

Evaluation of the effect of two substrates on the development of *Moringa oleifera* Lam (Fam: Moringaceae) (moringa) under nursery conditions

Evaluación del efecto de dos sustratos en el desarrollo de *Moringa oleifera* Lam (moringa) (Fam: Moringaceae) en condiciones de vivero

Yadiana Ontivero¹, Diandra García² and F. G. Loiret²

¹Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, Ave. Independencia 184, No. 20520 e/ Calle 201 y Lindero. Río Cristal. Boyeros, La Habana. Código Postal 10800

²Facultad de Biología. Dpto. Biología Vegetal, Laboratorio de Fisiología Vegetal. Código Postal 10400
Email: loiret@fq.uh.cu

Yadiana Ontivero: <https://orcid.org/0000-0002-3558-2552>

Diandra García: <https://orcid.org/0000-0002-0108-087X>

F. G. Loiret: <https://orcid.org/0000-0002-2058-781X>

To compare the effect of adding sawdust to substrate on the growth of *M. oleifera* under nursery conditions, soil (red ferralitic soil) and soil:sawdust were used as substrates, with differences in field capacity (soil: greater sawdust). Growth indexes and parameters were measured, as well as concentrations of photosynthetic pigments. The moringa cultivated in soil showed greater growth in height (24.0 cm), accumulation of dry biomass in the stem (0.22 g) and concentration of photosynthetic pigments compared to those cultivated in soil: sawdust (height: 19.8 cm and dry biomass: 0.18 g). While soil:sawdust stimulated leaf length at 14 days and root system at 28 days, as well as absolute (0.02 g day⁻¹) and relative (0.04 mg mg⁻¹ day⁻¹) growth rate. With this experiment, it is concluded that the establishment of moringa under nursery conditions, with soil as substrate, stimulates the production of photosynthetic pigments, growth in height, and dry biomass of the stem. Soil:sawdust substrate increases leaf dimensions, root biomass, and absolute and relative growth rate, as well as providing a more equitable growth between root system and the aerial part of plants. Sowing in soil:sawdust is a viable alternative for places in which rains are infrequent.

Keywords: *growth analysis, sawdust, field capacity, photosynthetic pigments, plantlet*

Moringa (Moringa oleifera) is used for treating several diseases, feeding humans and for reducing water pollution (Bancesi *et al.* 2019). Its nutritional quality, digestibility, degradability and palatability make it a good animal feed (Su and Chen 2020). Its seed can be sown directly in the field or in a nursery. The latter, although it requires greater effort, allows to take the most resistant plantlets to stressful environmental conditions into the field. As substrates of a nursery, worm humus, organic matter and livestock excrement can be used (González and Crespo 2016). *Moringa* plantlets show good development when 25 % of any of the aforementioned substrates is included (Silvestre 2019). However, livestock production systems are developed under different conditions and possibilities, so this recommendation cannot always be fulfilled. Due to this, it is necessary to develop studies that propose other substrate alternatives for nursery development of

Para comparar el efecto de adicionar aserrín al sustrato en el crecimiento de *M. oleifera* en condiciones de vivero, se utilizó suelo (tierra ferralítica roja) y suelo: aserrín como sustratos, con diferencias en la capacidad de campo (suelo: aserrín mayor). Se midieron los índices y parámetros del crecimiento, así como las concentraciones de pigmentos fotosintéticos. La moringa cultivada en suelo presentó mayor crecimiento en altura (24.0 cm), acumulación de biomasa seca en el tallo (0.22 g) y concentración de pigmentos fotosintéticos con respecto a las cultivadas en suelo: aserrín (altura: 19.8 cm y biomasa seca: 0.18 g). Mientras, el sustrato suelo: aserrín estimuló, a los 14 días, el largo de las hojas, y a los 28 días, el sistema radical, así como la tasa de crecimiento absoluto (0.02 g día⁻¹) y relativo (0.04 mg mg⁻¹ día⁻¹). Con este experimento se concluye que el establecimiento de moringa en vivero con el suelo como sustrato estimula la producción de pigmentos fotosintéticos, el crecimiento en altura y la biomasa seca del tallo. El sustrato suelo: aserrín incrementa las dimensiones de las hojas, la biomasa radical, la tasa de crecimiento absoluto y de crecimiento relativo; además de proporcionar un crecimiento más equitativo entre el sistema radical y la parte aérea de las plantas. La siembra en suelo: aserrín constituye una alternativa viable para lugares donde las lluvias son poco frecuentes.

Palabras clave: *análisis del crecimiento, aserrín, capacidad de campo, pigmentos fotosintéticos, plántula*

La moringa (*Moringa oleifera*) se utiliza para tratar diversas enfermedades, sirve como alimento humano y para disminuir la contaminación de las aguas (Bancesi *et al.* 2019). Su calidad nutritiva, digestibilidad, degradabilidad y palatabilidad, la convierten en un buen alimento para los animales (Su y Chen, 2020). Su semilla se puede sembrar directamente en el campo o en un vivero. Esto último, aunque requiere un esfuerzo mayor, permite llevar al campo plántulas más resistentes a condiciones ambientales estresantes. Para los sustratos de un vivero se puede emplear humus de lombriz, materia orgánica y excrementos del ganado (González y Crespo 2016). Las plántulas de moringa presentan un buen desarrollo, cuando se incluye 25 % de alguno de los sustratos mencionados (Silvestre 2019). Sin embargo, los sistemas productivos ganaderos se desarrollan en condiciones y posibilidades diferentes, por lo que no siempre se puede cumplir con esta recomendación. Debido a esto, es necesario desarrollar

M. oleifera.

Sawdust is a material that is commonly discarded. Due to its physical characteristics, it maintains higher humidity in the soil, which guarantees seed germination and their emergence (Babatunde *et al.* 2019). This avoids having to water seeds daily during the early stages of development, and saves water and effort. For this substrate, it is necessary to clarify the protocols that indicate how much sawdust and time the plants should remain in the nursery, as well as the frequency and amount of irrigation they should receive. It is necessary to know the advantages of its use, beyond the growth in height and leaf production. Therefore, the objective of this study was to compare the effect of adding sawdust to the substrate on *M. oleifera* growth under nursery conditions.

Materials and Methods

Study area. The study was developed in the nursery of the Estación Experimental de Pastos y Forrajes de la Unidad de Ciencia y Técnica Básica La Habana, belonging to the Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes. This is located at 22099'60.1" N and 82037'87.1" W and has a red ferralitic soil (Hernández *et al.* 2015).

Plant material. *Moringa oleifera* seeds were obtained from the Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes. They were stored at 24 °C for 3 months. To accelerate the germination process, seeds were soaked in water at room temperature for 12 hours (Njehoya *et al.* 2014). Subsequently, 300 seeds were placed on wet paper for a period of three days, and 60 mL of water were daily added. An amount of 150 germinated seeds with homogeneous root development were selected.

