

Evaluación de cinco sustratos para la obtención de plantas de la especie *Jatropha curcas*

DOMINGO-FERNÁNDEZ, Rubén*†, TÉLLEZ-MAZZOCCO, Denisse, HERNANDEZ-HERNANDEZ, Miguel Angel y DE LA CRUZ-DE LA CRUZ, Emigdio

Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. Carretera Huejutla-Chalahuiyapa S/N Colonia Tepoxteco. C.P. 43000. Huejutla de Reyes Hidalgo.

Recibido 2 de Enero, 2015; Aceptado 26 de Marzo, 2015

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo evaluar cinco sustratos disponibles en la región (peat moss, tierra, arena, gravilla y lombricomposta) y determinar su efecto en la obtención de plantas de la especie *Jatropha curcas*. Se realizaron cuatro tratamientos: T1 (lombricomposta 60%+ arena 20%+ peat moss 20%), T2 (tierra 40%+ arena 10%+ 50 %), T3 (lombricomposta 30%+ peat moss 60%+ gravilla 10%) y un testigo (Tierra 100%). Se utilizó un diseño completo al azar (DCA) con tres repeticiones para cada tratamiento. Se evaluaron las variables altura, diámetro de tallo, número de hojas y longitud de raíces. Siendo los tratamientos 1 (lombricomposta 60%+ arena 20%+ peat moss 20%) y el tratamiento 3 (lombricomposta 30% + peat moss 60%+ gravilla 10%) los mejores al observarse plantas con mejores características fenotípicas. Por tal motivo, la identificación y utilización de sustratos disponibles en la región con características como mayor retención de agua, humedad, buena aireación y alto contenido de materia orgánica, permiten la obtención de plantas de *Jatropha curcas*, una especie con aplicaciones en el área industrial, medicinal, económica y alimentaria.

Sustratos, *Jatropha curcas*, fenotipo.

Abstract

This project aimed to evaluate five substrates available in the region (peat moss, soil, sand, gravel and vermicompost) and determine their effect on the production of plants of the species *Jatropha curcas*. Four treatments were performed: T1 (vermicompost 60% + 20% sand + peat moss 20%), T2 (40% soil + sand 10% + 50%), T3 (vermicompost 30% + 60% peat moss gravel + 10%) and a control (100% Earth). A complete randomized design (CRD) with three replicates for each treatment was used. The variables height, stem diameter, leaf number and root length were evaluated. As treatments 1 (vermicompost 60% + 20% + sand 20% peat moss) and Treatment 3 (vermicompost 30% + 60% peat moss gravel + 10%) the best plants to be observed phenotypic characteristics best. Therefore, the identification and utilization of substrates available in the region with features such as increased water retention, moisture, good ventilation and high in organic matter, allow obtaining *Jatropha curcas*, a species with applications in the industrial area, medicinal, economic and food.

Substrates, *Jatropha curcas*, phenotype.

Citación: DOMINGO-FERNÁNDEZ, Rubén, TÉLLEZ-MAZZOCCO, Denisse, HERNANDEZ-HERNANDEZ, Miguel Angel y DE LA CRUZ-DE LA CRUZ, Emigdio. Evaluación de cinco sustratos para la obtención de plantas de la especie *Jatropha curcas*. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias 2015, 2-2:169-184

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ruben.domingo@uthh.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La creciente demanda de combustibles fósiles para producir energía por combustión, ha generado emisión de gases en la atmósfera con efecto invernadero, que contribuye al cambio climático. Por esta razón y teniendo en cuenta que las reservas mundiales de estos combustibles tienden a agotarse por ser fuentes de energía no renovables, en los últimos años se ha incrementado la búsqueda de energías alternativas que han ido ganando popularidad como opción para enfrentar las problemáticas mencionadas. De esta manera, los biocombustibles han surgido como una opción apropiada, por ser energía renovable.

Actualmente una nueva alternativa para la fabricación de biocombustibles es la utilización de productos vegetales como por ejemplo cultivos de maíz, soya, caña de azúcar, entre otros. El problema es destinar tierras fértiles para cultivos con fines de producción de biocombustibles, lo cual puede solucionarse con la utilización de sustratos que cumplan con características ideales que permitan la obtención de especies tales como la *Jatropha curcas*, además ser una especie con características de adaptarse a tierras áridas, se podría aprovechar para ser sembrada en zonas poco productivas (De La Vega, 2008).

El cultivo de la especie *Jatropha curcas* tiene la capacidad de sobrevivir y crecer en tierras marginales, erosionadas, pobres en nutrientes y requiere un mínimo riego, de aquí la importancia de propagar esta especie vegetal para reactivar la economía en ciertas zonas improductivas del país (Falasca & Ulberich, 2006; De La Vega, 2008). La planta es tolerante a sequía Gübittz et al. (1959) además de crecer en suelos pedregosos o arenosos con un contenido bajo en nutrientes (Li et al., 2008) y es ligeramente tolerante a terrenos salinos.

Las propiedades fisico-químicas del biodiesel obtenido de *J. curcas*, cumple con los estándares internacionales europeos, además presenta ventajas sobre el diesel pues disminuye la emisión de una variedad de contaminantes. Las emisiones de dióxido de carbono no han sido todavía medidas para *J. curcas*. Sin embargo, se ha demostrado en los Estados Unidos que el uso del biodiesel obtenido a partir del aceite de soya reduce las emisiones de CO₂ y SO₂ en un 80 y 100%, respectivamente comparado con el petro-diesel (Francis et al., 2005).

Por tal motivo la utilización y obtención de sustratos disponibles en la región, podría ser una alternativa para la propagación y obtención de plantas de la especie *Jatropha curcas* con características fenotípicas deseables, que permitan comercializarla por su gran variedad de aplicaciones y ser una fuente de ingresos para los productores de la región.

