

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

Facultad de ingeniería

Efecto fisiológico del tipo de sustrato en el crecimiento y desarrollo de plantas de *Paulownia elongata* S.Y. Hu. en condiciones semi-controladas.

TESIS

Como requisito para obtener el título de
INGENIERO AGROFORESTAL



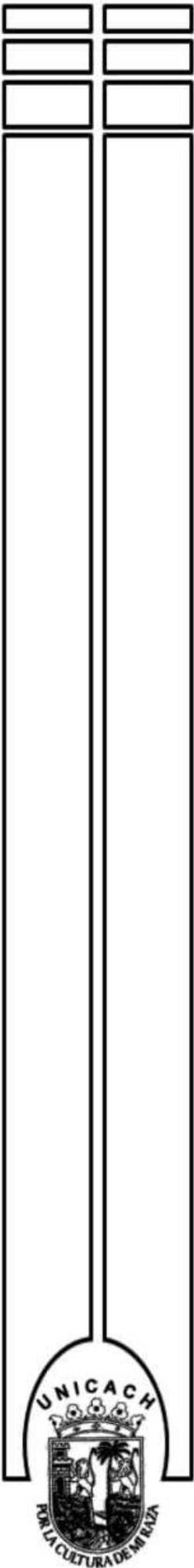
INGENIERÍA
AGROFORESTAL

Presentan

Iván de Jesús Ruíz Zeas

Emilio Mallen Hernández

Villa Corzo, Chiapas, México.



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

Facultad de ingeniería

Efecto fisiológico del tipo de sustrato en el crecimiento y desarrollo de plantas de *Paulownia elongata* S.Y. Hu. en condiciones semi-controladas.

TESIS

Como requisito para obtener el título de
INGENIERO AGROFORESTAL



INGENIERÍA
AGROFORESTAL

Presentan

Iván de Jesús Ruíz Zeas

Emilio Mallen Hernández

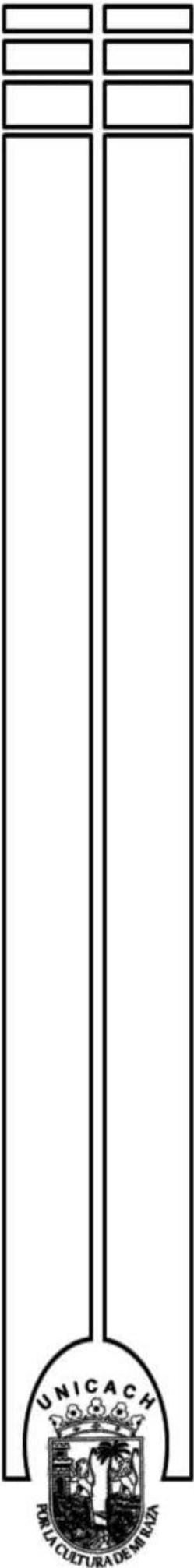
Director de tesis

Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi

Codirector

Dr. Vidal Hernández García

Villa Corzo, Chiapas, México.



Efecto fisiológico en el tipo de sustrato en el crecimiento y desarrollo de plantas de *Paulownia elongata* S.Y. Hu. en condiciones semicontroladas.



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Villa Corzo, Chiapas
25 de Mayo de 2022

C. Iván de Jesús Ruíz Zeas

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Agroforestal

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Efecto fisiológico del tipo de sustrato en el crecimiento y desarrollo de plantas de

Paulownia elongata S.Y. Hu. en condiciones semi- controladas

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Vidal Hernández García

Dr. Miguel Ángel Salas Marina

Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi

Firmas:



Cop. Expediente



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Villa Corzo, Chiapas
25 de Mayo de 2022

C. Emilio Mallen Hernández

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Agroforestal

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Efecto fisiológico del tipo de sustrato en el crecimiento y desarrollo de plantas de Paulownia

elongata S.Y. Hu. en condiciones semi- controladas

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Vidal Hernández García

Dr. Miguel Ángel Salas Marina

Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi

Firmas:

Ccp. Expediente

Dedicatoria

A Dios por brindarme la fuerza de cumplir mis objetivos, por la vida que me ha dado, por el buen camino que me ha guiado a lo largo de mi vida.

A mi padre Nohe Arturo Ruíz Gutiérrez por brindarme una buena educación, buenos valores como persona y a cumplir mis objetivos por más difícil que parezca.

A mi madre María Auria Zeas Trinidad que fue una pieza muy fundamental en esta parte de mi vida que gracias a ella pude lograr este objetivo en mi vida, ser mi fuerza y mi motor en todo momento.

A mi hermana Landy Luceli Ruíz Zeas por siempre creer en mí y apoyarme en todo momento.

A mi primo Oscar Arisandi Gutiérrez Gómez por siempre creer en mí, por brindarme apoyo, motivación, consejos y fuerza a seguir adelante en momentos en que sentía que ya no podía.

Ivan De Jesus Ruiz Zeas

Agradecimiento

A Dios por los padres tan maravillosos que me brindó y aun tenerlos conmigo, por la salud que nos brinda cada día a mí y a mi familia, por permitirme cumplir con este objetivo.

A mis compañeros y amigos Francisco Alberto Trinidad Pérez, Marcelo Joksán Infante Fernández por siempre estar apoyándome y ayudando a llevar a cabo este proyecto.

A mi amigo y compañero de tesis Emilio Mallén Hernández por creer en mí y en esta investigación.

A mi asesor de tesis el Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi por su apoyo incondicional brindado en este proyecto de investigación.

A mis docentes y compañeros por las experiencias vividas dentro y fuera del aula, por los conocimientos compartidos.

Iván De Jesús Ruiz Zeas

Dedicatoria

A Dios, que me permite seguir con vida, ya que soy un fiel creyente que todo lo que nos ocurre es por voluntad de él y me ha guiado por un buen camino.

A mí familia, que nunca dejaron de creer en mí, que siempre me han apoyado en cada etapa de mi vida.

A mis padres, José Luis e Irma quiénes con amor, paciencia y esfuerzo me han apoyado y acompañado para llegar a cumplir un sueño más.

A mis hermanos, que nunca dejaron de creer en mí y siempre brindarme palabras de aliento.

Emilio Mallen Hernández

Agradecimiento

Primeramente a Dios, por darme la vida, a mi familia por creer en mí y siempre contar con su apoyo.

A mis padres y hermanos que siempre me alentaron a seguir adelante y luchar por alcanzar una meta más.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas subsede Villa Corzo, que con sus instalaciones y guía de excelentes profesores se logró esta investigación.

A mí compañero de tesis y amigo Iván de Jesús Ruiz Zeas por creer en mí y ser parte fundamental en la investigación.

Emilio Mallen Hernández

Resumen

La pérdida de biodiversidad en la región frailesca del estado de Chiapas ha causado un impacto significativo a los suelos por la pérdida de especies forestales a causa de malas prácticas agrícolas, incendios forestales; pensando en una alternativa para contrarrestar este impacto se pensó en el árbol de *Paulownia elongata* que se caracteriza por ser una especie forestal de rápido crecimiento adaptándose a todo tipo de suelos y tolerando el tipo de clima.

El objetivo del estudio fue buscar una especie forestal que pueda adaptarse a la ubicación geográfica y al tipo de clima de la región antes mencionada, la cual la especie forestal de *Paulownia elongata* resultó ser una especie apropiada para dicha investigación por sus grandes cualidades que esta tiene.

La investigación se llevó a cabo en el invernadero ubicado en las instalaciones de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas sometiendo semillas de la especie forestal de *Paulownia elongata* en 3 tipos de sustratos para analizar el efecto fisiológico de la planta en condiciones semicontroladas.

Pasado 93 días después de la siembra las plantas ya contaban con un desarrollo apropiado para la investigación, las cuales se trasladaron al laboratorio para llevar a cabo un muestreo destructivo, midiendo raíz, tallo y hojas en fresco para posteriormente pasarlas al horno de secado por 72 horas.

Pasado el tiempo requerido se volvieron a medir los valores antes mencionado en seco, teniendo como resultado que las plantas crecidas en composta más arena y con suministro de nitrógeno influye positivamente en el crecimiento de la planta, con el sustrato de vermiabono con y sin suministro de nitrógeno incrementa en la acumulación de biomasa hacia las raíces, las hojas y en cambio con el sustrato de Peatmoss con nitrógeno, favorecieron la acumulación de biomasa en el tallo únicamente.

Palabras clave: *Paulownia elongata*, fisiología, sustratos.