Sowing conditions. Two treatments were used, based on red ferralitic soil (soil) and a mixture of 1:1 soil-sawdust for their development under nursery conditions. The soil was collected at 15 cm deep and sieved with a 0.25 cm² mesh. The sawdust was obtained from pine, with around 2 mm in size. The field capacity of both substrates was determined using Kirkham (2004) methodology. The bags (0.8 L) containing soil weighed 0.87 kg and soil-sawdust bags weighed 0.56 kg. The field capacity of substrates was 0.32 L kg⁻¹ and 1.1 L kg⁻¹, respectively. Two weekly irrigations were carried out, adding 0.35 L and 0.7 L to each bag of substrate so that each treatment would remain at 100 % of its field capacity at the time of irrigation, since red ferralitic soil has a high drainage capacity (Hernández *et al.* 2015).

Five germinated seeds were sown per bag, at 2 cm deep (Cardoso *et al.* 2006). To guarantee destructive samplings, each treatment consisted of 15 bags, with a total of 75 plants. The nursery was located under 4 m high trees, so plantlets were protected from direct incidence of solar radiation.

investigaciones que propongan otras alternativas de sustrato para el desarrollo en vivero de *M. oleifera*.

El aserrín es un material que por lo común se desecha. Por sus características físicas, mantiene mayor humedad en el suelo, lo que garantiza la germinación de las semillas y su emergencia (Babatunde *et al.* 2019). Esto evita tener que regar diariamente las semillas durante las primeras etapas de desarrollo, lo que ahorra agua y esfuerzo. Para este sustrato, se requiere esclarecer los protocolos que indiquen cuánto aserrín se debe utilizar y el tiempo que deben permanecer las plantas en el vivero, así como la frecuencia y cantidad de riego que deben recibir. Es necesario conocer las ventajas de su utilización, más allá del crecimiento en altura y producción de hojas. El objetivo de este estudio fue comparar el efecto de la adición de aserrín al sustrato en el crecimiento de *M. oleifera* en condiciones de vivero.

Materiales y Métodos

Zona de estudio. El estudio se desarrolló en el vivero de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes de la Unidad de Ciencia y Técnica Básica La Habana, perteneciente al Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes. Esta instalación se halla a los 22099'60.1"N y 82037'87.1" W y su suelo es ferralítico rojo (Hernández *et al.* 2015).

Material vegetal. Las semillas de *Moringa oleifera* se obtuvieron del Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes. Estuvieron almacenadas a 24 °C durante tres meses. Para acelerar el proceso de germinación, las semillas se embebieron en agua a temperatura ambiente durante 12 h (Njehoya *et al.* 2014). Luego, se colocaron 300 semillas en papel húmedo por un período de tres días. Diariamente se añadieron 60 mL de agua. Se seleccionaron 150 semillas germinadas con desarrollo radicular homogéneo.

Condiciones de cultivo. Se utilizaron dos tratamientos, basados en suelo ferralítico rojo (suelo) y mezcla de 1:1 suelo-aserrín para el desarrollo en vivero. El suelo se colectó a 15 cm de profundidad y se tamizó con malla de 0.25 cm². El aserrín era de pino, con tamaño de 2 mm aproximadamente. La capacidad de campo de ambos sustratos se determinó mediante la metodología de Kirkham (2004). Las bolsas (0.8 L) que contenían suelo pesaron 0.87 kg, y las bolsas con suelo-aserrín 0.56 kg. La capacidad de campo de los sustratos fue 0.32 L kg⁻¹ y 1.1 L kg⁻¹, respectivamente. Se realizaron dos riegos semanales, agregando a cada bolsa del sustrato 0.35 L y 0.7 L para que cada tratamiento quedara a 100 % de su capacidad de campo en el momento del riego, ya que el suelo ferralítico rojo tiene alta capacidad de drenaje (Hernández *et al.* 2015).

Se sembraron cinco semillas germinadas por bolsa, a profundidad de 2 cm (Cardoso *et al.* 2006). Para garantizar los muestreos destructivos, a cada tratamiento correspondieron 15 bolsas, con 75 plantas en total. El vivero se ubicó debajo de árboles con 4 m de altura, por lo que las plántulas estuvieron protegidas de la incidencia directa de la radiación solar.

Análisis del crecimiento. Se realizaron muestreos no

Growth analysis. Non-destructive samplings were carried out at 7, 14, 21 and 28 days, for which 20 plants were taken at random from each treatment. Variables measured were: stem height and diameter, number of leaves and length and width of the last two compound leaves, as recommended by Valdés *et al.* (2014).

For destructive samplings, 20 plants were harvested to calculate growth rates at 10, 20 and 28 days, and four plants to estimate the concentration of photosynthetic pigments. Fresh and dry weights of leaves, stem and roots were measured, except in the first sampling, because roots were very fragile and their extraction from substrate without damaging them was compromised. Samples were placed in an oven at 80 °C for 72 hours until constant weight was reached to obtain the biomass value. An analytical balance (± 0.1 mg) was used for weighing.

Growth rates. With the data obtained in the destructive samplings, the following indices were calculated in the intervals 10-20 days and 20-28 days, according to Hunt (1990):

$$\text{Leaf weight ratio: } \text{LWR} = \frac{W_{\text{leaves}}}{W_{\text{plant}}}$$

$$\text{Absolute growth rate: } \text{AGR} = \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)}$$

$$\text{Relative growth rate: } \text{RGR} = \frac{(\ln \ln W_2 - \ln \ln W_1)}{(t_2 - t_1)}$$

Where: W : biomass (g), t : time (d)

Determination of photosynthetic pigments. The third and fourth leaves of four plants were taken at 28 days. Leaves were macerated in a mortar with alcohol at 95 %. Concentration of chlorophyll and carotenoids was estimated from the absorbances of the extracts, according to Ortega and Rodés (1986).

Statistical analysis. Statistical analysis was performed with the Statistica v.10 program (StatSoft Inc 2011). Fulfillment of normality premises was verified using Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, and Shapiro-Wilk tests, and homoscedasticity using Levene test.

Results

The 57.3 % of moringa seeds germinated after three days on wet paper. This was considered adequate for this study, considering incubation time and three months of storage.

Plants grown in soil, during the first week, produced four leaves of approximately 6 cm wide, higher values than those of plants that grew in soil:sawdust (two leaves of 3 cm). However, at 28 days, leaves of the plants in soil:sawdust were longer (figure 1). Width and number of leaves did not show significant differences after the first week (figure 1). The type of used substrate did not influence on these variables

destructivos a los 7, 14, 21 y 28 d, para lo que se tomaron al azar 20 plantas de cada tratamiento. Se midieron las variables altura y diámetro del tallo, número de hojas y largo y ancho de las dos últimas hojas compuestas, según lo recomendado por Valdés *et al.* (2014)

Para los muestreos destructivos, se cosecharon 20 plantas con el propósito de calcular los índices de crecimiento a los 10, 20 y 28 d, y cuatro plantas para estimar la concentración de pigmentos fotosintéticos. Se midió el peso fresco y peso seco de las hojas, tallo y raíces, excepto en el primer muestreo, debido a que las raíces eran muy frágiles y se comprometía su extracción del sustrato sin dañarlas. Las muestras se colocaron en estufa a 80 °C durante 72 h hasta alcanzar peso constante para obtener el valor de la biomasa. Para el pesaje se utilizó una balanza analítica (± 0.1 mg).