Dicho trabajo tiene como objetivo evaluar cinco sustratos para la obtención de la especie *Jatropha curcas* con características fenotípicas deseables. Se utilizó la combinación de cinco sustratos y se utilizó un diseño completo al azar (DCA) con tres repeticiones para cada tratamiento. Se evaluaron las variables altura de planta (AT), diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH) y longitud de raíz (LR). El presente trabajo está estructurado de la siguiente forma: En primer lugar se da a conocer la distribución, taxonomía, morfología y aplicaciones de la especie *Jatropha curcas*, así como el concepto de sustrato, clasificación y las propiedades físicas y químicas que presentan. Posteriormente se desarrolla la metodología empleada y finalmente los resultados y conclusiones del trabajo.

La planta *Jatropha curcas*

La planta de *Jatropha curcas* pertenece a la familia de las Euphorbiaceae, nativa de México y Centroamérica, pero es ampliamente cultivada en Centro América, África y Asia. En la República Mexicana se encuentra distribuida en los estados de Chiapas, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán, Zacatecas y el estado de México (Sánchez, 2008).

El cultivo de esta planta cada día se extiende con mayor fuerza en países como India, Brasil, Guatemala y algunos países africanos, los cuales están trabajando para perfeccionar las técnicas del cultivo y los procesos industriales de sus diferentes biomásas y/o residuos

La planta de *J. curcas* es resistente a la sequía y crece en suelos pobres y arenosos, en climas tropicales y semitropicales, en altitudes que van desde los 0-1500 msnm. El látex de sus hojas, se ha utilizado en medicina tradicional y también como cerca viva, protegiendo de la erosión (Makkar et al., 1998; Martínez et al., 2006). La popularidad actual de la planta se debe al uso su aceite. Esta especie vegetal es única entre todas las fuentes de energía renovable en términos del gran número de posibilidades de utilización que pueden realizarse. Su cultivo requiere de simple tecnología, y comparativamente modesto capital de inversión (Francis et al., 2005).

El arbusto de *J. curcas* tiene un periodo productivo de más de 40 años. Un promedio anual de producción de semilla alrededor de 5 Ton/Ha puede esperarse en excelentes tierras y precipitaciones de 900-1200 mm (Francis et al., 2005).

Jatropha curcas sobrevive y crece en las tierras marginales y erosionadas, en las tierras que ya no sirven para la actividad agrícola (Jones y Miller, 1992). Crece en suelos salinos, arenosos y rocosos. Las heladas de baja intensidad y duración corta son toleradas aunque puede disminuir el rendimiento hasta un 25%. Climáticamente, se encuentra en los trópicos y subtropicos, resiste normalmente el calor aunque también soporta bajas temperaturas y puede resistir hasta una escarcha ligera.

Taxonomía

Jatropha curcas es una especie que pertenece al reino plantae de la división filogenética magnoliophyta, de la clase magnoliopsida, del orden euphorbiales, de la familia euphorbiaceae y comúnmente se le conoce como piñón (Gubitz, Mittelbach & Trabi, 1997). *Jatropha curcas* es una planta oleaginosa con más de 3500 especies con gran distribución en los trópicos.

Morfología

Aspectos generales

Es un arbusto caducifolio de 4-6 m de altura; con un diámetro de tronco aproximado de 14-18 cm en arbustos adultos; con una corona delgada de ramas muy redondeadas y extendidas, las plantas jóvenes tienen una corona delgada e irregular; corteza externa lisa escamosa y muy delgada, de color pardo claro, con pequeñas lenticelas; corteza interna lisa verrugosa de color verde oscuro; látex blanquecino con sabor amargo, olor a hierba fresca; ramas de 3-5 cm de diámetro, de color verde claro y grisáceo con cicatrices marcadas (Kobilke, 1989). Es una planta perenne, cuyo ciclo reproductivo se extiende de 45 a 50 años (Cruz et al., 2000).

Es de crecimiento rápido y puede alcanzar una altura de 2 hasta 5 metros, el grosor del tronco puede ser hasta de 20 cm con crecimiento desde la base en distintas ramas. No requiere en un tipo de suelo especial. Se desarrolla normalmente en suelos áridos y semiáridos. Responde bien a suelos con pH de 5 a 7. Sus épocas de plantación son todo el año (preferiblemente en estaciones húmedas). Desarrollada la planta, anualmente se obtienen alrededor de 10 Kg de frutos por planta, de los cuales, 4 Kg corresponden a las semilla. El rendimiento es de 25 toneladas de frutos por hectárea y 10 toneladas de semilla (con una densidad de 2500 13 plantas por hectárea).

Raíz

La planta de piñón posee raíces cortas y poco ramificadas, normalmente cuando las plántulas proceden de semilla se forman cinco raíces, una central y cuatro periféricas (2 secundarias y 2 terciarias) (Alfonso, 2008)

Tallo

No hay uniformidad en el crecimiento de los tallos. El tronco o fuste está dividido desde la base, en ramas largas, con numerosas cicatrices producidas por la caída de las hojas en la estación seca, las cuales resurgen luego de las primeras lluvias (Alfonso, 2008).

Hojas

Las hojas del piñón son verdes, amplias y brillantes, largas y alternas, en forma de palmas pecioladas, la mayoría de 7-16cm de largo y de alrededor del mismo ancho, con nervaduras blanquecinas y salientes en el envés, casi glabras pero más o menos pilosas debajo de las nervaduras. Normalmente se forman con 5 a 7 lóbulos acuminados, pocos profundos y grandes, con pecíolos largos de 10 a 15 cm.

El piñón es un árbol de hojas caducas (caducifolio) durante la época de verano, es común ver los tallos sin hojas (Alfonso, 2008).

2.3.5 Flores

La floración es monoica, presentándose los órganos masculino y femenino en la misma planta, las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas en las 14 ramas. Ambas flores, son pequeñas (6-8 mm), de color verdoso amarillo en el diámetro y pubescente. Cada inflorescencia cuajada muestra un racimo de aproximadamente 5-10 frutos (Alfonso, 2008).