Contenido

1. INTRODUCCION	1
2. JUSTIFICACION.....	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. Objetivo general	4
3.2. Objetivos específicos.....	4
4. PROBLEMÁTICA	5
5. MARCO TEÓRICO	6
5.1. <i>Paulownia elongata</i>	6
5.1.1. Origen y distribución.....	6
5.1.2. Taxonomía.....	6
5.1.3. Importancia de la <i>Paulownia elongata</i>	7
5.1.4. Características botánicas	8
5.1.5. Características fisiológicas	9
5.1.6. Germinación.....	10
5.1.7. Crecimiento y desarrollo de <i>Paulownia elongata</i>	11
5.1.8. Floración.....	12
5.1.9. Fructificación	12
5.2. Clima.....	12
5.2.1. Precipitaciones	12
5.2.2. Temperatura	13
5.3. Tipos de sustratos.....	13

5.3.1. Peat moss.....	14
5.3.2. Composta	15
5.3.3. Humus de Lombriz o Vermicompost	16
5.3.4. Arenas.....	17
6. MATERIALES Y MÉTODOS	19
6.1. Localización	19
6.4. Diseño experimental	20
6.5. Variables y muestreo	21
6.6. Análisis estadístico	22
7. RESULTADO Y DISCUSIÓN	23
8. CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFÍA.....	29

1. INTRODUCCION

La Frailesca es parte del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM), jugando un papel central en la Sierra Madre de Chiapas en la provisión de servicios ecosistémicos (particularmente, servicios hidrológicos) y la provisión de hábitats para la diversidad de fauna y flora (CONAFOR, 2016).

La región representa más del 10% de la superficie del estado, y contiene más de 5% de su población. Reconocida históricamente como el granero de Chiapas por su alta producción de maíz, hoy día contribuye de manera considerable a la producción pecuaria del estado (CONAFOR, 2016).

Cárdenas (2013) citado por Medina (2015) menciona que La Frailesca se distingue por su capacidad productora de maíz, principalmente en temporal, así como de frijol, mango, hortalizas de exportación, avicultura y ganadería de doble propósito.

Con relación a la pérdida de cobertura vegetal en la zona, la región comparte determinantes como la ampliación de la frontera agropecuaria con otras regiones del trópico mexicano. Un fenómeno particular de la región, de nueva aparición y de impactos aún poco medidos, es la deforestación y degradación forestal (CONAFOR, 2016).

La deforestación y la degradación forestal contribuyen a casi un quinto de las emisiones de gases de efecto invernadero. Otros impactos ambientales de la deforestación incluyen: el daño a los hábitats, su fragmentación y la sucesiva pérdida de biodiversidad; la alteración de los ciclos del agua, la erosión del suelo y la desertificación (FAO, 2018).

La deforestación puede tener graves consecuencias socioeconómicas: por ejemplo, puede amenazar los medios de vida, la cultura y la supervivencia de las poblaciones que dependen de los bosques, incluidos los pueblos indígenas; debilitar las economías locales y nacionales; provocar conflictos sociales por los recursos naturales; aumentar el impacto de los desastres naturales; y producir desplazamientos de la población (FAO, 2018).

Por otro lado, desde el punto de vista agroecológico esta región dispone de zonas aptas para el cultivo anual, ya sea maíz, frijol o calabaza. Sin embargo, presenta un acelerado proceso de deterioro, que a la larga puede traer consigo una disminución en la calidad de vida de los productores, al verse afectados sus ingresos, derivado de los procesos de degradación del agro ecosistema (Medina, 2015).

Por ello la especie forestal de *Paulownia elongata* es un combustible no fósil que no altera el equilibrio de la concentración de carbono atmosférico. Su explotación ayuda a reducir las emisiones globales de CO₂ al sustituir a otros combustibles fósiles; ya que...

- Ayuda a la reforestación debido a que es una especie que se adapta a todo tipo de suelo.
- Su contenido en azufre es prácticamente nulo por lo que su uso no causa lluvia ácida.
- Permite reducir la dependencia energética.
- Absorbe 10 veces más dióxido de carbono que cualquier otro árbol, y arroja mucho más oxígeno.
- Evita los deslizamientos de tierra.

En 640 acres (258,9 ha aproximadamente.) cedió \$ 500 millones en la madera de construcción en cinco años en California. O en una rotación de 24 meses puede producir \$ 200 millones para la biomasa exportado a Europa. Es la respuesta a una economía verde de Estados Unidos (AgroSur, 2015).

También aporta en el otoño una rica y abundante capa de hojarasca de rápida descomposición. Este compostaje mejora la calidad del suelo, tanto física, como químicamente, debido a la riqueza de nitrógeno de sus hojas, por lo que también se está plantando con la finalidad de recuperar terrenos baldíos (AgroSur, 2015).

Otros de los beneficios son las enormes hojas y la amplia corona de la *Paulownia* spp que proporcionan una sombra densa en las áreas de descanso, parques y plazas, formando agradables rincones frescos en los centros de las ciudades

perjudicadas por la contaminación y las emisiones de gases tóxicos (Paulownia.pro, 2020).

Por otro lado las flores, además de por su belleza, también destacan por un fuerte y fragante aroma y son excelentes melíferas, de una hectárea de *Paulownia spp* es posible recoger más de 800 kg de miel (Paulownia.pro, 2020).

Pero la singularidad de la *Paulownia spp* radica en el hecho de que el árbol no requiere replantación. Después de cada poda, el árbol se regenera. La vida útil de la raíz es de 70-100 años y puede durar entre 4 y 8-9 ciclos de 8 años. Su madera es 100% ecológica, resistente, suave, ligera, resistente al fuego, resistente a la humedad, resiste al alabeo y a las plagas e imputrescible (Paulownia.pro, 2020).

2. JUSTIFICACION

La pérdida de biodiversidad en la región frailesca ha causado gran impacto en los suelos debido a la erosión por la falta de especies forestales a causa de los incendios forestales o la deforestación, provocado por el cambio del uso de suelo de bosques y selvas para actividades agropecuaria, trayendo consigo el empobrecimiento de nutrientes, y la compactación de los suelos.

Se pretende buscar nuevas especies forestales que sean capaces de adaptarse a las zonas dañadas, al clima, que sean de rápido crecimiento, que resistan a la sequía, resistencia al fuego, a plagas y enfermedades, teniendo como beneficio la regeneración de suelos, resistencia a incendios forestales, evitando la evaporación e incrementando la humedad relativa, la obtención de forraje, el aprovechamiento de madera y contar con un ingreso económico para los productores.

Cabe mencionar que una alternativa muy apropiada para ayudar al medio ambiente es el árbol de *Paulownia elongata* ya que una de sus características más fuertes es su gran capacidad de captura de carbono. AgroSur (2015) menciona que un árbol de *Paulownia elongata* captura un promedio 21,7 kg de CO₂ y entrega 5,9 kg de O₂ al día (23.950 y 686 kg/ha respectivamente), una cifra superior a cualquier otro árbol conocido en hasta casi diez veces.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento fisiológico de plántulas de *Paulownia elongata* crecidas en diferentes tipos de sustratos en condiciones semi-controladas.

3.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el crecimiento y desarrollo de *Paulownia elongata* en diferentes tipos de sustratos.
2. Evaluar el efecto fisiológico del tipo de sustrato en la concentración de clorofilas y la actividad fotosintética de plantas de *Paulownia elongata* en condiciones semicontroladas.

4. PROBLEMÁTICA

La deforestación ha afectado en gran medida a la región Frailesca del estado de Chiapas, por diferentes factores, ya sea por malas prácticas agrícolas o incendios forestales, las cuales han causado erosión de los suelos, disminución de mantos acuíferos y pérdida de diversidad forestal y animal. Por todo ello, es necesario investigar nuevas especies forestales de rápido crecimiento y de fácil adaptabilidad a las condiciones de clima y suelo de la región Frailesca para equilibrar los ecosistemas mediante reforestaciones en áreas dañadas a través de la implementación en sistemas agroforestales.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. *Paulownia elongata*

5.1.1. Origen y distribución

El árbol de *Paulownia elongata* es una especie que lleva aproximadamente 2 600 años en China, y su nombre común es Emperatriz, cuando este país abrió sus puertas al mundo después de la revolución china. Una compañía australiana comenzó a realizar colectas de las diferentes especies existentes del género *Paulownia*, con el propósito de realizar diferentes trabajos sobre sus características y aprovechamiento en el mejoramiento del medio ambiente (Gutiérrez *et al.*, 2015).

Lucas *et al.*, (2011), hace mención que son árboles que se cultivan hace más de 2600 años, pero que empezaron a ser estudiados a partir de 1972 por el investigador forestal de origen chino Zhu Zhao-Hua.

Cabe mencionar que la variedad de *Paulownia tomentosa* ha recibido una mayor atención con respecto al resto de las especies del género, debido a que desde hace algunas décadas se ha establecido en el sureste de los Estados Unidos de Norteamérica. Sin embargo, investigaciones recientes indican que *P. elongata* en Estados Unidos de Norteamérica y México, y *P. fortunei* en Australia pueden desplazarla por sus características de crecimiento y su fácil manejo en plantaciones (Castellanos, *et al.*, 2006).