Índices del crecimiento. Con los datos obtenidos en los muestreos destructivos se calcularon los siguientes índices, en los intervalos 10 - 20 d y 20 - 28 d, según Hunt (1990):

$$\text{Razón de peso foliar: } \text{LWR} = \frac{W_{\text{hojas}}}{W_{\text{planta}}}$$

$$\text{Tasa de crecimiento absoluto: } \text{AGR} = \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)}$$

$$\text{Tasa de crecimiento relativo: } \text{RGR} = \frac{(\ln \ln W_2 - \ln \ln W_1)}{(t_2 - t_1)}$$

Donde:

W : biomasa (g), t : tiempo (d)

Determinación de pigmentos fotosintéticos. Se tomaron la tercera y la cuarta hoja de cuatro plantas a los 28 d. Se maceraron en un mortero con alcohol al 95 %. La concentración de clorofila y carotenoides se estimó a partir de las absorbancias de los extractos, según Ortega y Rodés (1986).

Análisis estadístico. El análisis estadístico se realizó con el programa Statistica v.10 (StatSoft Inc 2011). Se comprobó el cumplimiento de las premisas de normalidad mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors y Shapiro-Wilk, y la homocedasticidad por la prueba de Levene.

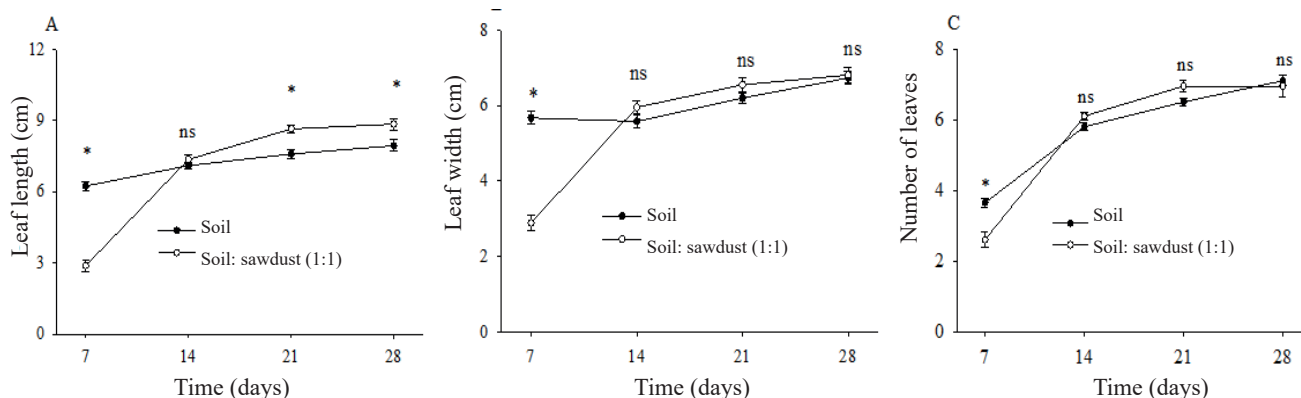
Resultados

El 57.3 % de las semillas de moringa germinaron después de tres días en papel húmedo. Esto se consideró adecuado para este estudio, al tener en cuenta el tiempo de incubación y los tres meses de almacenamiento.

Las plantas cultivadas en suelo durante la primera semana produjeron cuatro hojas de 6 cm de ancho aproximadamente, valores superiores a los de las plantas que crecieron en suelo: aserrín (dos hojas de 3 cm). Sin embargo, a los 28 días, las hojas en suelo: aserrín tenían mayor largo (figura 1). El ancho y el número de hojas no presentaron diferencias significativas después de la primera semana (figura 1). El tipo de sustrato

when plants reached 28 days of development. Stems of plantlets in soil were 24.0 cm high at 28 days of growth. Meanwhile, those grown in soil:sawdust reached 19.8 cm. No differences were found in stem diameter (figure 2).

utilizado no influyó en estas variables cuando las plantas habían alcanzado 28 d de desarrollo. Los tallos de las plántulas de suelo tuvieron 24.0 cm de altura a los 28 d de crecimiento. Mientras, las cultivadas en suelo: aserrín alcanzaron 19.8 cm. No se encontraron diferencias en el

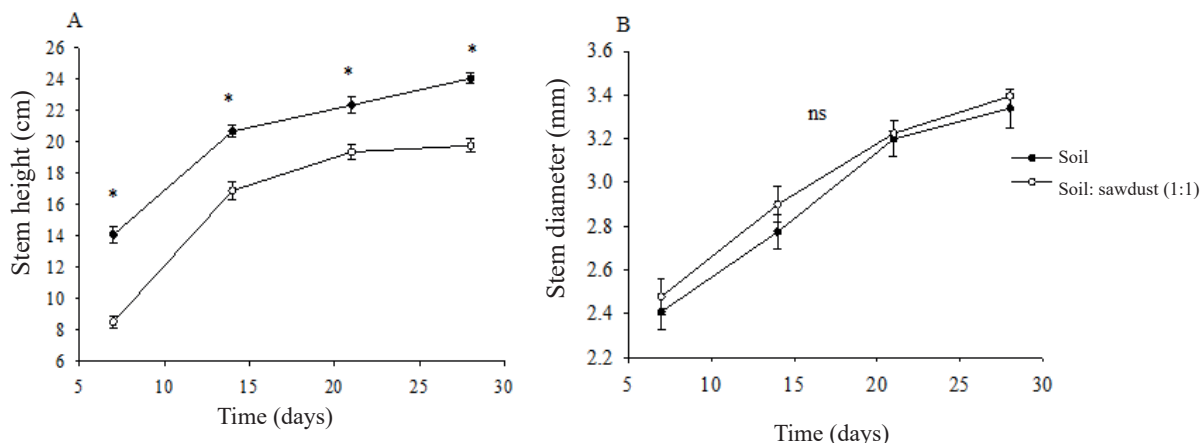


Mean and standard error are shown, n=40 (A and B), n=20 (C)

* indicates significant differences

ns: non-significant differences, Mann-Whitney, p=0.05

Figure 1. Length, width and number of leaves of *M. oleifera* for 28 days under nursery conditions, in soil and soil:sawdust (1:1) substrates



Mean and standard error are shown, n=20

* indicates significant differences between substrates in the given time

ns: non-significant differences, Mann-Whitney, p=0.05

Figure 2. Height and diameter of the stem of *M. oleifera* for 28 days under nursery conditions, in soil and soil:sawdust (1:1) substrates