Fruto

Son cápsulas drupáceas y ovoides con diámetro de 1.5 a 3.0 cm. El fruto se triolocular con una semilla en cada cavidad, formando por un pericarpio o cáscara dura y leñosa, indehiscente, hasta llegada la madurez, inicialmente es de color verde, pasando a amarillo, luego a café y al último negro, cuando alcanza el estado de maduración (Alfonso, 2008).

Semilla

La semilla es relativamente grande, cuando está seca mide de 1.5 a 2.0cm de largo y 1.0 a 1.3 cm de diámetro; la semilla de piñón, pesa entre 0.551 a 0.797g, puede tener, dependiendo de la variedad y de los tratamientos culturales, en proporción de 33.7 a 45% de cáscara y de 55 a 66% de almendra (Alfonso, 2008). Las semillas son blancas, presentan testa oscura, de forma elipsoidal. Aceitosa de 2 cm de largo y pesan en promedio alrededor de 0.65 g (Héller 1996).

Generalmente la semilla fresca muestra porcentajes altos de germinación, alrededor del 80%, aunque oscila entre el 60 y el 90%. En condiciones favorables de humedad, esta se lleva a cabo dentro de 10 a 15 días.

Colocando la semilla en el sustrato adecuado y con buena humedad, la germinación comienza incluso del 3er al 5to día. La germinación es epigea dándose de la siguiente manera: la cáscara de la semilla se abre, sale la radícula y se forman 4 raíces periféricas pequeñas, poco después que las primeras hojas se han formado, los cotiledones se marchitan y se caen.

Aplicaciones

Esta especie presenta un gran potencial. En la actualidad se desarrolla la producción de biodiesel a partir de las semillas de esta especie, luego del proceso de transesterificación (aceite de *Jatropha* + alcohol) para la elaboración del biodiesel, se obtiene un 15% de glicerol, con alto valor para su uso farmacológico e industrial, así como la producción de un metabolito denominado curcuma una proteína de interés antiviral y antifúngica producida por esta misma especie. Así mismo la cascara de esta especie es utilizada para biogás por el alto poder calorífico y/o en su defecto para fertilizante orgánico (por contener N, P, K). Mientras que el aceite de la semilla tiene acción purgativa, en enfermedades de la piel y se utiliza para disminuir el dolor causado por el reumatismo, en tanto que el látex tiene propiedades antimicrobianas (Jongschaap et al., 2007).

Medicinales

El aceite de las semillas se usa como emético y purgante. El látex se usa para curar erupciones y afecciones de la piel, así como antiinflamatorio de los ojos. Las diferentes partes de la planta pueden ser utilizadas en úlceras estomacales, como purgante y laxante, en caries dentales, hemorroides, quemaduras, fiebre, gingivitis, abscesos, gonorrea, hongos y diarrea.

Se usa contra el paludismo (en infusión), el reumatismo y la ictericia; es anticancerígeno y alivia la conjuntivitis “Fundación Colombia sin hambre” (2010).

Aceite industrial

Las semillas contienen hasta 50% de aceite que se usa como lubricante fino en relojería y aviación. El aceite de sus semillas puede transformarse en biodiesel, mediante proceso de esterificación y, en caso de variedades tóxicas, el aceite de *Jatropha* puede transformarse en bio-pesticida. “Fundación Colombia sin hambre” (2010).

Tinte

El jugo de la hoja tiñe de rojo y las telas de un color negro indeleble. La corteza tiene un 37% de taninos que dan un colorante azul oscuro.

Alimento

Las semillas tostadas son comestibles, pues pierden su toxicidad después de la cocción “Fundación Colombia sin hambre” (2010). La pasta que se forma al prensar la semilla para sacar aceite, no puede usarse directamente como alimento para animales porque es tóxica para ellos. Sin embargo, si se le hace un proceso de destoxificación, puede usarse para alimentar el ganado vacuno, los cerdos y las aves, pues contiene altos niveles de proteína (55-58%) (Ofie, Catie 2010).

2.4.5 Abono

Sin destoxificar, puede usarse como abono orgánico porque su alto contenido de nitrógeno, es similar al estiércol de gallina. El contenido en nitrógeno varía entre 3 y 4%. Las ramas y hojas tiernas también se usan como abono verde para árboles de coco (*Cocos nucifera*).

Forestales

Es una especie de uso potencial en áreas deforestadas, y constituye una excelente alternativa de reforestación en suelos erosionados, marginales, ociosos y agotados, con una vida útil de 30-50 años.

Control de plagas

Jatropha curcas es una especie vegetal promisoría, con utilidad en el control de plagas a partir del uso de principios activos obtenidos de diferentes partes de la planta que pueden controlar de manera eficiente hongos, parásitos y otros organismos que afectan el crecimiento y la producción de cultivos de importancia económica. Reemplazar plaguicidas sintéticos por sustancias vegetales representa una alternativa viable porque son económicos, se descomponen rápidamente y a pesar de ser tóxicos no tienen un efecto residual prolongado; sin embargo, es necesario utilizarlos con la misma precaución que los plaguicidas químicos (Ludy et al., 2012).

Definición de sustrato

Un sustrato es un material sólido natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un recipiente, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical y desempeña una función de soporte de la planta, pudiendo intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la misma (Abad et al., 2014). Este está formado por tres fases: sólida, constituida por las partículas; líquida, constituida por el agua y nutrientes; y gaseosa, responsable del transporte del oxígeno y dióxido de carbono entre las raíces (Lemaire, 1995). Por su parte, Burés (1997) define a un sustrato como cualquier medio que se utilice para cultivar plantas en contenedor.

Se entiende por contenedor cualquier recipiente que tenga una altura limitada y que su base se encuentre a presión atmosférica, es decir, con drenaje libre (Burés, 1997).

Tipos de sustratos

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, sin embargo de acuerdo a Abad et al., (2004) los sustratos se pueden clasificar con materiales orgánicos e inorgánicos.

