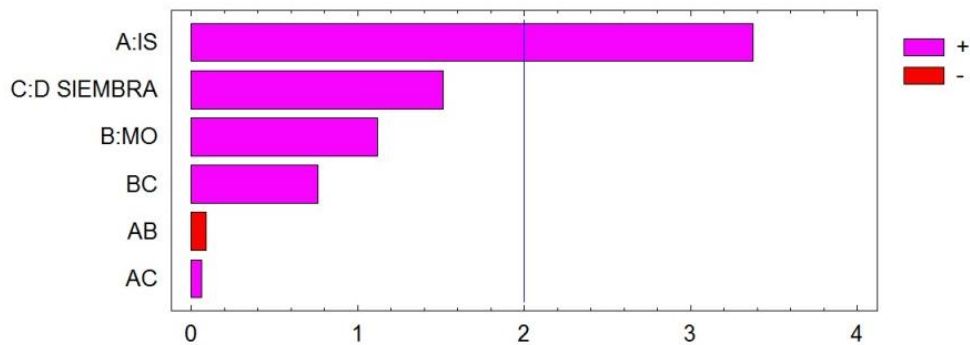


Figura 5. Efecto de las condiciones experimentales sobre el número de ramas (A: IS (intensidad solar), B: MO (materia orgánica), C: distancia de siembra; AB: interacción de la MO con la intensidad solar, BC: interacción de la materia orgánica con la distancia de siembra y AC: interacción entre la intensidad solar y la distancia de siembra).

Se ha reportado que el sombreado influye en el patrón de ramificación y arquitectura de las plantas. Es así, que hay una notable disminución del número de ramas cuando la disponibilidad de luz es menor, y estas adoptan una posición más vertical en las plantas (Cortés *et al.*, 2013). Esto fue evidente al comparar los tratamientos, en el que las plantas con mayor marco de siembra (10

x30 cm), presentaron un patrón de crecimiento más ramificado. El diagrama de Pareto (Figura 6) reflejó que las variables que influyeron en el rendimiento fueron: de forma positiva (la materia orgánica y la interacción materia orgánica-distancia de siembra) y de forma negativa (la intensidad solar y la interacción intensidad solar-materia orgánica), en ese orden.

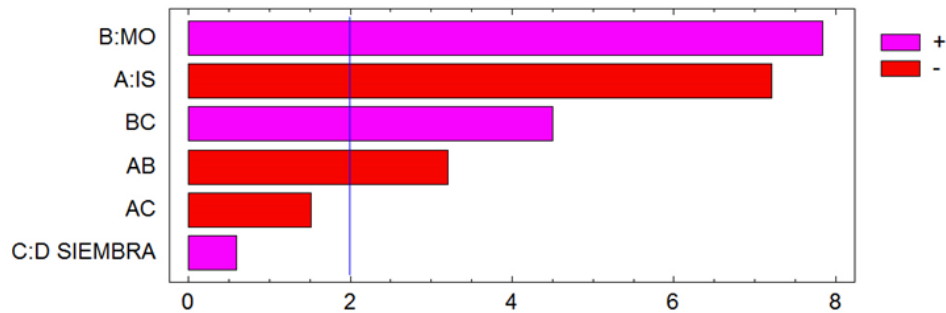


Figura 6. Efecto de las condiciones experimentales sobre el rendimiento (kg.m⁻²). (A: IS (intensidad solar), B: MO (materia orgánica), C: distancia de siembra; AB: interacción de la MO con la intensidad solar, BC: interacción de la materia orgánica con la distancia de siembra y AC: interacción entre la intensidad solar y la distancia de siembra).

Puede resultar contradictorio de que, si siempre la intensidad solar incidió de forma positiva en los diferentes parámetros anteriormente medidos en la planta, en el caso del rendimiento total en kg.m⁻², esta haya influido de forma negativa. La explicación pudo estar asociada en que a la sombra hubo un crecimiento mayor del tamaño las hojas, a pesar de la menor incidencia de la radiación solar y en los tratamientos al sol, aunque había mayor número de ramas y de hojas, éstas eran más pequeñas y tenían menor contenido de agua, lo cual incidió de forma negativa en el rendimiento total.

Según Torres *et al.* (2013) el empleo de sustratos orgánicos favorece el rendimiento del cultivo, lo cual evidencia que el portador de materia orgánica influye de forma positiva sobre el rendimiento. Este aumenta la fertilidad y mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio. A su vez, las combinaciones con distancias de siembra mayores posibilitan un mayor espacio vital y una menor competencia por el alimento (Gutiérrez *et al.*, 2012).