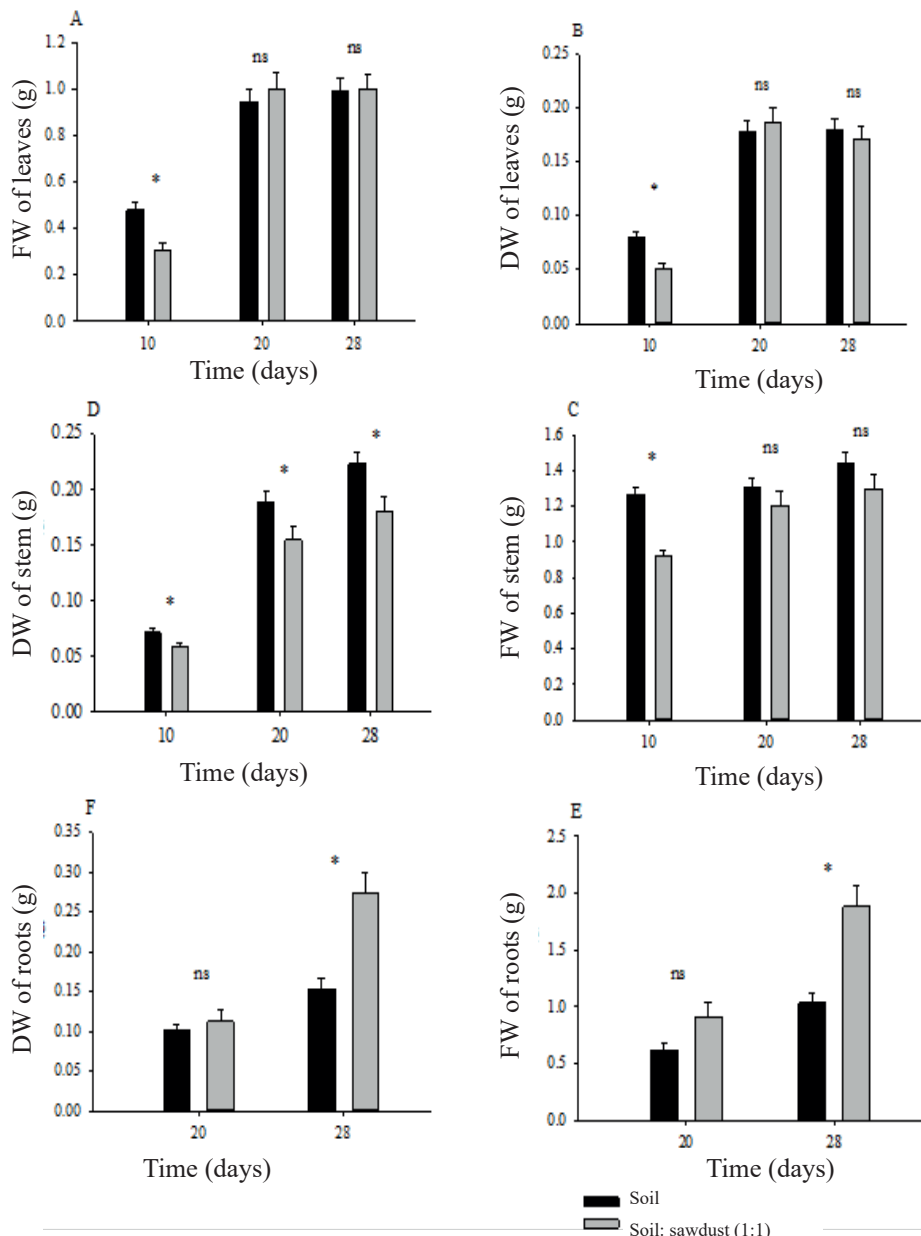
Fresh (FW) (figure 3a and c) and dry weight (DW) (figure 3 b and d) of leaves and stems at 10 days was different for moringa in the different substrates. The production of aerial biomass was higher for plants grown in soil compared to soil: sawdust. These differences were maintained at 20 and 28 days in the DW of the stem. FW and DW of roots was higher at 28 days in the plants that grew in soil:sawdust (figure 3e and f). The substrates used had no influence on the aerial biomass/root biomass ratio at 20 and 28 d, according to Mann-Witney analysis ($p < 0.05$, n=20) (table 1), although there was an effect of time factor on this proportion.

Absolute growth rate (AGR) and relative growth

diámetro de los tallos (figura 2).

El peso fresco (PF) (figura 3a y c) y el peso seco (PS) (figura 3 b y d) de hojas y tallos a los 10 días fue diferente para la moringa en los distintos sustratos. La producción de biomasa aérea fue mayor para plantas cultivadas en suelo con respecto a las de suelo: aserrín. Estas diferencias se mantuvieron a los 20 y 28 d en el PS del tallo. El PF y el PS de las raíces fue mayor a los 28 d en las plantas que crecieron en suelo: aserrín (figura 3e y f). Los sustratos utilizados no tuvieron influencia en la razón biomasa aérea /biomasa raíz, a los 20 y 28 d según análisis de Mann-Witney ($P < 0.05$, n=20) (tabla 1), aunque sí hubo efecto del factor tiempo en esta razón.

Hubo mayor tasa de crecimiento absoluto (AGR) y



Mean and standard error are shown, n=20

* indicates significant differences between substrates according to t of Student (p=0.05)

Figure 3. Fresh weight and dry weight of leaf, stem and root of *M. oleifera* for 28 days under nursery conditions in soil and soil: sawdust (1: 1) substrates.

Table 1. Aerial biomass / root biomass proportion of *M. oleifera* under nursery conditions, at 20 and 28 days

Days	Treatments	
	soil	soil:sawdust
20	3.9 ± 0.9 ns	3.8 ± 1.6 ns
28	3.0 ± 1.0 ns	1.7 ± 1.6 ns

ns no significant differences by Mann-Witney (p < 0.05)
n = 20

rate (RGR) were superior in the interval 20-28 days of plants in soil:sawdust (table 2). Leaf weight ratio (LWR) was higher at 20 days for plants grown in soil, while it was higher for plants grown in soil:sawdust at 28 days. Furthermore, a higher LWR was observed

tasa de crecimiento relativo (RGR) en el intervalo de 20-28 d, en las plantas de suelo: aserrín (tabla 2). La razón de peso foliar (LWR) fue mayor a los 20 d para las plantas desarrolladas en suelo, mientras que para las plantas que crecieron en suelo: aserrín lo fue a los

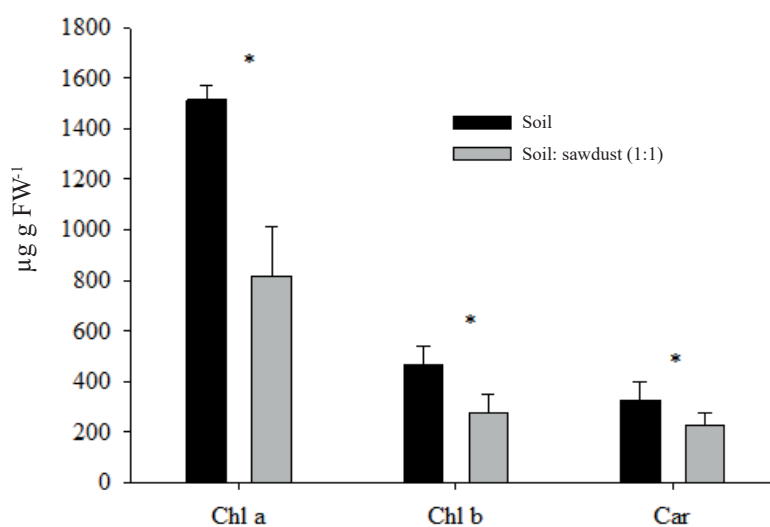
at 20 days than at 28 days. In addition, there were significant differences in the content of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids between both treatments. In all cases, the highest values belong to plants grown in soil (figure 4).