Materiales orgánicos

Los materiales orgánicos a la vez se puede subdividir en:

1. De origen natural (turba o peat moss).
2. De síntesis (espuma de poliuretano, poliestireno expandido).
3. Residuos y subproductos de diferentes actividades, aunque este tipo de materiales debe ser previamente acondicionado mediante un proceso de compostaje o vermicompostaje.

Entre algunos ejemplos de este tipo de materiales se encuentra el bazago de caña, bazago de agave, aserrín, corteza de árboles, orujo de uva, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, cascarilla de arroz, paja de cereales, fibra y polvo de coco, entre otros.

Materiales inorgánicos o minerales

Estos materiales también se subdividen en:

1. De origen natural. Se obtiene a partir de rocas o minerales de origen diverso, como por ejemplo: rocas de tipo volcánico como el jal, tezontle, piedra pómez, arena, grava.

2. Materiales transformados o tratados industrialmente. Son obtenidos a partir de rocas o minerales mediante tratamientos físicos y a veces químicos, que modifican las características de los materiales de partida. Algunos ejemplos de estos son la perlita, vermiculita, arcilla expandida y lana de roca.

3. Residuos y subproductos industriales, como las escorias de horno alto, estériles de carbón.

Propiedades físicas de sustratos

Se entiende por propiedades físicas aquellas que se pueden ver y sentir: granulometría, color, retención de agua y aireación. Por el contrario, las propiedades químicas influyen en el suministro de nutrientes, y no podemos apreciarlas con nuestros sentidos (Ansorena, 1994). Las propiedades físicas de los sustratos son consideradas de mayor importancia que las químicas; esto es, si la estructura física del sustrato es inadecuada, difícilmente podrá mejorarse una vez que se ha establecido el cultivo (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999; Pastor, 1999). Para cumplir correctamente sus funciones de regulación del suministro de agua y aire, los sustratos deben poseer una elevada porosidad y capacidad de retención de agua, unidos a un drenaje rápido y una buena aireación (Ansorena, 1994). Las propiedades físicas más importantes son aquellas relacionadas con los poros, es decir, la granulometría, la porosidad y el reparto de las fases sólida y gaseosa (Peñuelas y Ocaño, 2000).

Porosidad

La porosidad total es el volumen de espacios vacíos (espacios porosos) ocupado por fluidos en el volumen total. Sin embargo, no es suficiente conocer la porosidad total de un sustrato para describir la accesibilidad de los fluidos en el espacio poroso (Lemaire, 1995).

Los sustratos presentan dos tipos de poros: internos y externos. La porosidad interna está influenciada por la naturaleza de las partículas, y estado e interconexión de los poros; puede ser abierta o cerrada. Los poros abiertos o percolantes son los que tienen conexión con los poros externos. La porosidad efectiva es la porosidad percolante, abierta o interconectada, que es la que contribuye a la retención y movimiento del agua en el sustrato. La porosidad externa es la que se da por el empaquetamiento o acomodo de las partículas, la cual depende de la forma, tamaño y naturaleza de las mismas (Burés, 1997).

| Propiedades | Zapata et al. (2005) | Nappi y Barberis (1993) |
|---|----------------------|-------------------------|
| Densidad aparente (g cm ⁻³) | < 0.4 | 0.15 – 0.50 |
| Densidad real (g cm ⁻³) | 1.45 – 2.65 | 1.50 |
| Porosidad (%) | > 85 | 85 – 90 |
| Agua fácilmente disponible (%) | 20 – 30 | 20 – 30 |
| Agua difícilmente disponible (%) | 25 – 31 | 60 – 75 |
| Agua de reserva (%) | 4 – 10 | 4 – 10 |

Tabla 1 Propiedades Físicas de los sustratos. Zapata et al., (2005) y Nappi y Barberis (1993).

Granulometría

Es la determinación de la distribución de tamaños de las partículas que conforman un sustrato. La forma de la gran mayoría de las partículas de los sustratos no es esférica ni presenta un tamaño único, por lo que en la práctica la porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de la partícula y viceversa. La granulometría de un material puede caracterizarse fácilmente por medio del tamizado de una muestra secada al aire o en estufa, recolectando cada una de las fracciones retenidas en cada tamiz y cuantificando su peso. Cada una de las fracciones se expresa con base en porcentaje en relación con el peso inicial.

Retención de agua por fase sólida

Una mezcla aireación y retención que tenga una elevada porosidad tendrá las ventajas potenciales de una buena aireación y retención de agua. Sin embargo, el que estas condiciones se den en la práctica dependerá, además, de la distribución de tamaños de los poros. Si estos son grandes, la porosidad estará ocupada principalmente por aire, pudiendo llegar a ser insuficiente la cantidad de agua retenida. Por el contrario, si los poros son excesivamente pequeños, se retendrá mucha agua, pero la cantidad de aire disponible para la respiración de las raíces puede no ser suficiente. Por lo tanto, es necesario que la distribución de tamaños de poro sea la adecuada para que el sustrato retenga las cantidades convenientes de agua y aire.

El concepto de agua disponible incluye tres factores: tipo de planta, condición de la rizósfera y la conductividad hidráulica del sustrato. El tipo de planta incluye la especie y/o cultivar usado, la condición física de la planta, la etapa de madurez, y la distribución de la raíz; la condición de la rizósfera implica el gradiente potencial que existe en la interface sustrato – raíz (Nappi y Barberis, 1993).

Densidad real

La densidad real (D_r) se define como el cociente entre la masa de las partículas del sustrato y el volumen que ocupa, sin considerar a poros y huecos; ésta no depende del grado de compactación ni del tamaño de partícula (Ansorena, 1994). Las sustancias minerales pueden presentar valores de densidad real de 2.65 g mL⁻¹, mientras que los compuestos orgánicos presentan valores promedios de 1.50 g mL⁻¹.