Por otra parte, la exposición directa al sol del sustrato por las condiciones del trópico de alta humedad relativa y temperatura, degrada de forma acelerada la materia orgánica y con ello

disminuye de la fertilidad y el rendimiento de la especie. (Torres *et al.*, 2013).

Los resultados estadísticos expuestos por Pareto reafirman que el sistema semi-protégido posibilitó la obtención de mayores rendimientos que a cielo abierto (Tabla 5).

La causa puede deberse a que a la sombra hay una menor degradación de la materia orgánica del suelo, por la menor incidencia de la radiación solar y una mayor humedad, lo cual favorece la acción de la fauna edáfica.

Al comparar las condiciones experimentales de producción, se obtuvo que la tecnología sobre sustrato a la distancia de 10x30 cm a la sombra (Tratamiento 2), superó en 0,59 kg.m⁻² los rendimientos obtenidos sobre suelo a cielo abierto, así como, se incrementó en 0,21 kg.m⁻² los que se obtienen en las fincas de plantas medicinales del país. Esto sugiere la posibilidad de inclusión de los sustratos en el manejo de las especies medicinales, ya que favorecen la actividad microbiana con la incorporación de microorganismos y nutrientes para las plantas (Lupwayi *et al.*, 2018). Además, muestran un amplio rango de variación, lo que permite aprovechar la caracterización de cada uno para realizar mezclas y obtener un sustrato adecuado (Monsalve *et al.*, 2021).

Tabla 5. Rendimiento de la producción de tilo bajo dos distancias de siembra.

Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8
Distancia de Siembra (cm)	10x20	10x30	10x20	10x30	10x20	10x30	10x20	10x30
Rendimiento (kg.m ⁻²)	0,36 b	0,61 a	0,03 d	0,05 d	0,24 c	0,13 cd	0,02 d	0,05 d

(T1: 10 x 20 cm en sustrato (sombra); T2: 10 x 30 cm en sustrato (sombra); T3:10 x 20 cm en sustrato (sol); T4:10 x 30 cm en sustrato (sol); T5: 10 x 20 cm en suelo (sombra); T6: 10 x 30 cm en suelo (sombra); T7: 10 x 20 cm en suelo (sol); T8:10 x 30 cm en suelo (sol). Medias con letras iguales en las filas no difieren significativamente para Tukey P< 0,05.

CONCLUSIONES

- ✓ Los sustratos muestran, a través del comportamiento de sus propiedades edáficas (físicas y biológicas) mejores condiciones para la producción del tilo que los suelos, lo cual se justifica con los resultados alcanzados en los diferentes componentes del rendimiento.
- ✓ Las mejores condiciones para la producción del tilo, están dadas en la tecnología a la sombra, independientemente de la distancia de siembra, esto favorece la presencia de mayor cantidad de grupos faunísticos favorecidos por la humedad y la materia orgánica.
- ✓ La mejor respuesta de los componentes del rendimiento se alcanza en el Tratamiento 2 (distancia de 10x30 en sustrato a la sombra), condicionado por el mayor contenido de materia orgánica y humedad que favorecen la acción de la fauna edáfica, así como, mayor marco de siembra y menor radiación solar incidente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, J.M y Ingram, J.S.I. (1993). Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods (2nd ed.). Wallingford: CAB

International. Disponible en: <https://www.scirp.org/%28S%28i43dyn45teexjx455qit3d2q%29%29/reference/ReferencPapers.aspx?ReferenceID=424470>.

Cabrera, G. (2019). Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba. Tesis presentada para aspirar al grado de Doctora de la Universidad de Alicante, España. Doctorado en Conservación y restauración de ecosistemas. 124 p. Disponible en: <http://repositorio.geotech.cu/jspui/handle/1234/4098>.

Calderón, M.C.L.; Bautista, M.G.P y Rojas G.S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. 22 (2):141-57. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/896/89660465002/89660465002.pdf>.

Castro, S.L.G.; Aldrete, A.; López, J.U. y Ordaz, V.M.Ch. (2019). Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. Madera y bosques, 25(2)1-10. Instituto de Ecología A.C DOI: [10.21829/myb/2019.2521520](https://doi.org/10.21829/myb/2019.2521520).