Actualmente presenta una amplia distribución, desde el este de Asia – principalmente en Japón y Corea, pasando por Indonesia, Estados Unidos (Carolina del Norte y del Sur, California, Indiana y Kentucky) e India, hasta México y Brasil en América Latina. Las especies más utilizadas para proyectos forestales son *P. elongata*, *P. fortunei* y *P. kawakamii* (Guilcapi, 2015). En México fue introducida a finales de 1998 como una alternativa para el establecimiento de plantaciones comerciales (Castillo, *et al.*, 2012)

5.1.2. Taxonomía

Thunberg, (1871), la clasificó dentro de la familia *Bignoniaceae*, aunque medio siglo más tarde, dos botánicos alemanes, Siebold y Zuccarini la incluyeron dentro de la familia *Scrophulariaceae*. En 1973, Zhu Zhao Hua y un grupo de científicos de la

academia China de forestería hicieron investigaciones sistemáticas corrigiendo el género y las especies, colocando al árbol de *Paulownia* en la familia de las *Scrophulariaceae*. (Guilcapi, 2015).

Sin embargo, desde 1998, en la clasificación APG I de la Angiosperm Phylogeny Group (Grupo para la filogenia de las Angiospermas), se cambia la ubicación de *Paulownia*, Sacándola del orden Scrophulariales y situándola en Lamiales, con una nueva familia monogenerica llamada *Paulowniaceae*. Esta nueva filogenia se mantiene en el APG II del 2003 y en la nueva APG III, publicada en el 2009. Por desgracias, en innumerables bibliografías no actualizada, así como en la definición que de la Paulonia hace el diccionario de la Real Academia, sigue apareciendo como una *Scrophulariaceae* (Cárdenas, 2015).

Taxonomía	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Lamiales
Familia:	Paulowniaceae
Género:	<i>Paulownia</i>
Especie:	<i>Paulownia elongata</i> S.Y. HU

5.1.3. Importancia de la *Paulownia elongata*

Se trata de árboles tolerantes a suelos muy pobres o degradados por la erosión, alta resistencia a la sequía, resistencia a plagas y enfermedades, resistencia al fuego, así mismo reduce la velocidad del aire, la evaporación del suelo y aumenta la humedad relativa del suelo y del aire (Villalobos, 2006).

La importancia comercial de este género *Paulownia elongata* radica en su rápido crecimiento que lo favorece como un recurso ideal en programas para reforestación y su adaptación en regiones con suelos pobres en nutrimentos. Su madera es ligera

en peso, de alta calidad, con un bajo porcentaje de humedad, así como baja cantidad de resinas, es sencilla de manipular, no presenta nudos y no se deforma con facilidad, esto permite que en la construcción se utilice bastante, al igual para fabricar muebles, artesanías, juguetes e instrumentos musicales (Castellanos, *et al.*, 2006).

Gutiérrez *et al.* (2015) menciona que la ha aprovechado al máximo, en la obtención de madera, fabricación de muebles, y como forraje, por ser un vegetal de crecimiento acelerado, es decir en condiciones normales crece 2.5 cm diarios, por lo que se vislumbra como una buena alternativa en los programas destinados en la actividad agropecuaria, por ser un vegetal que ha demostrado tener una concentración de proteína cruda del 17 al 21 %, igualando a la reina de los forrajes (alfalfa) destinado como alimento de ganado vacuno, ovino, porcino, caballar, y aves de corral. (SADER, 2019).

Las hojas de *Paulownia elongata* presentan una buena opción forrajera, sobre todo en épocas críticas para los rumiantes, además de su buena digestibilidad (más del 50%), su contenido de proteína es el adecuado para las especies mencionadas con anterioridad (Gutiérrez *et al.*, 2016).

Entre otros beneficios, se destacan la excelente calidad y belleza de su madera, que ofrece árboles ideales para recuperar, controlar y estabilizar la erosión de suelos gracias a su profundo sistema radicular, considerable producción de biomasa y capacidad de fijación de CO₂, posibilidad de aprovechamiento del follaje para el ganado, potencial uso para reforestaciones de terrenos agrarios abandonados y/o degradados, valor ornamental, etc. (Van Soest *et al.*, 1991).

5.1.4. Características botánicas

Paulownia es un árbol caducifolio, aportando en el otoño una rica y abundante capa de hojarasca de rápida descomposición. Este compostaje mejora la calidad del suelo, tanto física, como químicamente, debido a la riqueza de nitrógeno de sus hojas, por lo que también se está plantando con la finalidad de recuperar terrenos baldíos (Gutiérrez *et al.*, 2015). Sus hojas son muy grandes y pubescentes, y alcanzan un gran tamaño, de hasta 6 decímetros (Cáceres, 2016).

Por su adaptación a amplios márgenes climáticos y edafológicos, siempre que el suelo no sea muy arcilloso y el nivel freático esté a 2 m de profundidad mínima, pues sus raíces son verticales y profundas y bajo encharcamientos se pudren. Esas raíces permiten a la *Paulownia* buscar humedad necesaria en climas semiáridos, siempre que los primeros años hayan tenido riego, resiste temperaturas de -10 a 55 °C, pero su temperatura ideal es de 32°C (Gutiérrez *et al.*, 2015).

La *Paulownia elongata* es un gigante de rápido crecimiento que, a los 5 años, ya tiene el tamaño adecuado para industrialización de su madera. Alcanza una altura de aproximadamente de 21 metros. (Paulownia.pro, 2020).



Foto 1. Planta de *Paulownia elongata* y su sistema radicular en peatmos.

5.1.5. Características fisiológicas

Los métodos de propagación vegetativa son preferidos como es el caso de estacas que se enraízan con la utilización de reguladores de crecimiento, aunque la

respuesta es inespecífica y no se producen altos porcentajes de enraizamiento (Domínguez *et al.*, 2018).

La utilización de técnicas de reproducción *in vitro* de *Paulownia* spp han tomado especial importancia para suplir material para la industria forestal. Las técnicas de propagación *in vitro* permiten la obtención de materiales libres de plagas y enfermedades, mayor homogeneidad fisiológica para la producción de biomasa y aprovechamiento forestal (Domínguez *et al.*, 2018).

Paulownia spp. se reproduce a través de semillas y esquejes de tallo y raíz. En cuanto a la primera forma, uno de los principales problemas es que pueden presentar dormancia; además de que el crecimiento de las plántulas es menor que las derivadas de esquejes o multiplicadas *in vitro*. Respecto a la segunda, los esquejes de tallo, en general, son más difíciles de obtener; no obstante, en los de raíz el daño físico causado a la epidermis y al cortex provoca el ataque de patógenos (Castillo, *et al.*, 2012).

5.1.6. Germinación

Las semillas de *Paulownia* según Zhao-Hua *et al.*, (1986), se caracterizan por ser ligeras, pequeñas y aladas. Su germinación y crecimiento requiere luz intensa debido a lo cual esta especie no puede regenerar de forma natural bajo un dosel arbóreo. Áreas recientemente incendiadas y cultivos abandonados se consideran muy propicios para su establecimiento de forma natural, dado su carácter como especie pionera.

Paulownia comienza a producir semillas a cuatro años de plantada. Sus semillas son livianas, una capsula contiene alrededor de 5000 semillas. Una vez obtenida las semillas, se siembran en almácigos en los meses de agosto o septiembre, con una densidad de 1000 a 1500 semillas por metro cuadrado, el tiempo de germinación varía de 15 a 60 días después de la siembra según las condiciones ambientales en que se desarrolla. Cuando las plantitas alcanzan una altura de 15 a 20 cm, se trasplantan al lugar definitivo que generalmente se realiza en los meses de diciembre y febrero (Cárdenas, 2015).