Densidad aparente

La densidad aparente es la relación entre la masa o peso de las partículas y el volumen aparente que ocupan, es decir, incluyendo al espacio poroso total. El volumen aparente es el volumen ocupado por un sustrato considerando materiales sólidos y los poros internos y externos, tanto abiertos como cerrados (Burés, 1997). La densidad aparente tiene relación directa con la porosidad del material; es decir, si se ejerce una presión sobre un sustrato, disminuirá el volumen de poros; al disminuir el volumen total, aumenta la densidad aparente (Ansorena, 1994). La reducción del tamaño de poros, producida por la compactación del sustrato, hace que disminuya la porosidad ocupada por aire y aumente la retención de agua. Nappi y Barberis (1993) indican que valores altos de densidad aparente implican un incremento en el peso del sustrato y disminución de la porosidad y volumen de aire; mientras que bajas densidades son causa de excesiva aireación y disminución de la cantidad de agua disponible para las plantas.

| Nivel de compactación | Porosidad total (%) | Densidad aparente (g mL ⁻¹) | Porosidad de aire (%) | Retención de agua (%) |
|-----------------------|---------------------|---|-----------------------|-----------------------|
| Nulo | 58 | 1.13 | 42 | 16 |
| | 54 | 1.23 | 37 | 17 |
| | 50 | 1.33 | 30 | 20 |
| | 46 | 1.43 | 28 | 18 |
| | 42 | 1.54 | 24 | 18 |
| | 38 | 1.64 | 19 | 19 |
| Máximo | 34 | 1.74 | 9 | 25 |

Tabla 2 Variación de la porosidad, densidad aparente y retención de agua de acuerdo con el grado de compactación. (Ansorena, 1994).

Propiedades químicas de un sustrato**Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

La CIC es una medida de la capacidad de retención de nutrientes, que depende fundamentalmente del pH y del contenido y composición de la materia orgánica y arcilla de la fase sólida, la cual incrementa conforme lo hace el pH (Abad et al., 2004).

Capacidad de amortiguación del pH

Esta propiedad depende del tipo de sustrato (orgánico o inorgánico) en general, los materiales orgánicos con elevada CIC, la capacidad de amortiguamiento ante cambios de pH es mayor.

Metodología**Lugar donde se realizó el proyecto**

El presente proyecto se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, ubicado en la ciudad de Huejutla de Reyes, Hidalgo localizada al norte del estado y geográficamente entre los paralelos 21°08' de latitud norte y 98°25' de longitud oeste, a una altitud de 140 metros sobre el nivel del mar. Registrando un clima cálido-húmedo y una temperatura media anual de 40.1 °C. La precipitación pluvial es de 1,500 milímetros por año (INEGI, 2010).

Recolección de la semilla

Se utilizaron semillas de la especie *Jatropha curcas*, recolectadas con anterioridad en la localidad de Tepeco situado en el Municipio de Huautla en el Estado de Hidalgo.

Pruebas sanitaria en semillas de *Jatropha curcas*

Se colocaron 12 semillas de la especie *Jatropha curcas* en 125 ml de medio de cultivo Agar Dextrosa Saboraud (ADS) con tetraciclina con antibiótico al 0.1 %; distribuidos en 6 placas Petri. La siembra de las semillas se realizó bajo dos tratamientos en una campana de flujo laminar, colocando 3 placas Petri con semillas de piñón sin desinfectar y 3 placas Petri con semillas de piñón desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1 % durante 30 segundos y enjuagadas con H₂O destilada, con el objetivo de trabajar con semillas libres de patógenos antes de ser colocadas en el sustrato.

Posterior a la inoculación, las semillas se colocaron en una incubadora marca Felisa por 48 horas a 27°C.

Selección del sustrato

Se utilizaron cinco sustratos; lombricomposta, arena, peat moss, gravilla y tierra en diversas proporciones. Dichos sustratos se encuentran disponibles en la región.

Desinfección y preparación del sustrato

La desinfección del sustrato se llevo a cabo utilizando el método de solarización.

Por último se estableció la técnica de agua caliente a una temperatura de 100% con las bolsas de los sustratos.

Los sustratos se colocaron en bolsas de 25 x 10 cm dentro de un invernadero de tipo baticenital dentro de la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense.

Siembra de la semilla para la obtención de plántulas

Después de haber establecido los sustratos en las bolsas. Las semillas se colocaron en estos con una profundidad de tres centímetros.

Tratamientos

Se establecieron cuatro tratamientos con diversas combinaciones T1 (lombricomposta 60%+ arena 20%+ peat moss 20%), T2 (tierra 40%+ arena 10%+ 50 %), T3 (lombricomposta 30%+ peat moss 60%+ gravilla 10%) y como testigo tierra en un 100 %.

| TRATAMIENTOS | | (%) |
|--------------|-----------------------------------|----------|
| T1 | LOMBRICOMPOSTA+ARENA+PEAT MOSS | 60-20-20 |
| T2 | TIERRA+ARENA+PEAT MOSS | 40-10-50 |
| T3 | LOMBRICOMPOSTA+PEAT MOSS+GRAVILLA | 30-60-10 |
| T4 | TIERRA | 100 |

Tabla 3 Tratamientos evaluados.

Diseño experimental y análisis de los datos

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) en el cual se desarrollaron 4 tratamientos, por cada tratamiento hubo un total de 3 repeticiones. Se evaluaron las variables de respuesta mediante un análisis de varianza, a las variables que resultaron con diferencias significativas, se realizó la comparación de medias por la prueba de Tukey. Los datos se analizaron en el programa estadístico de la Universidad de Nuevo León.

Variables evaluadas

Diámetro de tallo (DT)

Se midió el diámetro de tallo con la ayuda de una cinta métrica en la parte central de la planta, después de un mes de haber realizado la siembra, los datos se reportaron en centímetros (cm).

Altura de plántula (AP)

Se realizaron las mediciones de altura de cada plántula después de un mes de haberse sembrado, para ello se tomaron datos de cinco plantas por tratamiento, los datos se reportaron en centímetros (cm), tomando datos cada quince días.