28 d. Además, hubo mayor LWR a los 20 d que a los 28 d. Se observaron diferencias significativas en el contenido de clorofila a, clorofila b y carotenoides entre ambos tratamientos. En todos los casos los mayores valores correspondieron a las plantas cultivadas en suelo (figura 4).

Table 2. Leaf weight ratio, absolute growth rate and relative growth rate of *M. oleifera* under nursery conditions at 20 and 28 days

Treatments	LWR ₂₀ (g g ⁻¹)	LWR ₂₈ (g g ⁻¹)	AGR ₂₀₋₂₈ (g d ⁻¹)	RGR ₂₀₋₂₈ (mg mg ⁻¹ d ⁻¹)
Soil	0.38 *	0.33 *	0.01	0.02
Soil:sawdust	0.42 *	0.28 *	0.02	0.04

* indicates significant differences by Mann-Witney (p < 0.05) n = 20



Chla, chlorophyll a; Chlb, chlorophyll b; Car, carotenoids

Mean and standard error are shown, n = 4

*indicates significant differences according to t of Student (p < 0.05)

Figure 4. Pigment concentration in *M. oleifera* leaves at 28 days under nursery conditions with two substrates

Discussion

Moringa rapidly decreases its viability over time (Ruiz *et al.* 2017). Most germination tests are performed from 7 to 21 days, and seeds germinate between 5 and 10 d (Padilla *et al.* 2017). The quality of seeds used in the experiment can be considered high considering germination was quantified three days after the imbibition started.

Decrease of stem height, leaf dimensions and number of leaves (figure 1 and 2 a) is related to the increase of rainfall (INSMET 2019) in the first week of the experiment, since moringa does not tolerate water excess for a long time in poorly drained substrates (Yang *et al.* 2015). The greater field capacity and water retention capacity of soil:sawdust substrate caused stress due to waterlogging, without causing death or damage due to pests or diseases. It is suggested that when stress stops, surviving plants can maintain good growth (Patricio and Palada 2017), which was verified

Discusión

La moringa disminuye su viabilidad rápidamente con el tiempo (Ruiz *et al.* 2017). La mayoría de las pruebas de germinación se realizan de 7 a 21 d, y las semillas germinan entre 5 y 10 d (Padilla *et al.* 2017). La calidad de las semillas usadas en el experimento se puede considerar alta, si se tiene en cuenta que la germinación se cuantificó a los tres días de iniciada la imbibición.

La disminución en la altura del tallo, dimensiones de la hoja y número de hojas (figura 1 y 2 a) se relacionan con el incremento de las precipitaciones (INSMET 2019) en la primera semana del experimento, ya que la moringa no tolera el exceso de agua por largo tiempo en sustratos con mal drenaje (Yang *et al.* 2015). La mayor capacidad de campo y de retención de agua del sustrato suelo: aserrín provocó estrés por encharcamiento, sin ocasionar muerte o afectación por plagas o enfermedades. Se plantea que cuando el estrés se detiene, las plantas que sobreviven pueden mantener un buen crecimiento (Patricio y Palada

during this experiment.

Despite the stressful conditions during the first week (10 days of growth), moringa reached higher heights with respect to those reported by Valdés *et al.* (2014) for the same development time in sandy, sandy-loam, clayey substrate and sugarcane filter cake mud compost. Plant height was higher at 28d compared to those reported by Toral *et al.* (2013) at 40 d in red ferralitic soil and bovine manure (3:1). Red ferralitic soil is characterized by having a pH between 6 and 7 (Hernández *et al.* 2015) and a level of organic matter of 3.3 % (Rosales *et al.* 2020). These conditions favor *M. oleifera* growth (Yang *et al.* 2015). The soil:sawdust combination incorporates nutrients such as nitrogen, carbon, phosphorous, potassium, and calcium, which can contribute to a superior growth of moringa (Babatunde *et al.* 2019). Under the studied experimental conditions, results show that plants did not reach 40 cm at 28 d, necessary height for their transplantation, as proposed by Medina *et al.* (2007). However, the possibility of transplantation was not discarded, since plants were vigorous.

In the applied irrigation regime, soil:sawdust combination stimulated the increase of leaf length (figure 1a) since it retained higher amount of water than soil substrate, without being excessive. The short length of plant leaves in soil substrate could be related to the fact that this treatment presented a greater drainage, which could contribute to the appearance of stress due to water deficit. It is reported that plants, in response to a water deficit, decrease the development of their leaves, since certain levels of turgidity is needed for cell expansion to occur (Taiz and Zeiger 2014).

Both treatments stimulated an equal production of leaves at 28 days (figure 1a). Valdés *et al.* (2014) and Silvestre (2019) reported similar leaf amounts to those of the current study, for combinations of substrates that included manure, rice husk, compost, sugarcane filter cake mud compost and sandy and clay soils. It can be argued that, regardless of the type of substrate used, moringa does not have a high leaf production during its first four weeks of development in the nursery.

During the initial growth of the moringa, it is necessary not only to reach great heights, but to obtain a greater stem diameter, since this influences on the amount of reserve substances that plant stores and provides it with greater resistance to adverse environmental conditions (Solorio and Solorio 2002 and Ledea-Rodríguez *et al.* 2020). Stem diameter was not affected by the conditions imposed at 28 days, as reported by Medina *et al.* (2007) and Sarwar *et al.* (2017) in other substrate combinations. However, Silvestre (2019) obtained diameters superior to 7 mm, when substrate contains 50 % of compost. Substrate is not the only factor that influences on growth capacity

(2017), lo que se comprobó durante el experimento.

A pesar de las condiciones estresantes durante la primera semana (10 d de crecimiento), la moringa alcanzó mayores valores de altura con respecto a los informados por Valdés *et al.* (2014) para igual tiempo de desarrollo en sustrato arenoso, franco-arenoso, arcilloso y composta de cachaza de caña. La altura de las plantas fue superior a los 28 d, si se compara con los valores que informaron Toral *et al.* (2013) a los 40 d en suelo ferralítico rojo y en estiércol vacuno (3:1). El suelo ferralítico rojo se caracteriza por tener pH entre 6 y 7 (Hernández *et al.* 2015) y un nivel de materia orgánica de 3.3 % (Rosales *et al.* 2020), condiciones que favorecen el crecimiento de *M. oleifera* (Yang *et al.* 2015). La combinación suelo: aserrín incorpora nutrientes como nitrógeno, carbono, fósforo, potasio y calcio, lo que puede contribuir a un mayor crecimiento de la moringa (Babatunde *et al.* 2019). En las condiciones experimentales estudiadas, los resultados demuestran que las plantas en 28 d no alcanzaron 40 cm, altura necesaria para el trasplante, como propone Medina *et al.* (2007). Sin embargo, no se descarta la posibilidad de trasplante, pues las plantas se observaron vigorosas.