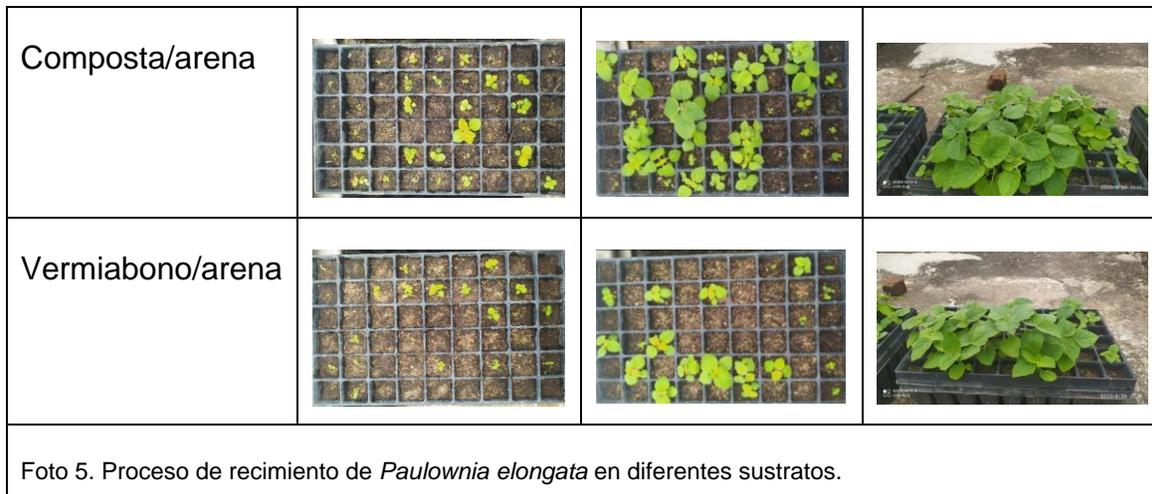
		
<p>Foto 2. Germinación de Paulownia elongata en peatmos.</p>	<p>Foto 3, germinación de Paulownia elongata en composta/arena.</p>	<p>Foto 4. Germinación de Paulownia elongata en vermiabono/arena.</p>

5.1.7. Crecimiento y desarrollo de *Paulownia elongata*

Los árboles pertenecientes al género *Paulownia* spp, poseen un crecimiento rápido, siendo especialmente llamativo los primeros años de desarrollo. En condiciones normales un árbol de 10 años de edad puede alcanzar los 30 – 40 cm de diámetro normal y un volumen de madera próximo a 0,3 – 0,5 m³. Sin embargo, si las condiciones de cultivo son óptimas, se pueden alcanzar volúmenes de madera cercanos a los 4 – 4,5 m³, con unos crecimientos anuales en diámetro de 3 – 4 cm (Guilcapi, 2015).

De acuerdo a descripciones de Shiu Ying Hu tiene un acelerado crecimiento, con 4 o más metros en el primer año. Alcanza el tamaño maderable cuando posee una edad comprendida entre 5 y 7 años, pero la madurez es alcanzada a los 25 años, con 1 metro de diámetro, hasta 30 metros de altura en la copa y 12 metros de diámetro de copa (Cáceres, 2016).

	34 D.D.S.	43 D.D.S.	57 D.D.S.
Peatmos			



*D.D.S= Días Después de la Siembra

5.1.8. Floración

La floración de la especie se produce una vez por año, exhibiendo flores hermafroditas en panículas terminales de 30 a 40 centímetros de longitud con forma piramidal. Éstas se forman en otoño y permanecen cerradas hasta la primavera (Guilcapi, 2015).

Florece una vez al año, con flores hermafroditas en panículas terminales de 30 a 40 centímetros de longitud con forma piramidal; estas flores se forman en otoño y permanecen cerradas hasta primavera (Cáceres, 2016).

5.1.9. Fructificación

Cerro A. (2009) hace mención que en lo que se refiere a los frutos manifiestan que son una capsula leñosa dehiscente de forma ovoide, puntiaguda, de 3 a 5 centímetros con numerosas y pequeñas semillas, de color verde claro.

5.2. Clima

5.2.1. Precipitaciones

Lyons (1993), informó que *Paulownia* crece mejor en zonas de precipitaciones altas (800 mm anuales o más) siempre que los suelos presenten un buen drenaje. Este autor también mencionó que es preferible que las lluvias se presenten con una distribución relativamente uniforme.

5.2.2. Temperatura

Según Zhao-Hua et al., (1986), mencionan que las especies del género *Paulownia* se adaptan a una gran variedad de climas pues el rango de temperaturas al que pueden adecuarse varía ampliamente, llegando a soportar mínimas absolutas de -20 °C y máximas absolutas de 45 °C.

Diferentes experiencias demuestran que el rango óptimo de temperaturas para el crecimiento en altura y diámetro se localiza usualmente entre 24 °C y 29 °C de temperatura media diaria (Guilcapi, 2015).

5.3. Tipos de sustratos

Según Gallardo (2003); el término sustrato se aplica a todo material sólido distinto del suelo, cuyo origen puede ser natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando, por lo tanto, un papel de soporte para la planta. Su importancia radica en que gran parte de las especies ornamentales, forestales, frutales y plantines hortícolas se producen en contenedores.

Según Napier (1985) un sustrato debe reunir un conjunto de características que lo hagan apto para el cultivo; un sustrato ideal tendría las siguientes características: ser liviano en peso; homogéneo, barato y fácilmente disponible; tener una alta capacidad de intercambio de cationes; tener un pH de 4.5 a 6; estar relativamente libre de insectos, enfermedades y semillas de malezas; retener suficiente humedad y obtener la cohesión necesaria para formar un pilón que no se deshaga al quitar el envase.

Los sustratos pueden clasificarse en orgánicos (de origen natural, de síntesis, de subproductos o residuos agrícolas, industriales y urbanos) e inorgánicos o minerales (de origen natural, transformados o tratados, y residuos o subproductos industriales) (Manual agropecuario, 2002).

Los sustratos utilizados para esta investigación se utilizaron desde la germinación y todo el proceso del crecimiento y desarrollo, para que la planta no sufriera algún tipo

de estrés por el cambio de composición de sustrato y tener un resultado más fiel de la reacción del tipo de sustrato en la planta.

5.3.1. Peat moss

La materia prima por la cual está constituido el peat moss es *Sphagnum magellanicum* Brid. que es un musgo que pertenece a la división Bryophyta. Dentro de las diversas cualidades que se le han descrito a este musgo, destacan entre otras su poder de absorción y retención de agua, características que se aprovechan para fines industriales y agrícolas Schofield (1985) citado por Wallach *et al.*, (2010).

S. magellanicum es una especie cosmopolita, forma montículos en las extensas turberas de color blanco rojizo; en Chile, se distribuye desde Malleco, IX Región hasta Magallanes, XII Región (Tapia, 2008).

Un aspecto peculiar de los musgos del género *Sphagnum* es la baja tasa de descomposición del material muerto; por lo anterior, las plantas muertas se acumulan como turba (Tapia, 2008). Otro aspecto particular, es la gran capacidad de retener agua que poseen las especies del género *Sphagnum*. Para ello, sus caulidios y filidios poseen células grandes con paredes provistas de perforaciones, que una vez muertas permiten la entrada de agua en su interior (Tapia, 2008).

Todas las especies de *Sphagnum* poseen una capacidad muy grande para acumular agua en su cuerpo. Para ello sus tallos y hojas poseen células grandes (hidrocitos), de paredes provistas de perforaciones que una vez muertas permiten la entrada del agua en su interior (Blanco *et al.*, 2004).

Estas células pueden contener mucha agua, pudiendo abarcar alrededor del 80% del volumen del musgo (Tapia, 2008). Algunas especies de *Sphagnum* se ha visto que pueden absorber hasta 20 veces su peso seco en agua. La combinación de células porosas y de ramas colgantes hace de cada planta una 8 eficiente red de capilares (Schofield, 1985).

La turba es utilizada como sustrato y retenedor de nutrientes en viveros. También se emplea como aislante térmico, para el tratamiento de aguas residuales y para filtros de distinto tipo y como combustible. El musgo, extraído vivo y posteriormente

deshidratado, es usado como sustrato natural para la germinación de semillas, trasplantes, injertos y almácigos. También se utiliza como material de embalaje, para transporte de bulbos y flores. Se ha utilizado con muy buenos resultados en el establecimiento de frutales menores y especies forestales, con el objeto de hacer más eficiente el riego (Agüero, 2013).

El musgo *Sphagnum* es utilizado por productores de orquídeas, como sustrato de propagación, como también se utiliza para envolver rosas y portainjertos de árboles frutales que van a ser transportados largas distancias (Tapia, 2008).

Crignola *et al.*, (2002), comentan sobre algunos usos de *Sphagnum* en la horticultura, “se utiliza como acondicionador de tierras de cultivos agrícolas, cobertura de suelos, sustratos para jardines; para el almacenaje de frutas, verduras y bulbos de flores que se envían al mercado exterior; para cultivos hidropónicos; como materia orgánica para el cultivo de champiñones; como sustrato en la aplicación de abonos muy solubles, ya que estos se mantienen adheridos a *Sphagnum* impidiendo su lixiviación; como material de cama de animales de establo”.

5.3.2. Composta

Abono orgánico que resulta de la descomposición de residuos de origen animal y vegetal. La descomposición de estos residuos ocurre bajo condiciones de humedad y temperatura controladas. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícolas, aumenta la porosidad y permeabilidad y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Mejora las propiedades químicas, aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. (TUSPLANTAS.COM, 2000).

Se considera un abono orgánico a todo material de origen animal o vegetal que se utilice principalmente para mejorar las características del suelo, como fuente de vida y nutrientes al suelo. Entre los abonos orgánicos, los más conocidos son el compost, el bocashi y el lombricompost o lombrihumus (Soto *et al.*, 2004).