Numero de hojas (NH)

Se contó el número de hojas cada quince días para cada tratamiento.

Longitud de raíz (LR)

Se realizaron las mediciones de la longitud de raíz, los datos se reportaron en centímetros (cm) tomando los datos cada quince días.

Resultados y Discusión

Altura de planta (AP)

Los promedios de medias de altura de planta (Tabla 4) muestran diferencias entre los tratamientos.

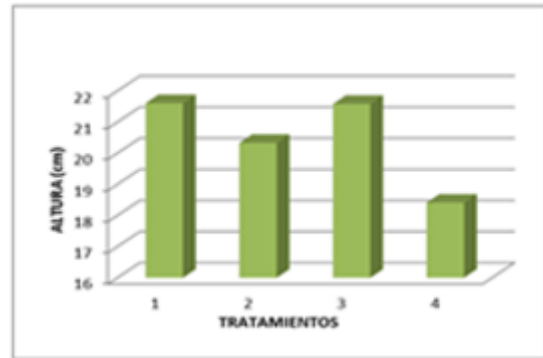
| T | MEDIA AP |
|---|----------|
| 1 | 21.6067 |
| 2 | 21.5800 |
| 3 | 20.3300 |
| 4 | 18.41 |

Tabla 4 Comparación de promedios de medias en la variable Altura de la planta.

Como se observa en la gráfica 1, el T1 (lombricomposta+ arena+ peat moss) y T2 (tierra+ arena+ peatmoss), fueron los que presentaron mayor altura en la planta con 21.6 y 21.5 centrimetros respectivamente, siendo el testigo (tierra) el que presento una altura de 18.41 centimentros.

Los resultados obtenidos en esta variable fueron mejores en comparación con Fúnez et al. (2009), que evaluando sustratos en el desarrollo de plántula de *Jatropha* resulto que la combinación de pulpa-cascarilla-madera, mostró una altura de planta de 15.8 cm. Martínez y Aragon (2014) evaluando tres genotipos obtuvieron plantas con una altura de 7.36 centimetros evaluando el tratamiento compuesto de 50% de composta + 50% tezontle.

En dicha evaluación el T1 (lombricomposta+ arena+ peat moss) fue el mejor al presentar plantas con mayor altura, debido a que los sustratos con alto contenido de materia orgánica generan mayor altura en plantas de *Jatropha*, como lo muestra un estudio en suelos andosoles realizado en Indonesia (Hamim et al., 2011).



Gráfica 1 Altura de la planta de *Jatropha curcas* en diversos tratamientos.

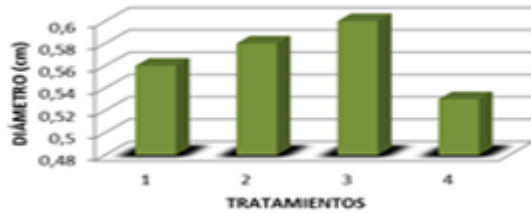
Diámetro de tallo (DT)

Los promedios de medias en diámetro de tallo (Tabla 5) muestran diferencias entre los tratamientos.

| T | MEDIA DT |
|---|----------|
| 3 | 0.6000 |
| 2 | 0.5800 |
| 1 | 0.5600 |
| 4 | 0.5300 |

Tabla 5 Comparación de promedios de medias en la variable Diametro de Tallo.

En la gráfica 2 se observa que el tratamiento 3 (lombricomposta+ peat moss+ gravilla) fue el mejor tratamiento presentando plantas con un diámetro de tallo de .6000 mientras que el tratamiento 4 (tierra) presentó plantas con un menor diámetro de tallo con .53000 centimetros.



Gráfica 2 Diametro de tallo de plantas de *Jatropha curcas* en los diversos tratamientos.

Los resultados obtenidos en esta variable fueron mejores en comparación con Fúnez et al. (2009), al obtener plántulas con un diámetro de .7 centímetros.

Martínez y Aragon (2014) obtuvieron plantas con diámetros de tallo de 5.17 mm y 5.1 mm utilizando los tratamientos de 50% composta + 50% tierra de monte y 50% composta + 50% de tezontle respectivamente

Números de hojas (NH)

En el análisis de varianza (Tabla 6) muestra que hubo diferencia significativa con la probabilidad de 0.05 de nivel de significancia, se observa que la $F_c < F_t$ por lo cual indica que si existe diferencia en cuanto al comportamiento de los tratamientos evaluados en la variable número de hojas, estos datos son reafirmados con el promedio de medias (Tabla 7).

| FT | GL | SC | CM | FC | FT 0.05 |
|--------------|----|-------|------|-----|---------|
| TRATAMIENTOS | 3 | 154 | 0.51 | 7.9 | 292 |
| ERROR | 8 | 0.522 | 0.07 | | |
| TOTAL | 11 | 1.064 | | | |
| CV= 6.6123% | | | | | |

Tabla 6 Análisis de varianza de la variable Número de hojas.

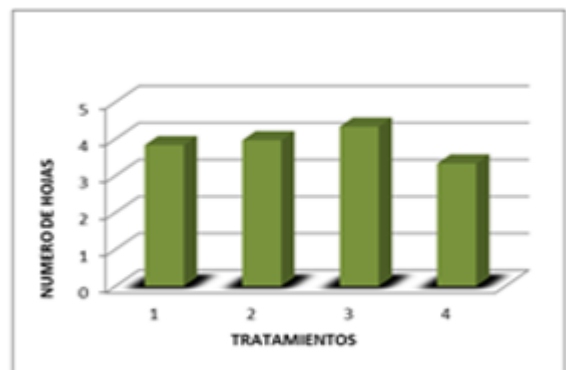
| T | MEDIA NH |
|---|-----------|
| 3 | 4.33 00 A |
| 2 | 3.9600 AB |
| 1 | 3.83 AB |
| 4 | 3.33 B |

Tabla 7 Comparación de promedios de medias de la variable Número de hojas.