En el régimen de riego aplicado, la combinación suelo: aserrín estimuló el aumento en la longitud de las hojas (figura 1a), ya que retuvo mayor cantidad de agua que el sustrato suelo, sin llegar a ser excesiva. La menor longitud de las hojas de las plantas en el sustrato suelo se puede asociar a que este tratamiento presentó mayor drenaje, lo que pudo contribuir a la aparición de estrés por déficit hídrico. Se informa que las plantas disminuyen el desarrollo de sus hojas como respuesta al déficit hídrico, ya que se necesitan determinados niveles de turgencia para que ocurra la expansión celular (Taiz y Zeiger 2014).

Ambos tratamientos estimularon igual producción de hojas a los 28 d (figura 1a). Valdés *et al.* (2014) y Silvestre (2019) registraron cantidades de hojas similares a las de este estudio, para combinaciones de sustratos que incluían estiércol, cascarilla de arroz, compost, composta de cachaza de caña y suelos arenosos y arcillosos. Se puede plantear que independientemente del tipo de sustrato empleado, la moringa es una especie que durante sus primeras cuatro semanas de desarrollo en vivero no tiene una alta producción de hojas.

Durante el crecimiento inicial de la moringa es necesario no solo alcanzar grandes alturas, sino obtener mayor diámetro del tallo, ya que esto influye en la cantidad de sustancias de reserva que almacena la planta y le proporciona mayor resistencia a condiciones ambientales adversas (Solorio y Solorio 2002 y Ledea-Rodríguez *et al.* 2020). El diámetro del tallo no se afectó por las condiciones impuestas a los 28 d, tal y como informaron Medina *et al.* (2007) y Sarwar *et al.* (2017) en otras combinaciones de sustratos. Sin embargo, Silvestre (2019) obtuvo diámetros superiores a 7 mm, cuando el sustrato cuenta con 50 % de compost. El sustrato no es el único factor que influye en la capacidad de crecimiento de la moringa, pues también hay un efecto

of moringa, because there is also a genetic effect due to open pollination (Selvakumari and Ponnuswami 2017 and Wu *et al.* 2018).

Low values of FW and DW of leaves and stem at 10 days (figure 3 a, b, c and d), may be related to the excess of rains during the first week and is consistent with the results of non-destructive samplings (figure 1 and 2). The stress due to puddled culture reduces plant growth (Abud *et al.* 2018), and its effect was evidenced in the low biomass accumulation, especially plants from the soil:sawdust treatment. However, once the stress was removed, a higher DW was observed in the stem of plants grown in soil, which indicated a recovery.

The highest FW and DW of the root system of plants in soil:sawdust (figure 3 e and f) may be due to the great thickening observed its roots, which is an adaptation for survival to adverse conditions (Casanova *et al.* 2018). Because this combination of substrates has a greater field capacity, plants can take advantage of water availability for the development of the root system (figure 3 e and f). Mora and García (2017) observed an increase in root length under nursery conditions in soil:sawdust (1:3). Sawdust has the ability to reduce the effect of temperature on the substrate, which allows a constant root growth (Conceição *et al.* 2005). The high development of the root system in soil:sawdust is an indication that quantity and frequency of irrigation in this study did not affect plantlets that are susceptible to water excess. Regarding the observations during the first week of the experiment, soil:sawdust combination is recommended for dry season, because rainfall could become an excess of water for plants in this stage and affect their growth.

Stressing factors in plants can modify their content of photosynthetic pigments (Abud *et al.* 2018, Sharma *et al.* 2019). Moringa is resistant to drought, which does not exclude it to suffer from stress due to lack of water. Plants grown in soil, with less field capacity, could face a certain degree of water stress, which increased their content of chlorophyll and carotenoids (figure 4). Abud *et al.* (2018) observed a higher chlorophyll content in moringa when it received less irrigation. The increase of carotenoid content may be related to its role in identifying and protecting from stress, as proposed by Nisar *et al.* (2015). Plants in soil had a higher growth in height and biomass accumulation in the stem, compared to plants in soil:sawdust (figure 2a and 3d), which may be related to the highest pigment concentration. Saini *et al.* (2012) reported that higher content of chlorophyll and carotenoids in moringa is associated with a more vigorous plant growth, since the concentration of pigments gives a measure of plant capacity to carry out photosynthesis and produce biomass (Taiz and Zeiger 2014).

genético debido a la polinización abierta (Selvakumari y Ponnuswami 2017 y Wu *et al.* 2018).

Los bajos valores del PF y PS de las hojas y el tallo a los 10 d (figura 3 a, b, c y d) pueden estar relacionados con el exceso de lluvias durante la primera semana, y concuerdan con los resultados de los muestreos no destructivos (figura 1 y 2). El estrés por anegamiento genera reducción en el crecimiento vegetal (Abud *et al.* 2018), cuyo efecto se evidenció en la baja acumulación de biomasa, sobre todo en las plantas del tratamiento suelo: aserrín. Sin embargo, una vez eliminado el estrés, hubo mayor PS en el tallo de las plantas crecidas en suelo, lo que indicó una recuperación.

El mayor PF y PS del sistema radical de las plantas en suelo: aserrín (figura 3 e y f) se puede deber al mayor engrosamiento que se observó en sus raíces, que es una adaptación para sobrevivir ante condiciones adversas (Casanova *et al.* 2018). Debido a que esta combinación de sustratos tiene una mayor capacidad de campo, las plantas pueden aprovechar la disponibilidad de agua para el desarrollo del sistema radical (figura 3 e y f). Mora y García (2017) observaron incremento en la longitud de las raíces en condiciones de vivero en suelo: aserrín (1:3). El aserrín tiene la capacidad de disminuir el efecto de la temperatura en el sustrato, lo que permite un crecimiento constante de las raíces (Conceição *et al.* 2005). El mayor desarrollo del sistema radical en suelo: aserrín es un indicador de que la cantidad y frecuencia de riego en este estudio no afecta a las plántulas que son susceptibles al exceso de agua. Teniendo en cuenta lo observado durante la primera semana del experimento, se recomienda la combinación suelo: aserrín en la temporada seca, debido a que las precipitaciones podrían devenir en un exceso de agua para las plantas en este estadio y por tanto, afectar su crecimiento.

Los factores estresantes en las plantas pueden modificar su contenido de pigmentos fotosintéticos (Abud *et al.* 2018 y Sharma *et al.* 2019). La moringa es resistente a la sequía, lo que no excluye que experimente estrés por la falta de agua. Las plantas desarrolladas en suelo, con menor capacidad de campo, se pudieron enfrentar a cierto grado de estrés hídrico, lo que incrementó el contenido de clorofila y carotenoides (figura 4). Abud *et al.* (2018) observaron mayor contenido de clorofila en la moringa cuando recibió menos riego. El aumento del contenido de carotenoides puede estar relacionado con su función en la protección y señalización ante el estrés, como propone Nisar *et al.* (2015). Las plantas en suelo tuvieron mayor crecimiento en altura y acumulación de biomasa en el tallo, con respecto a las plantas en suelo: aserrín (figura 2 a y 3 d), lo que puede estar relacionado con la mayor concentración de pigmentos. Saini *et al.* (2012) informan que un mayor contenido de clorofila y carotenoides en la moringa se asocia con un crecimiento vegetativo más vigoroso, pues la concentración de pigmentos es un indicador de la capacidad de las plantas para realizar fotosíntesis y producir biomasa (Taiz y Zeiger 2014).