Gómez (2000) citado por Escobar *et al.*, (2013) afirman que un compost es un recurso orgánico capaz de proporcionar cantidades notables de nutrientes esenciales, principalmente nitrógeno, fósforo y potasio al suelo o a las plantas.

El compostaje es una forma de tratamiento para los residuos orgánicos, que tiene como meta transformar estos residuos en un producto útil, aplicable a la tierra como abono que fertiliza a las tierras de cultivo. Este producto recibe el nombre de compost (Altamirano *et al.*, 2006).

El compost es el material resultante de la transformación de los residuos orgánicos en humus a través de una descomposición aeróbica (Soto *et al.*, 2004).

Según FAGRO (2000) citado por Altamirano *et al.* (2006), un abono orgánico o compost es el producto de la transformación de residuos orgánicos en humus por restos orgánicos (bacterias, hongos, protozoarios, lombrices, etc.), la presencia de humus en el suelo cumple las siguientes funciones: provee elementos nutritivos, mejora la estructura la porosidad y retención de agua y aire en el suelo y aumenta la resistencia de las plantas a enfermedades.

Sir Albert Howard, agrónomo inglés, quien estuvo en la India entre los años 1905 y 1934, practicó por primera vez el «método indore», desarrolló la técnica de compostar, para el mejoramiento de los terrenos de cultivos e incrementar la producción en la región; concluyó que los residuos animales y plantas sanas que caen en el suelo mejoran la fertilidad de éste debido al abundante humus. Aprendió de los agricultores chinos la importancia de usar todos los residuos orgánicos para fortalecer las tierras (Altamirano *et al.*, 2006).

5.3.3. Humus de Lombriz o Vermicompost

Constituye un abono de excelente calidad; posee un alto contenido en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, elementos esenciales para la vida vegetal; que es capaz de ofrecer a las plantas una alimentación más equilibrada. Otra de las ventajas del humus de lombriz, frente a los fertilizantes químicos, consiste en que sus elementos básicos están presentes en forma mucho más utilizable y asimilable por las raíces de las plantas (Suquilanda, 1996).

Tiene como finalidad principal añadir al suelo nutrientes necesarios para mejorar sus propiedades (Pandeley, 2002).

Uno de los aspectos característicos más sobresalientes del humus de lombriz es que contiene una gran cantidad de microorganismos (bacterias y hongos) y de enzimas que continúan desintegrando la materia orgánica, incluso después de haber sido expulsados junto a las deyecciones del aparato digestivo de la lombriz (Suquilanda, 1996).

El vermiabono ha sido utilizado como abono en cultivos de tabaco, café, hortalizas y verduras (Arancon et al., 2004a, b); además, se utiliza como mejorador de suelos en áreas de cultivo (Ferruzzi, 1994).

5.3.4. Arenas

La arena de río es un sustrato muy usado en la agricultura sobretodo en la instalación de almácigos y embolsamiento de plantas, gracias a su textura que permite drenar el exceso de agua después de un riego (Ecosiembra, 2017).

Las de río son las más adecuadas, son muy económicas, el tamaño de los granos deberá oscilar entre 0.5 y 2 mm, es necesario tener en cuenta que tenga un contenido mínimo de arcilla para evitar que traiga problemas de fijación iónica. No debe ser demasiado fina, pues provoca encharcamientos, compactaciones y asfixia radicular (Gladys P. Ledesma, 2010).

- Su densidad aparente es similar a la grava.
- Su capacidad de retención de agua es media (20% del peso y más del 35% del volumen);
- su capacidad de aleación disminuye con el tiempo a causa de la compactación;
- su capacidad de intercambio catiónico es nula.
- Su pH varía entre 4 y 8.
- Su durabilidad es elevada.
- Es bastante frecuente su mezcla con turba, utilizado como sustrato de enraizamiento y de cultivo en contenedores (InfoAgro, 2017).

Hartmann, *et al.*, (1997) mencionan también que La arena consiste en pequeños granos de roca que van de 0.02 a 2.0 mm de diámetro, formados como resultado de la intemperización de diversas rocas, dependiendo su composición mineral de la roca madre que le dio origen. La arena es el más pesado de los minerales que se utilizan como medio de crecimiento de las raíces, el cual es alrededor de 1290 kg/m³. De preferencia debe ser fumigada o tratada con calor antes de usarla, ya que puede contener semillas de malezas y organismos patógenos. La arena prácticamente no contiene nutrientes minerales ni capacidad de amortiguamiento químico. Se usa principalmente en combinación con componentes orgánicos.

Las características físicas de la arena varían en función del tamaño de las partículas, por ser un material granular sin porosidad interna, depende básicamente de la granulometría. Su porosidad es inferior al 50 %, tratándose exclusivamente de porosidad interparticular. Las arenas finas con tamaño de partícula inferior a 0.5mm presenta una buena retención de agua, pero bajo aireación, por el contrario, las arenas gruesas retienen menos agua fácilmente disponible y presentan mayor aireación, su densidad aparente es de 1350 a 1500 kg.m⁻³. El peso de este material representa la principal limitación para su transporte, su elevada densidad aparente hace que no resulte económico el transporte a largas distancias (Donahue, *et al.*, 1998).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en el invernadero que se encuentra instalado en el interior de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, sede Villa Corzo, carretera Villa Corzo - Monterrey km 2.5 en las coordenadas 16° 11' 7" Norte, 93° 16' 6" Oeste.



Localización del área de estudio

6.2. Materiales

Para llevar a cabo esta investigación se necesitó de los siguientes materiales:

- Peatmos
- Vermiabono/arena
- Composta/arena
- Charolas germinativas
- Semillas de *Paulownia elongata*
- Maceteras de 7 pulgadas
- Nitrógeno (fertilizante urea, 1g/planta)
- Regla milimetrada
- Balanza analítica
- Fluorómetro portátil
- Vernier

- Cuchillo de campo y cutter

6.3. Métodos

- Se llenó cada charola con respectivo sustratos (peat moss, vermiabono con arena, composta con arena) y se hidrato con agua antes de colocar las semillas, se dejó humedecer los sustratos durante 1 hora posteriormente se colocaron 2 semillas por cavidad hasta llenar el total de cavidades.
- Las plántulas empezaron a germinar a los 9 días después de la siembra por lo que está debajo a lo que menciona Cárdenas 2015.
- Posteriormente a los 60 días después de la siembra se realizó el trasplante a macetas, acondicionadas con su respectivo sustrato e hidratadas.
- 15 días después del trasplante se fertilizo con nitrógeno (urea) a 10 plantas por cada tratamiento con dosificación de 1gm/planta.
- Se realizó monitoreo de clorofila a todas las plantas.
- Se siguió regando normalmente las macetas.
- Posteriormente se estuvo monitoreando el crecimiento y desarrollo de las plantas midiendo altura de tallo, grosos de tallo y numero de hojas cada 9 días.

6.4. Diseño experimental

Para el experimento se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 3 tratamientos y 20 repeticiones de cada uno, con un total de 60 plantas utilizando peat moss como testigo y 2 tipos de mezclas utilizados como sustratos, las cuales son: 54 % composta + 46% arena y 54% vermiabono + 46% arena.



Foto 6. Diseño experimental.

6.5. Variables y muestreo

Se muestrearon seis (6) plantas por cada tratamiento seleccionadas a alzar y de tamaño homogéneo con 93 días después de la siembra. Las plantas se sacaron cuidadosamente para no dañar las raíces y posteriormente se lavaron con agua y se llevaron al laboratorio. Una vez en el laboratorio se separaron en hojas, tallos y raíces para determinar las variables de crecimiento que a continuación se describen detalladamente.

- **Área foliar:** Con el scanner CI-202 se midió el área foliar de todas las hojas de cada planta. La suma total de área de las hojas de la planta se consideró como el área foliar de la planta y se expresó en $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$.
- **Contenido de clorofilas en hojas:** esta medición se realizó en cuatro hojas de la parte central de cada planta (seis plantas) antes de sacarlas de las macetas. Los valores de concentración de clorofila se promediaron y se obtuvo un sólo valor por planta. Los datos se expresan en $\mu\text{mol m}^2$ de área foliar.