En la gráfica 3, se muestra que el tratamiento 3 (lombricomposta+ peat moss+ gravilla) tuvo mayor número de hojas con un promedio de 4.3300, seguido del tratamiento 2 (tierra+ arena+ peat moss) bajo un promedio de 3.9600 y el menor número de hojas lo presento el tratamiento 4 (tierra) con un promedio de 3.33.

Los resultados obtenidos en esta variable fueron mejores en comparación con Fúnez et al. (2009), al obtener plantas de 2 a 3 hojas.

Las características de los sustratos empleados en el T3 permiten mayor retención de agua en el caso de la gravilla, el peat-moss presenta una buena retención de humedad, buena aireación y alto contenido de materia orgánica. Mientras que la lombricomposta presenta gran cantidad de nutrientes.



Gráfica 3 Numero de hojas en plantas de *Jatropha curcas* en los diversos tratamientos.

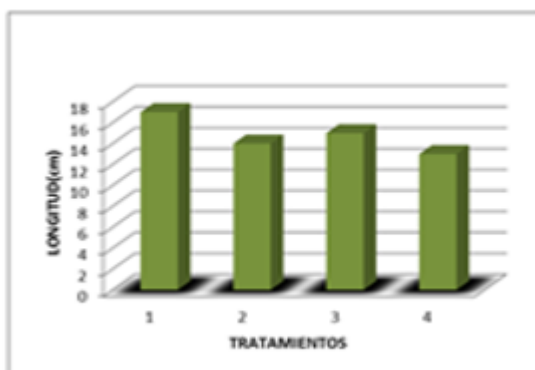
Longitud de raíz (LR)

En la tabla 8 se observa el promedio de medias de la variable longitud de raíz mostrando diferencia entre tratamientos evaluados.

| T | MEDIA |
|---|-------|
| 1 | 17 |
| 2 | 14 |
| 3 | 15 |
| 4 | 13 |

Tabla 8 Comparación de promedios de medias en la variable longitud de hojas

En la gráfica 4 se observa que el tratamiento 1 (lombricomposta+ arena+ peat moss) y T3 (tierra+ arena+ peatmoss) presentaron una mayor longitud de raíz de 16 y 14 centímetros respectivamente, siendo el tratamiento 4 (tierra) el que presentó plantas con 12 centímetros. Martínez y Aragon (2014) obtuvieron raíces con una longitud de 10.82 centímetros utilizando como sustrato 100% composta.



Gráfica 4 Longitud de raíces en plantas de *Jatropha curcas* en los diversos tratamientos.

Agradecimientos

Los autores agradecemos al Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP) por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto. Con número de carta PROMEP/103.5/12/7956.

Conclusiones

Un sustrato es un material sólido natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un recipiente, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical y desempeña una función de soporte de la planta, pudiendo intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la misma.

La especie *Jatropha curcas* actualmente tiene una gran importancia por la gran variedad de aplicaciones en el área industrial, medicinal, económica y alimentaria.

Para la obtención de plantas de *Jatropha curcas* con características fenotípicamente deseables fue necesario realizar combinaciones de sustratos, utilizando como material: arena, lombricomposta, gravilla, tierra y peat moss en porcentajes y condiciones adecuadas.

En la variable altura de la planta se determinó que los mejores tratamientos fueron el T1 (Lombricomposta 60%+ arena 20%+ peat moss 20%) al tener una media de 21.6067 en altura, y el T3 (Lombricomposta 30%+ peat moss 60%+ gravilla 10%), T2 (tierra40%+ arena 10%+ peat moss 50%).

En la variable diámetro de tallo el tratamiento T3 (Lombricomposta 30%+ peat moss 60%+ gravilla 10%) con una media de 0.6000, fue el que presentó el valor más alto en esta variable, seguido del T2 (tierra40%+ arena 10%+ peat moss 50%) y T1 (Lombricomposta 60%+ arena 20%+ peat moss 20%).

En cuanto al número de hojas los tratamientos T3 (Lombricomposta 30%+ peat moss 60%+ gravilla 10%), presento el mayor número de hojas, con un valor de 4.3300, seguido del T2 (tierra40%+ arena 10%+ peat moss 50%) con una media de 3.9600.

En la variable longitud de raíz el mejor tratamiento fue el T1 (Lombricomposta 60%+ arena 20%+ peat moss 20%) con una media de 17 cm teniendo el mejor valor en comparación con los demás tratamientos.

Siendo los tratamiento T1 (Lombricomposta 60%+ arena 20%+ peat moss 20%) y el T3 (Lombricomposta 30%+ peat moss 60%+ gravilla 10%), los mejores para la obtención de plantas de la especie *Jatropha curcas* con características fenotípicas deseables.

Debido a las propiedades de dichos sustratos como son la mayor retención de agua y humedad, buena aireación y alto contenido de materia orgánica.

Referencias

Abad, B. M., Noguera, P., y Carrión, B. C. 2004. Los Sustratos en los cultivos sin suelo. En: M. G. Urrestarazu, (Ed). Tratado de cultivo sin suelo. 2nd ed. Mundi-Prensa. Almería, España. pp. 113-158.

Ansorena M., J. (1994). Sustratos. Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. p 107, p 109.

Alfonso, B. J. A. (2008). Manual para el cultivo de Piñón (*Jatropha curcas*) en Honduras.

Burés, S. (1997). Sustratos. Ediciones agrotécnicas. Madrid, España. 342 p.

Cruz, V., Contretas, T y Anaya S. 2000. Aceite de *Jatropha curcas*, análisis de su composición. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.

Instituto Politécnico Nacional. Reporte Técnico. 6 p.

De la Vega Lozano, Jorge Alejandro. *Jatropha curcas* L. (2000). Agro-Energía. En:<http://jatrophacolombia.webcindario.com/Jatropha/Resumen.pdf>.