- Cortés, M.E.; Cañón, F.A.; Rodríguez, D. y Pérez, M.M. (2013). Efecto de la densidad de siembra y el ambiente de cultivo sobre el rendimiento y la calidad de tallos de los cultivares de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) crespo e israelí. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 9(2):186-199. Universidad Militar Nueva Granada. ISSN:1900-4699.
- GNAU (2011). Manual de organopónicos, huertos intensivos y organoponía semiprotegida. Colectivo de autores del INIFAT. Asociación Cubana de técnicos Agrícolas y Forestales. Playa, Cuba. ISBN: 978-959-7210-48-1.
- Gutiérrez, L.; Arozarena, N.; Daza, J.; Ríos, Y.; Cabrera, M. y Álvarez, S. (2012). Variantes agronómicas para incrementar la respuesta del pimiento (*Capsicum annuum* L.) 'Lical' en organoponía semiprotegida. Agrotecnia de Cuba, 36(2): 4-8. ISSN digital: 2414-4673.
- Jackson, R.B.; Lajtha, K.; Crow, S.E.; Hugelius, G.; Kramer, M.G. y Piñeiro, G. (2017). The ecology of soil carbon: pools, vulnerabilities, and biotic and abiotic controls. Annu. Rev. Ecol. Evol. y Syst., 48: 419–445. ISSN: 0066 - 4162.
- Kamau, S.; Barrios, E.; Karanja, N.K.; Ayuke, F.O. y Lehmann, J. (2017). Soil macrofauna abundance under dominant tree species increases along a soil degradation gradient. Soil Biol Biochem., 112: 35-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.04.016>
- López, G.R.; Pérez, J.E.; Ruiz, J.F. y Masaguer, A. (2017). Caracterización física e hidrofísica de sustratos orgánicos sostenibles para sistemas de naturación en espacios urbanos. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Departamento de Producción Agraria. Revista Ingeniería Agrícola, 7 (1): 33-40. ISSN: 2306-1545.
- Lupwayi, N.Z.; Kanashiro, D.A.; Eastman, A.H. y Hao, X. (2018). Soil phospholipid fatty acid biomarkers and B-Glucosidase activities after long-term manure and fertilizer N applications. Soil Sci. Soc. Am. J., 82(2). DOI: 10.2136/SSSAJ2017.09.0340.
- Mancilla, R.F.; Rangel, L.J.; Falcón, B.A.; Gamboa, A.J. y Valdez, J.D. (2017). Riqueza y abundancia de la macrofauna epigea en cuatro sistemas tropicales del Estado de Chiapas, México. Acta Zool. Mex., 33 (3): 464-471. DOI: <https://doi.org/10.21829/azm.2017.3331147>
- Monsalve, I.C.; Henao, C.T y Gutiérrez, S.D. (2021). Caracterización de materiales con uso potencial como sustratos en sistemas de cultivo sin suelo. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Cienc. Tecnol. Agropecuaria, 22 (1): e1977. ISSN: 0122-8706.
- Padró, L.; López, T. y Nuviola, D. (2017). Caracterización preliminar de tinturas al 10 % de *Bixa orellana* L. Rev. Cubana Quím., 29 (1): 12. ISSN: 2224-5421.
- Raviv, M. y Heinrick, J. (2019). Soilless culture – Theory and practice. Elsevier. Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/soilless-culture-theory-and-practice/raviv/978-0-444-63696-6>
- Ruiz, N.; Lavelle, P. y Jiménez, J. (2008). Effect of land-use and management practices on soil macrofauna. En: Soil Macrofauna Field Manual—Technical Level. FAO: Rome, Italy, 29–36. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i0211e/i0211e.pdf>.
- Torres, M.; Orellana, R.; Moreno, J.M.; Cruz, A. y Viza, D. (2013). Bioestabilidad de sustratos orgánicos bajo condiciones de modelación. Agrotecnia de Cuba, 37(1). 4-9. ISSN digital: 2414- 4673.

Vega, L.; Ortiz, Y.; Fresneda, J.A.; Morales, M.; Sánchez, Y.; Hernández, Y.O.; Dorado, M.; Torres, M.; Sagayo, I.; González, A. y Estrada, J. (2019). Good Agricultural Practices for Medicinal Plant Production. 100 p. ISBN: 978-959-7223-27-6.

Velasquez, E. y Lavelle, P. (2019). Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. Acta Oecol., 100:103446. DOI: <https://doi.org/10.1016/j-acta.2019.103446>.

Fecha de recepción: 15 abril 2022

Fecha de aceptación: 28 julio 2022

Agrotecnia de Cuba

ISSN impresa: 0568-3114

ISSN digital: 2414- 4673

<http://www.grupoagricoladecuba.gag.cu>