- **Altura de la planta:** cada una de las seis plantas seleccionadas se les midió con una regla milimetrada la longitud del tallo desde la base del tallo (parte donde se une el tallo con la raíz) hasta el ápice del tallo (donde se están formando las nuevas hojas). los datos se expresaron en cm planta⁻¹.
- **Longitud de la raíz principal:** con una regla milimetrada se midió la longitud de la raíz de cada una de las 6 plantas seleccionadas, desde la base del tallo (parte donde comienza la raíz) hasta el ápice de la raíz. Los datos se expresaron en cm.
- **Masa seca de las hojas:** todas las hojas de cada planta se colocaron en un sobre de papel y se colocarán en el horno a 80 °C durante 72 horas (tres días). Posteriormente se pesarán en una balanza analítica. Los datos se expresaron en gramos.
- **Masa seca del tallo:** El tallo de cada planta se colocó en un sobre de papel y se colocó en el horno a 80 °C durante 72 horas (tres días). Posteriormente se pesaron en una balanza analítica. Los datos se expresaron en gramos.
- **Masa seca de raíz:** las raíces de cada planta se colocaron en un sobre de papel y se colocaron en el horno a 80 °C durante 72 horas (tres días). Posteriormente se pesaron en una balanza analítica. Los datos se expresaron en gramos.
- **Numero de hojas por planta:** A cada una de las plantas se les contaron todas las hojas. Los datos se expresaron en hojas planta⁻¹
- **Fluorescencia de la clorofila:** Se determinó en una hoja de la parte central de cinco plantas seleccionadas al azar. Estas mediciones se realizaron un día antes de arrancar las plantas para llevarlas al laboratorio con un fluorómetro portátil a las 9:00, 12:00 y 15.00 horas.

6.6. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza y cuando se detectó diferencias significativas se aplicó la prueba Tukey para $p \leq 0.05$.

7. RESULTADO Y DISCUSIÓN

La dinámica de crecimiento reflejada a través de una descripción estadística gráfica, usando el error estándar como medida de dispersión, de la altura de la planta, la cantidad de hojas emitidas por planta y el diámetro del tallo (Figura 1), mostró un mayor crecimiento en las plantas crecidas sobre un sustrato compuesto por Composta y arena sin suministro de nitrógeno, seguido por el tratamiento con vermiabono y arena con y sin suministro de nitrógeno.

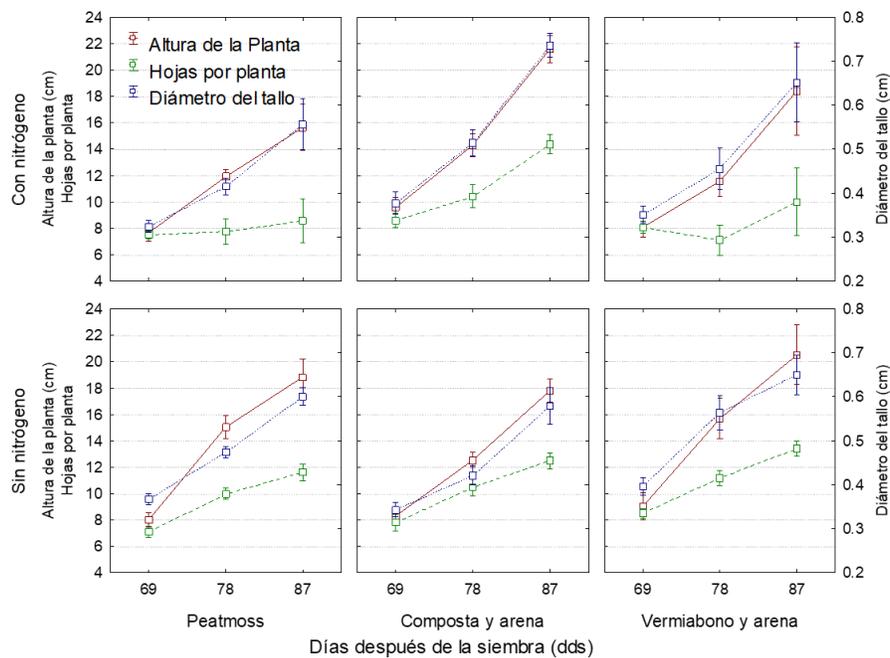


Figura 1. Dinámica de crecimiento de plantas de *Paulownia elongata* en diferentes sustratos y niveles de disponibilidad de nitrógeno.

Estos resultados con los reportados en hortalizas y gramíneas, los cuales revelan que los suelos pobres en nutrientes tratados con vermiabono, influyen en la estimulación, formación y crecimiento de raíces y tallos y partes reproductivas (Bondia, 1994, Patil, 2000), e incrementa la tasa de crecimiento del tallo y hojas (Romo *et al.*, 2009).

Con relación al menor efecto del peat moss en el crecimiento foliar y la altura de las plantas de *Paulownia elongata*, a pesar de que es una gran opción para iniciar tu cultivo, el peat moss, como algunos otros sustratos, no cuenta con todas las características necesarias para el desarrollo de algunos cultivos, por lo que la mezcla de este sustrato con otros, como: perlita, vermiculita o tezontle, es la mejor opción para sacarle más provecho y beneficiar en mayor medida a tu cultivo.

En cuanto al efecto del tipo de sustrato y la disponibilidad de nitrógeno en la acumulación de biomasa en los distintos órganos de la planta (Tabla 1), los resultados mostraron un mayor efecto del vermiabono con y sin suministro de nitrógeno en la acumulación de biomasa hacia las raíces, las hojas y en sentido general en la planta (total acumulado). Mientras que las plantas crecidas sobre los sustratos a base de composta con arena (con y sin nitrógeno) y vermiabono con arena (con y sin nitrógeno), seguido del tratamiento con Peatmoss con nitrógeno, favorecieron la acumulación de biomasa en el tallo.

Tabla 1. Efecto de la combinación de tipo de sustrato y suministro de nitrógeno en la acumulación de biomasa en plántulas de *Paulownia elongata* S.Y. Hu. en condiciones semi-controladas.

Tratamientos	MSR (g)	MST (g)	MSH (g)	MSP (g)
Peatmoss con nitrógeno	2.09 b	1.70 ab	9.18 abc	12.98 bc
Peatmoss sin nitrógeno	1.71 c	1.02 c	5.42 c	8.15 c
Composta con arena más nitrógeno	3.20 ab	3.26 a	9.66 ab	16.13 ab
Composta con arena sin nitrógeno	2.86 b	2.16 ab	7.31 bc	12.32 bc
Vermiabono con arena más nitrógeno	5.12 a	3.07 a	12.86 a	21.07 a
Vermiabono con arena sin nitrógeno	3.72 a	2.61 ab	11.43 a	17.76 ab
Error estándar	0.15	0.16	0.82	2.16

Letras diferentes en las columnas denotan diferencias estadísticas significativas para $p \leq 0.05$).

*MSR= Masa Seca Raíz *MST= Masa Seca Tallo *MSH= Masa Seca Hoja *MSP= Masa Seca Planta

En cuanto al efecto de la composta y el vermiabono, debido a que sus procesos de elaboración son métodos biológicos que transforman restos orgánicos de distintos materiales en un producto relativamente estable (Claassen & Carey 2004) mejoran las características de los suelos, tales como fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas y fomenta la actividad microbiana (Nieto-Garibay et al. 2002) y como sustrato para cultivos en invernadero que no contamina el ambiente (Rodríguez *et al.* 2008).

El efecto de los sustratos en la concentración de clorofilas totales (clorofila a + b) mostró diferencias estadísticas significativas a favor de los tratamientos con vermiabono más arena con y sin aplicación de nitrógeno (Figura 2). El resto de los tratamientos mostraron un efecto similar con la síntesis y acumulación de pigmentos fotosintéticos en las plantas de *Paulownia elongata*; siendo el tratamiento con composta (con y sin nitrógeno), los de peor comportamiento. El efecto positivo del vermiabono en el incremento de la concentración de clorofilas es muy probable que se deba a la riqueza mineral de este sustrato, sobre todo al contenido de nitrógeno en la síntesis de las clorofilas (Taiz *et al.*, 2016).

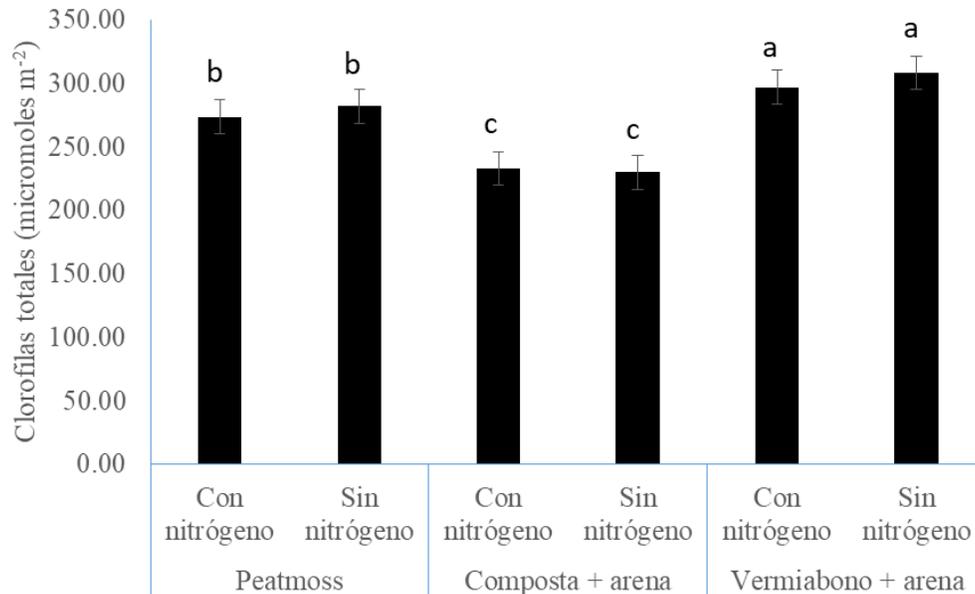


Figura 2. Efecto del tipo de sustrato y la disponibilidad de nitrógeno sobre la concentración de clorofilas totales en plantas de *Paulownia elongata*.