Falasca, S. L. y Ulberich, A. 2008. Potencialidad bioenergética sudamericana a partir de forestaciones con *Jatropha* sp. (*J. curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*). Revista Virtual REDESMA.

Francis, G. Edinger R., & Becker K. (2005). A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socioeconomic development in degraded areas in India: Need potential and perspectives of *Jatropha* plantations. Nat. Res. Forum 29: 12-24.

Fundación Colombia sin hambre. (2010). Colombia sin hambre cultivando *Jatropha Curcas*. En: http://colombiasinhambre.com/proyectos_detalle.php?idb=81

Fúnez, O. E. N.; Arévalo, G. J., & Pack, J. C. Q. (2009). Comparación de sustratos para la siembra de piñón (*Jatropha curcas*) en etapa de vivero, finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras. Resumen. Ceiba 50: 58-65.

García Barriga, Hernando. (1875). Flora Medicinal de Colombia. Botánica Médica. Instituto de Ciencias Naturales - Universidad Nacional. Bogotá p.104.

Gübittz, G.M., Mittelbach, M. y Trabbi, M. (1999). Exploration of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. Biores. Technol, 67 (3), 73-82.

- Hamim, H.; Sutrisna, A.; Heliyanto, B., & Cholid, M. (2011). Shoot and root growth of *Jatropha curcas* accessions prospective for rootstock on rocky and heavy soil. *J. Life Sci.* 5: 942-953.
- Heller, J. (1996). *Physic nut. Jatropha curcas. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.* Institute of Plants genetics and Crop Plant Research. Rome. 66 p.
- Jones, N & Miller, J. H. (1992). *Jatropha curcas: A multipurpose Species for Problematic Sites,* The World Bank, Washington DC. USA.
- Jongschaap, R. E. E., Corre, W. J., Bindrama, P. S. y Branderbug, W. S. (2007). *Claims and facts of Jatropha curcas L. global Jatropha curcas evaluation, breeding and propagation programme.* Report 158. Plant Research International, Wageningen. Netherlands.
- Kobilke, H. (1989). "Untersuchungen zur Bestandesbegründung von Purgiernuß (*Jatropha curcas* L.) " Diploma thesis. University Hohenheim, Stuttgart.
- Lemaire, F. (1997). The problem of biostability in organic substrates. *Acta Horticulturae.* 450: 63-69.
- Li, J., Li, M. R., Wu, P. Z. y Gu, J. L. (2008). Molecular cloning and expression analysis of a gene encoding a putative B-Ketoacyl-acyl carrier protein (ACP) synthetase III Kas III from *Jatropha curcas*, *Tree Physiol*, 28 (6), 921-927.
- Ludy C. Pabón, MSc., & Patricia Hernández-Rodríguez. (2012). Importancia química de *Jatropha curcas* y sus aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales. *Rev Cubana Plant Med* 17: 210-214.
- Martínez. A., & Aragon. A. (2014). Evaluación de sustratos y genotipos en la germinación de *Jatropha* con potencial comestible (*Jatropha* spp.)*. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* 5: 102-104.
- Martínez-Herrera, J. (2006). *Caracterización genética, nutricional y no nutricional de Jatropha curcas de México.* Tesis de doctorado. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas de México. México. D.F.
- Makkar H.P.S., & Becker K. (1999). Nutritional studies on rats and fish (carp *Cyprinus carpio*) fed diets containing unheated and heated *Jatropha curcas* meal of a non-toxic provenance. *Plant Foods for Human Nut.* 53: 183–192.
- Nappi, P., & Barberis, R. (1993). Compost as growing medium: chemical, physical and biological aspects. *Acta Hort. (ISHS)* 342: 249-257
- Noguera, P.; Abad, M.; Puchades, R.; Noguera, V.; Maquieira, A., & Martínez, J. (1997). Physical and chemical properties of coir waste and their relation to plant growth. *Acta Horticulturae* 450: 365-374
- Ofi-Catie. Árboles de Centroamérica. *Jatropha curcas* L. En: http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/jatropha_curcas.pdf (enero 2010).
- Octagon R. (2006). *Jatropha curcas* su expansión agrícola para la producción de aceites vegetales con fines de comercialización energética. Guatemala
- Openshaw, Keith. «A Review of *Jatropha curcas*: an Oil Plant of Unfulfilled Promise». *Biomass and Bioenergy* 19, 2000.

Peñuelas R., J. L., & Ocaño B. L. (2000). Cultivo de plantas forestales en contenedor. 2ª edición. Mundi Prensa. Madrid, España. 190 p.

Ofi-Catie. (2010). Árboles de Centroamérica. *Jatropha curcas* L. En: http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/jatropha_curcas.pdf.

Pérez, R. (2012). *Jatropha curcas*, el motor del bosque. Nuestros árboles. Segunda Etapa. Núm. 78. Revista México Forestal.

Rodríguez-Acosta M, Vega-Flores K, De Gante-Cabrera V H., & Jiménez-Ramírez J (2009) Distribución del género *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) en el BioTecnología. 16: 2-112

Sánchez, H. D. E. (2008). Obtención, análisis y germinación de semillas de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae Juss.) No tóxica de Veracruz, México. Tesis. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana.

Schmook B., & Serralta-Peraza L. (1997). *J. curcas*: distribution and uses in the Yucatan Peninsula of Mexico. In G. M. Guñ bitz, M. Mittelbach, & M. Trabi (Eds.). Biofuels and industrial products from *Jatropha curcas*. pp. 53–57.

Toral, O., Iglesias, J. M., Montes de Oca, S., Sotolongo, J. A., García, S. y Torsti, M. (2008). *Jatropha curcas* una especie arbórea con potencial energético en Cuba. Pastos y Forrajes. 3: 191-207.

Ville, C. (1996). Biología. México. Mc-Graw Hill.

Zapata N., F. Guerrero., & A. Polo. (2005). Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustratos de cultivo. Agricultura Técnica 65: 378–387.