En la moringa, la razón de peso vástago/raíz es un

In moringa, shoot/root weight ratio is a quality index that shows good development when it is between 1.5 and 2.5 (Sáenz *et al.* 2010). Only the plants in soil:sawdust reached a shoot/root ratio within the proposed limits at 28 days (table 1), a sign of a more equitable development in both systems. This allows the root to support the aerial part, and the aerial part to fix the carbon necessary for plant growth.

The highest LWR, reached by plants in soil:sawdust at 20 days, was influenced by the fact that dry biomass of its stems was lower compared to that of soil plants in soil (figure 3d). This tendency was reversed at 28 days, because DW of leaves between 20 and 28 days did not considerably vary (figure 3b) or increased biomass accumulation in stems and roots. Plants in soil had higher DW of the stem than those in soil:sawdust, and the latter had greater growth in their root system (figure 3f), which determined the performance of the LWR index. Biomass distribution of plants in each treatment had an effect on AGR and RGR, because they had twice the value for plants sown in soil:sawdust than in soil. Although these last presented higher height, they could be subjected to some stress due to water deficit. This could decrease, to a certain extent, stomatal conductance to avoid water loss causing a lower photosynthetic rate (Núñez and 2017), and lower total biomass accumulation with respect to plants in soil:sawdust (figure 3 b, d and f).

The establishment of *M. oleifera* in a nursery with red ferralitic soil stimulates the production of photosynthetic pigments, growth in height, and dry biomass in the stem. Soil:sawdust (1:1) substrate constitutes a good alternative for places in which rains are infrequent, as it increases the dimensions of leaves and root biomass. In addition, an equitable growth between root system and the aerial part of plants is obtained.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interests among them

Author's contribution

F. G. Loiret: Design and conducting the experiment, data analysis, manuscript writing

Yadiana Ontivero: Conducting the experiment, data analysis, manuscript writing

Diandra García: Conducting the experiment, data analysis, manuscript writing

índice de calidad que evidencia un buen desarrollo, cuando se encuentra entre 1.5 - 2.5 (Sáenz *et al.* 2010). Solo las plantas de suelo: aserrín a los 28 días alcanzaron razón vástago/raíz entre los límites propuestos (tabla 1), señal de un desarrollo más equitativo en ambos sistemas. Esto le permite a la raíz sostener la parte aérea, y a la parte aérea fijar el carbono necesario para el crecimiento de la planta.

El hecho de que la biomasa seca de los tallos en el sustrato suelo: aserrín fuera menor con respecto a la biomasa de las plantas en suelo (figura 3d) influyó en la mayor LWR que alcanzaron las plantas en aquel sustrato a los 20 d. Esta tendencia se invirtió a los 28 d, lo que se debe a que el PS de las hojas entre los 20 y 28 d no varió considerablemente (figura 3b) o aumentó la acumulación de biomasa en tallos y raíces. Las plantas en suelo tuvieron mayor PS del tallo que las de suelo: aserrín, y estas últimas tuvieron mayor crecimiento en su sistema radical (figura 3f), lo que determinó el comportamiento del índice LWR. La distribución de la biomasa de las plantas en cada uno de los tratamientos influyó en que la AGR y la RGR tuvieran el doble del valor para las plantas sembradas en suelo:aserrín, en comparación con las plantadas en suelo. Aunque estas últimas presentaron mayor altura, pudieron estar sometidas a cierto estrés por déficit hídrico. Esto pudo disminuir en alguna medida la conductancia estomática para evitar la pérdida de agua, lo que ocasiona menor tasa fotosintética (Núñez *et al.* 2017), y provocó menor acumulación de biomasa total en las plantas sembradas en suelo con respecto a las que tuvieron como sustrato suelo: aserrín (figura 3 b, d y f).

El establecimiento de *M. oleifera* en vivero con suelo ferralítico rojo estimula la producción de pigmentos fotosintéticos, el crecimiento en altura y la biomasa seca en el tallo. El sustrato suelo: aserrín (1:1) constituye una buena alternativa para lugares donde las lluvias son poco frecuentes, pues incrementa las dimensiones de las hojas y la biomasa radical; además se obtiene un crecimiento equitativo entre el sistema radical y la parte aérea de las plantas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

Contribución de los autores

F. G. Loiret: Idea original, diseño y conducción del experimento, análisis de los datos, escritura del manuscrito

Yadiana Ontivero: Conducción del experimento, análisis de los datos y escritura del manuscrito

Diandra García: Conducción del experimento, análisis de los datos y escritura del manuscrito

References

- Abud, M., Espinosa, A.K., González, T., Gutiérrez, V.F., Ruíz, V., González, D., Rodríguez, L. & Gutiérrez, F.A. 2018. "Growth and biochemical responses of moringa (*Moringa oleifera* L.) to vermicompost and phosphate rock under water stress conditions". *Phyton*, 87: 209-215, ISSN: 0031-9457.
- Babatunde, W., Funsho, R. & Adeola, M. 2019. "Effect of growth media composition on early growth and development of moringa (*Moringa oleifera* L.) seedlings". *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 42(1): 315-332, ISSN: 2231-8542.