El efecto de la combinación de los tipos de sustratos y la disponibilidad de nitrógeno el producto cuántico máximo de la fotoquímica primaria incrementó significativamente en el tratamiento con el sustrato a base de Peatmoss con nitrógeno con diferencias significativas sobre el resto de los tratamientos (Figura 3). Todo parece indicar que los sustratos estudiados, no producen situaciones de estrés en las plantas de *Paulownia elongata* y que para el caso del sustrato formado por la combinación de Peatmoss más nitrógeno las condiciones de disponibilidad de nutrientes y de humedad hayan favorecido que las condiciones de absorción de nutrientes se acerque al óptimo y como tal no se haya afectado la actividad del fotosistema II (Quesada, 2001).

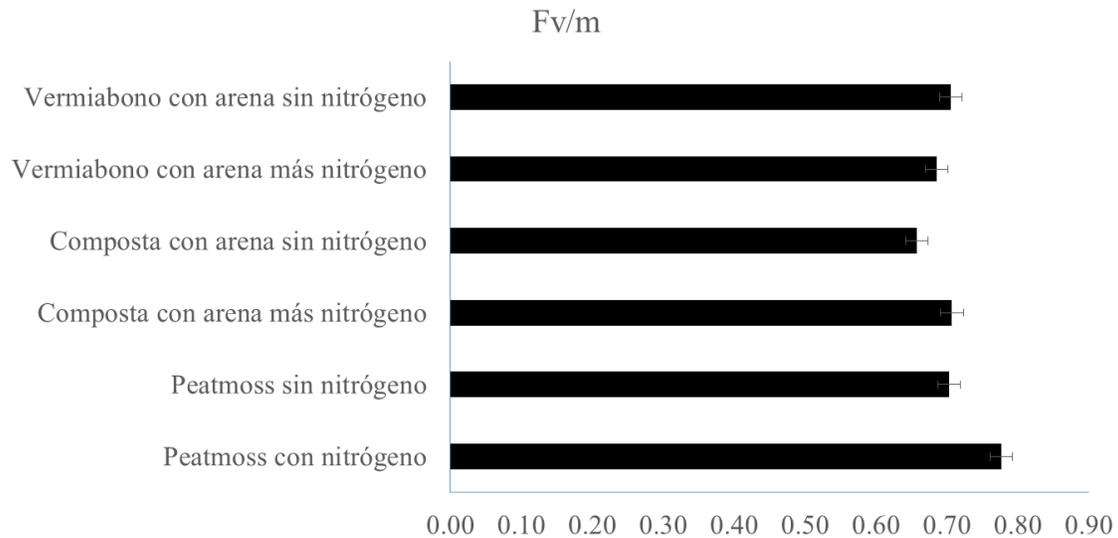


Figura 3. Efecto del tipo de sustrato y la disponibilidad de nitrógeno sobre el rendimiento cuántico de la fotosíntesis del fotosistema II en plantas de *Paulownia elongata*.

En el caso de la fuerza impulsora de la fotosíntesis (Figura 4) se observó un efecto significativo en los tratamientos a base de Peatmoss y Composta respectivamente en ambos casos con suministro adicional de nitrógeno. Estos resultados corroboran el efecto tipo de sustrato sobre la eficiencia fotosintética en el crecimiento inicial de las plántulas de *Paulownia* en condiciones de invernadero.

Se ha documentado que al análisis de la emisión de fluorescencia de la clorofila a del fotosistema II del aparato fotosintético de las plantas hace posible caracterizar los efectos y modos de acción de diferentes tipos de estrés ambiental (temperatura, sequía, alta intensidad luminosa, salinidad, inundación) y diversos contaminantes del agua como metales pesados, herbicidas, detergentes, así como de una variedad de compuestos contaminantes del aire. También puede ser de gran ayuda en la identificación de contaminantes tóxicos y sus fuentes (González-Moreno *et al.*, 2008)

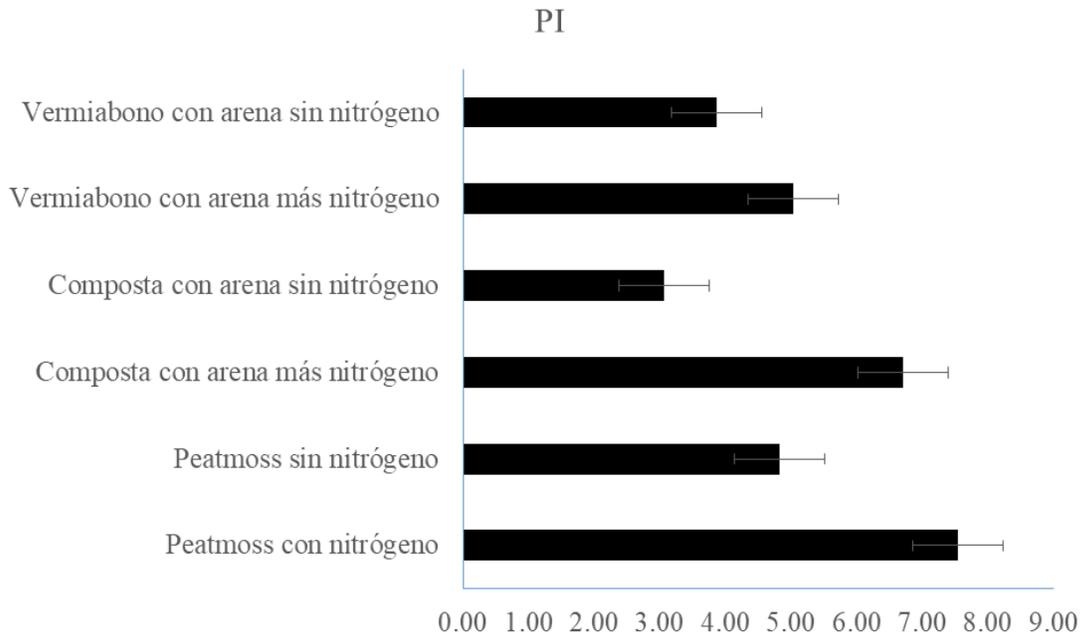


Figura 4. Efecto del tipo de sustrato y la disponibilidad de nitrógeno sobre la fuerza impulsora de la fotosíntesis en plantas de *Paulownia elongata*.

8. CONCLUSIONES

El uso de composta más arena y con suministro de nitrógeno influye positivamente en el crecimiento de plantas de *Paulownia* en condiciones de invernadero.

Se encontró un mayor efecto del vermiabono con y sin suministro de nitrógeno en la acumulación de biomasa hacia las raíces, las hojas y en sentido general en la planta (total acumulado). Mientras que las plantas crecidas sobre los sustratos a base de composta con arena (con y sin nitrógeno) y vermiabono con arena (con y sin nitrógeno), seguido del tratamiento con Peatmoss con nitrógeno, favorecieron la acumulación de biomasa en el tallo.

La concentración de clorofilas totales (clorofila a + b) fue mayor en los tratamientos con vermiabono con y sin aplicación de nitrógeno.

Se observó una mayor eficiencia fotosintética en las plantas de *Paulownia elongata* crecidas en el sustrato a base de Peatmoss.

BIBLIOGRAFÍA

1. AgroSur (2015). Paulownia “el árbol del futuro” que purifica el aire y la tierra. Operación Paulownia Chile. Chile.
2. Agüero T., (2013), Musgo *Sphagnum*. Manejo sostenible del recuso. ODEPA Ministerio de Agricultura, Oficina De Estudios Y Políticas Agrarias. Chile.
3. Altamirano M., Cabrera C., (2006), Estudio Comparativo Para La Elaboración De Compost Por Técnica Manual, Revista Del Instituto De Investigaciones FIGMMG Vol. 9, N° 17, Perú.
4. Blanco D., de la Balze V., (2004). Los Turbales De La Patagonia. Base Para Su Inventario Y La Conservación De Su Biodiversidad., Wetlands International – America Del Sur, Buenos Aires, Argentina.
5. Bondia, B. B. 1994. Compost. Revista Agrícola Vergel 146: 96–97.
6. Cáceres, E., (2016), Caracterización físico-mecánica de la madera de Paulownia elongata, Universidad de Valladolid campus de Palencia, Escuela Técnica Superior De Ingenierías Agrarias, España.
7. Cárdenas, A., (2015), Validacion y desarrollo de una tecnología para la multiplicación in vitro de *Paulownia elongata*, *Paulownia fortunei* y un híbrido (*P. fortunei* x *P. elongata*) bajo sistemas de propagación convencional e inmersión temporal, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Ingeniería en biotecnología de los recursos naturales, Quito.
8. Castellanos O., Rodríguez A., Rodríguez J., y Rodríguez B., (2006), Organogénesis indirecta y enraizamiento in vitro de Paulownia elongata, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Av. Normalistas No. 800 Colinas de la Normal, C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México, e-Gnosis [online] Vol.4, Art. 15.
9. Castillo C., Gutiérrez M., Buenrostro M., Cetina V., Cadena J., (2012), Regeneracion de plantas de paulownia elongata Steud. Por organogénesis directa, Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 3 No. 10, Mexico.