- Bancessi, A., Bancessi, Q., Baldé, A. & Catarino, L. 2019. "Present and potential uses of *Moringa oleifera* as a multipurpose plant in Guinea-Bissau". South African Journal of Botany, 129 (March 2020): 206-208, ISSN: 0254-6299, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.06.013>.
- Cardoso, M., Medeiros, C., Carvalho, D. & Hipólito, A. 2006. "Profundidad y posición de la semilla en la emergencia y desarrollo de plántulas de *Moringa*". Centro Agrícola, 33(1): 5-8, ISSN: 2072-2001.
- Casanova, F., Cetzal, W., Díaz, V., Chay, A., Oros, I., Piñeiro, A. & González, N. 2018. "*Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae): Árbol exótico con gran potencial para la ganadería ecológica en el trópico". AgroProductividad, 11(2): 100-105, ISSN: 2594-0252.
- Conceição, P.C., Carneiro, T.J., Mielniczuk, J. & Spagnollo, E. 2005. "Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados". Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29(5): 777-788, ISSN: 1806-9657, DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013>.
- González, C. E. & Crespo, G. 2016. "Respuesta de *Moringa oleifera* Lam a estrategias de fertilización en suelo ferralítico rojo lixiviado". Pastos y Forrajes, 39(3): 106-110, ISSN: 2078-8452.
- Hernández, A., Pérez, J.M., Bosh, D. & Castro, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. 1st Ed. Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, González, O. (ed.). San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, p. 93, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Plant Growth Analysis for Beginners. Ed. Unwin Hyman. London, U.K, p. 112, ISBN: 0-04-445372-8, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6>.
- INSMET (Instituto de Meteorología de la República de Cuba). 2019. Resumen Mensual (Noviembre de 2019). Available: <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=MES&TB2=/Mes/NOVIEMBRE2019.HTM&TB3=2019> [Consulted: November 30th, 2020].
- Kirkham, M.B. 2004. Field capacity, wilting point, available water, and the non-limiting water range. In: Principles of soil and plant water relations. Kirkham, M.B. (ed). Ed. Academic Press, Burlington, U.S.A., pp101-115, ISBN: 0-12-409751-0.
- Ledeá-Rodríguez, J.L., Pérez, J.J.R., León, O.L.O., Jiménez, D.G.B., Pérez, R.C.A. & Martínez, Y.M. 2020. "Agroproductive response of *Moringa oleifera* Lam. in different ages and cutting heights". Tropical and Subtropical Agroecosystems, 23(1): 1-9, ISSN: 1870-0462.
- Medina, G.M., García, D.E., Clavero, T. & Iglesias, J.M. 2007. "Estudio comparativo de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento". Zootecnia Tropical, 25(2): 83-93, ISSN: 2542-3436.
- Mora, R.A. & García, J. 2017. Características físicas, capacidad de germinación y crecimiento en vivero de la *Moringa oleifera* Lam, bajo cuatro sustratos en el Municipio de Turbo. Diploma Thesis. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, Turbo, Antioquia, Colombia, p. 53.
- Nisar, N., Li, L., Lu, S., Khin, N.C. & Pogson, B.J. 2015. "Carotenoid metabolism in plants". Molecular Plant, 8(1): 68-82, ISSN: 1752-9866, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.12.007>.
- Njehoya, C.A., Bourou, S., Awono, P.K. & Bouba, H. 2014. "Évaluation du potentiel de germination de *Moringa oleifera* dans la zone soudano-guinéenne du Cameroun". Journal of Applied Biosciences, 74(1): 6141-6148, ISSN: 1997-5902, DOI: <https://doi.org/10.4314/jab.v74i1.5>.
- Núñez, M., Dell'Amico, J., Pérez, M.C. & Betancourt, M. 2017. "Estrés hídrico y salino en cítricos. Estrategias para la reducción de daños". Cultivos Tropicales, 38(4): 65-74, ISSN: 1819-4087.
- Ortega, E. & Rodés, R. 1986. Manual de Prácticas de Laboratorio de Fisiología Vegetal. Ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba, p. 196.
- Padilla, C., Valenciaga, N., Crespo, G., González, D. & Rodríguez, I. 2017. "Requerimientos agronómicos de *Moringa oleifera* (Lam.) en sistemas ganaderos". Livestock Research for Rural Development, 29(11), ISSN: 0121-3784, Available: <http://www.lrrd.org/lrrd29/11/idal29218.html>.
- Patricio, H.G. & Palada, M.C. 2017. "Adaptability and horticultural characterization of different moringa accessions in Central Philippines". ISHS Acta Horticulturae, 1158: 45-53, ISSN: 2406-6168, DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1158.6>.
- Rosales, L., Pérez, M., Herrera, J., González, J. A. & Cid, G. 2020. "Efecto del manejo del suelo sobre la infiltración en un suelo Ferralítico Rojo compactado". Revista Ingeniería Agrícola, 10(4): 20-30, ISSN: 2227-8761.
- Ruiz, A., Araméndiz, H. & Cardona, C. 2017. "Efecto del almacenamiento en la calidad fisiológica de semilla de moringa (*Moringa oleifera* Lam.)". U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 20(1): 79-89, ISSN: 0123-4226.
- Sáenz, J.T., Villaseñor, F.J., Muñoz, H.J., Rueda, A. & Prieto, J.A. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico No. 17, SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Uruapan, Michoacán, México, p. 48, ISBN: 978-607-425-335-1.
- Saini, R.K., Shetty, N.P., Giridhar, P. & Ravishankar, G.A. 2012. "Rapid in vitro regeneration method for *Moringa oleifera* and performance evaluation of field grown nutritionally enriched tissue cultured plants". 3 Biotech, 2: 187-192, ISSN: 2190-5738, DOI: <https://doi.org/10.1007/s13205-012-0045-9>.
- Sarwar, M., Ali, A., Nouman, W., Arshad, M.I. & Patra, J.K. 2017. "Compost and synthetic fertilizer affect vegetative growth and antioxidants activities of *Moringa oleifera*". International Journal of Agriculture & Biology, 19(5): 1293-1300, ISSN: 1814-9596, DOI: <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0465>.
- Selvakumari, P. y Ponnuswami, V. 2017. "Correlation and genetic variation of thirty-four different genotypes of moringa (*Moringa oleifera*, Lam.) in Tamil Nadu Condition, India". International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6(8): 332-335, ISSN: 2319-7706, DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.043>.
- Sharma, A., Kumar, V., Shazad, B., Ramakrishnan, M., Singh, G.P., Shreeya, A., Handa, N., Kapoor, D., Yadav, P., Khanna, K., Bakshi, P., Rehman, A., Kaour, S., Khan, E.A., Daman, R., Yuan, H., Kumar, A., Bhardwaj, R. & Zheng, B. 2019. "Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review". Journal of Plant Growth Regulation 39: 509-

531, ISSN: 1435-8107, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10018-x>.

Silvestre, B.G. 2019. Evaluación del efecto de cinco sustratos en el desarrollo de plantas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en vivero, en la comuna Entre Ríos, provincia de Santa Elena. Diploma Thesis. Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad. Ecuador, p. 51.

StatSoft, Inc. 2011. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 10. Available: <http://www.statsoft.com>.

Solorio, F.J. & Solorio, B. 2002. "Integrating fodder trees into animal production systems in the tropics". Tropical and Subtropical Agroecosystems, 1(1): 1-11, ISSN: 1870-0462.

Su, B. & Chen, X. 2020. "Current Status and Potential of *Moringa oleifera* Leaf as an Alternative Protein Source for Animal Feeds". Frontiers in Veterinary Science, 7(53): 1-13, ISSN: 2297-1769, DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00053>.

Taiz, L. & Zeiger, E. 2014. Plant Physiology. 5th Ed. Ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts, U.S.A., p. 672.

Toral, O., Reino, J., Santana, H. & Cerezo, Y. 2013. "Caracterización morfológica de ocho procedencias de *Moringa oleifera* (Lam.) en condiciones de vivero". Pastos y Forrajes, 36(4): 409-416, ISSN: 2078-8452.

Valdés, O.A., Muñoz, C., Pérez, A. & Martínez, L.E. 2014. "Análisis y ajuste de curvas de crecimiento de *Moringa oleifera* Lam. en diferentes sustratos". Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan, 2(2): 66-70, ISSN: 2007-6940.

Wu, J.C., Zhang, Y.P., Zheng, Y.X. & Peng, X.M. 2018. "Pollen mediated gene flow in a small experimental population of *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae)". Industrial Crops and Products, 117(July 2018): 28-33, ISSN: 0926-6690, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.077>.

Yang, S., Ma, C., Xie, P., Zhu, H. Shao, J., Li, Q., Gao, X. & Li, F. 2015. Chapter 2: Section 1, 2 & 3. Breeding, cultivation and pest management on *Moringa oleifera*. In: Modern *Moringa oleifera* Lam. Biology. Sheng, J. (ed). Ed. Yunnan Publishing Group Corporation, Beijing, China, pp. 73-128, ISBN: 978-7-5416-9168-3.

Received: September 30, 2020

Accepted: January 27, 2021