10. Cerro A., (2009), informe del proyecto de investigación “forestación en zonas semiáridas de Castilla La Mancha con *Paulownia spp*”, España.
11. Claassen VP, Carey JL (2004) Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using composts. *Compost Sci. & Util* 12(2): 145-152.
12. Comisión Nacional Forestal (2016), Iniciativa De Reducción De Emisiones (Ire), Programa De Inversión, Región Frailesca, Chiapas, obtenido de: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/6969IRE%20Programa%20de%20Inversion%20Fraylesca.pdf>
13. Domínguez M., Castro D., Díaz J., (2018), Propagación clonal in vitro de *Paulownia Elongata x Fortunei*, Universidad Católica de Oriente, investigación y desarrollo, Rionegro, Antioquia, Colombia.
14. Donahue, R., Raymond, M., & Schickluna, J. (1998). Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. México.
15. Ecosiembra (2017). Uso de arena de río para el cultivo de plantas. Alternativa ecológica un espacio dedicado a la promoción de agricultura ecológica en el ámbito urbano y rural. Lima, Perú.
16. Escobar N., Mora J., Romero N., (2013), Respuesta Agronomica De *Zea mays* L. y *Phaseolus vulgaris* L. A La Fertilización Con Compost, Revista Luna Azul, Núm. 37, Universidad De Caldas, Manizales, Colombia.
17. Gallardo C. Sustrato para plantas, tipos y principales características. One Art. 23 de junio del 2003. One Art. Entre Rios- Argentina. Disponible en www.oni.escuelas.edu.ar/.../macronutrientes%20en%20sustratos%20para%20plantas.pdf
18. Gladys P. Ledesma (2010), Evaluación de tres tratamientos pregerminativos con cuatro tipos de sustratos para la propagación de *Pumamaqui (oreopanax ecuadorensis Kumt)*, Tesis Ing. Forestal, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales.
19. González M., S.; Perales V, H.; Salcedo A., M.O. 2008. La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Rev. Educación Bioquímica*. 27(4):119-129.

20. Grignola P., Ordoñez A., (2002), Perspectivas de utilización de los depósitos de turba de la isla de Chiloé, Décima región de los lagos, Chile, Servicio Nacional de Geología y Minerología, Simposio Internacional de Geología ambiental para planificación del uso del territorio.
21. Guilcapi D., (2015), Estudio De Adaptabilidad De Tres Especies Forestales, Del Género *Paulownia* (*P. Fortunei*, *P. Elongata*, E Híbrido Entre *Fortunei* X *Elongata*). A Las Condiciones De Sitio “Estepa Espinosa” De Tunshi, Cantón Riobamba, Provincia De Chimborazo”, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo Facultad De Recursos Naturales Escuela De Ingeniería Agronómica Riobamba – Ecuador.
22. Gutiérrez J., Reyes R., Medina A., Niembro C., Morfín L., (2015), Caracterización nutricional de las hojas de *Paulownia elongata* en el periodo previo a su caída, revista iberoamericana de ciencia, ISSN2334-2501 Vol. 2 No. 3, Brownsville, Texas Estados Unidos de América.
23. Gutiérrez J., Reyes R., Medina A., Reyes M., Gutiérrez L., Camacho N., (2016), Estudio de la Composición Química y Toxicológica de las hojas de *Paulownia elongata*, Revista Iberoamericana de Ciencias, ISSN 2334-2501 Vol. 3 No. 2, México.
24. Gutiérrez J., Reyes R., Villalobos M., Ávila H., Morales L., (2015), Evaluación de cuatro dosis de fertilización en el desarrollo de *Paulownia* en Zumpango, Estado de México, Revista iberoamericana de ciencias, ISSN 2334-2501 Vol. 2 No. 6, Zumpango, México.
25. Hartmann, H., Kester, D., Davies, F., & Geneve, R. (1997). *Plant Propagation: Principles and Practices* (Sexta ed.). Prentice - Hall.
26. InfoAgro (2017). Tipo de sustratos de cultivos. Informativo agrícola de México, México
27. Lucas M., Martínez E., López F., Abellán M., García F., (2011), El cultivo forestal de *Paulownia spp*: primeros resultados de su aplicación en Castilla La Mancha, Universidad de Castilla La Mancha, Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete y Departamento de Ciencias y Tecnología Agroforestal y Genética, España.

28. Lyons A., (1993), *Paulownia* en agroforestería: árboles para la agricultura productiva, Ed, D, Race, Agmedia, East Melbourne.
29. Manual Agropecuario. (2002). Tecnologías orgánicas de la granja integral auto suficiente. Colombia: Lexus.
30. Napier, I. (1985). Técnicas de viveros con referencia en centro América. Honduras: Graficentro.
31. Nieto-Garibay A, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Larrinaga-Mayoral JA, García-Hernández JL (2002) El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8): 417-421.
32. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (2018). la deforestación y sus impactos, conjunto de herramientas para la gestión forestal sostenible obtenido de: <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/reducing-deforestation/basic-knowledge/es/>
33. Patil, S. L. 2000. Effect of *in-situ* moisture conservation practices and integrated nutrient management on nutrient availability and grain yield of rabi sorghum (*Sorghum bicolor*) in the vertisols of semi-arid tropics of south. *J. Soil W. Conserv. Res.* 2: 56–264.
34. Paulownia.pro (2020) Paulownia, el árbol que más rápido crece del mundo, www.paulownia.pro, España. Revisado en Septiembre, 2020.
35. Quesada, G. (2001). Caracterización fisicoquímica de materias primas y sustratos y su efecto sobre el desarrollo de plantas de almácigos de hortalizas en ambiente protegido. TFG 24390. Universidad de Costa Rica.
36. Rodríguez DN, Cano RP, Figueroa VU, Palomo GA, Favela Che, Álvarez RVP, Márquez HC, Moreno RA (2008) Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Méx.* 31(3): 265-272.
37. Romo R., Contreras S., Huerta F., Muñoz A., (2009), Efecto del vermiabono en crecimiento y acumulación de biomasa en *Aeschynomene*

- americana* L. en bancos de minería a cielo abierto, Tierra latino americana, vol. 27, universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.
38. Schofield W., (1985), *Introducción a la Briología*, editorial macmillan, New York, Estados Unidos.
39. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural 2019 *Alfalfa: La planta que nos alimenta a todos* Gobierno de México. México
40. Soto G., Meléndez G., (2004), *Como Medir La Calidad De Los Abonos Organicos, Hoja Técnica, Manejo Integrado De Plagas y Agroecología*, Costa Rica.
41. Suquilanda, M. (1996). *Agricultura Orgánica*. Quito: Ediciones UPS.
42. Tapia C., (2008), *Crecimiento y productividad del musgo *Sphagnum magellanicum* Brid. en turberas secundarias de la provincia de Llanquihue, Chile*. Universidad Austral De Chile. Facultad De Ciencias Agrarias, Escuela De Agronomía, Valdivia, Chile.
43. TUS PLANTAS.COM, (2000) <http://www.tusplantas.com>. Revisado en Septiembre, 2020.
44. Van Soest P., Robertson J., Lewis B., (1991), *Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharide in relation to animal nutrition*. J. Dairy. Sci. 1991. 74:3583-3597
45. Villalobos D., (2006), *Evaluación del comportamiento y adaptación del árbol de Paulownia Elongata*, Centro Universitario UAEM Zumpango, Zumpango, Estado de México.
46. Wallach P., Lopez L., Oberpaur C., Vacarezza F., Maier L., (2010), *Estudio Preliminar De Efectos Antimicrobianos "in vitro" Del Musgo *Sphagnum magellanicum* BRID.*, Agro sur Vol. 30(2), Santiago, Chile.
47. Zhao-Hua Z., Yao Guo X., Xin-Yu L., (1986), *Paulownia en china; cultivo y utilización*, Academia Chínense de Forestería, Beijín, China.