

Efectos del Biochar sobre el crecimiento y sobrevivencia de seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados en el periodo de Febrero 2019-Febrero 2020.

Autores:

Br. Jomara Mabet González Zamora

Br. Rosa Emilia López Cruz

Br. Tomas Uriel Gutiérrez Cruz

RESUMEN

El biochar o carbón vegetal como enmienda de suelo tiene gran potencial para su incorporación en las prácticas de restauración paisajes degradados. Sin embargo, pocos estudios han probado sus efectos con más de dos especies y mucho menos con dosis múltiples y con especies de bosques secos tropicales. En este estudio se evaluó el efecto del biochar sobre el crecimiento y sobrevivencia de plántulas de seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados. Las especies evaluadas fueron: *Cedrela odorata* L (Meliaceae), *Swietenia humilis* Zucc (Meliaceae), *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. (Bignoniaceae), *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken (Boraginaceae), *Guazuma ulmifolia* Lam (Malvaceae), *Crescentia alata* (Bignoniaceae). Una planta por bolsa con 20 repeticiones de cada tratamiento fue usada en un diseño completamente aleatorizado (20 repeticiones x 6 especies x 5 dosis, n = 600). Las dosis de biochar aplicadas fueron: control, 0.25%, 5%, 10% y 20% en función del volumen de las bolsas. Las plantas fueron regadas a capacidad de campo una vez por semana y permanecieron en vivero durante 100 días. Se encontró diferencias significativas en altura, diámetro al cuello de raíz, índice de esbeltez, peso de seco de raíz, tallo, hoja y sus respectivas fracciones, índice de contenido de clorofila, índice de lignina y el índice de calidad de Dickson entre especies y por efecto del biochar (interacción especies*tratamiento). La especie que mejor respondió a todos los tratamientos y presentó los valores más altos en la mayoría de las variables fue *G. ulmifolia*, seguido de *C. alata* y *C. odorata*. Las plántulas produjeron mayor biomasa seca de tallo, hoja y total en suelo con 2.5% de biochar, mientras que produjeron mayor biomasa de raíz en el tratamiento de 10% biochar. Estos resultados coinciden con el hecho de que el biochar como enmienda de suelo tiene un gran potencial para ser usados en las prácticas de restauración ecológica de suelos degradados.

Palabras claves: Restauración, Bosque seco, Biochar, Dickson, Suelos degradados, Biomasa.

INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo en Centroamérica es un fenómeno agravado por el cambio climático, que perturba el establecimiento de plantas forestales y afecta la disponibilidad de agua, causada por sequías extremas. La aplicación del biochar es una posibilidad para combatir la pérdida de fertilidad del suelo, y mejorar la calidad del mismo; presentando condiciones óptimas para la producción de plántulas con excelentes características morfológicas y fisiológicas que permitan su sobrevivencia en campo.

El bosque neotropical de Centroamérica, presenta una alta degradación por las diferentes actividades antropogénicas que incluyen el uso irracional del recurso, ya sea para la extracción de leña o la industria. Existen diferentes tecnologías que pueden ser aplicadas para la restauración del bosque como es el biochar, que es un subproducto obtenido de los diferentes tipos de biomasa por medio de un proceso de pirolisis, en donde su aporte influye en los efectos en las diversas características morfológicas y fisiológicas de las plantas que tienen un destino para la reforestación, y de esta manera determinar su capacidad de sobrevivencia en campo.

En Nicaragua existe el 1% de bosque seco dado a la gran deforestación que se ha venido dando en el transcurso del tiempo, por ende, surge la necesidad de restaurar estas áreas degradadas mediante la producción de plántulas con características óptimas morfológicas y fisiológicas que cumplan su vivencia en campo.

Existen diversos estudios en los que se muestran los beneficios que genera la aplicación del biochar sobre propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, las que incluyen una mejor retención de agua, aumento de la porosidad del suelo, regulación de pH, y mayor disponibilidad de nutrientes, lo que conlleva a prestar las condiciones óptimas para el excelente desarrollo de las plantas, que tenga gran influencia sobre sus características morfológicas y fisiológicas que permitan su establecimiento en zonas adversas con una adaptabilidad eficiente.

En Nicaragua, las investigaciones referentes a los efectos del biochar sobre las características morfológicas y fisiológicas de plantas forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados son casi nulas, por ende, la presente investigación evalúa el biochar que se obtuvo a partir del proceso de pirolisis de leña de *Acacia pennatula* (Schltdl. & Cham.) Benth para conocer los efectos que este tiene sobre el desarrollo de plantas forestales.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto del biochar sobre el crecimiento y sobrevivencia de plántulas de seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados.

MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Ubicación del área de estudio

La investigación se desarrolló en el invernadero de la Estación Experimental “El Limón” de la Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí. Está se encuentra ubicada a 1.5Km al suroeste de la ciudad de Estelí entre las coordenadas 13 03 44 N y – 86 21 57 OE a una altura de 888 msnm. La región se caracteriza por su clima seco, con una temperatura que varía entre 16 a los 33°C, con una precipitación aproximada de 830 mm, de los cuales el 90% caen durante 6 meses de la estación húmeda comprendidos entre mayo y noviembre (Peguero, Lanuza, Savé, & Espelta, 2012).

7.2. Diseño experimental

7.2.1. Selección de especies, colección de semillas y germinación

Las especies utilizadas en la investigación se seleccionaron tomando la disponibilidad de la semilla, su alta capacidad de sobrevivencia en campo, rápido crecimiento inicial, su alto potencial para la restauración de ecosistemas degradados (ver estudio de Wender et al 2017) y principalmente que son especies forestales nativas de nuestro país. Las especies seleccionadas fueron: *Cedrela odorata* L (Meliaceae), *Swietenia humilis* Zucc (Meliaceae), *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. (Bignoniaceae), *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken (Boraginaceae), *Guazuma ulmifolia* Lam (Malvaceae), *Crescentia alata* (Bignoniaceae).

Las semillas fueron colectadas de los sectores aledaños a la Estación Experimental El Limón a finales de la época seca del 2019. La siembra de la semilla se realizó de manera directa en bandejas de 98 alveolos llenas con una mezcla de suelo y cascarilla de arroz (proporción 3:1 aproximadamente), es decir no se realizó ningún tratamiento pre germinativo. Se aplicó riego dos veces por semana hasta lograr la máxima germinación a los 20 días y las plántulas recién germinadas estuvieron un periodo total de 35 días hasta el trasplante a las bolsas.

7.2.2. Obtención del biochar

El biochar fue obtenido por pirolisis en un reactor TLUD (top-lit updraft gasifier), utilizando como principal sustrato madera seca de *Acacia pennatula* (90%) menor a 5 cm de diámetro. La temperatura de pirolisis alcanzada por el reactor se registró con un medidor de temperatura laser, con una capacidad de 1000°C y una precisión de $\pm 3.5\%$; cada 10 minutos. El biochar se dejó enfriar hasta temperatura ambiente y luego fue triturado con un molino manual y cribado con tamiz de 2mm de apertura de malla.

7.2.3. Preparación del suelo

El suelo para el llenado de las bolsas es del orden vertisol y fue extraído de los primeros ~15 cm en los alrededores de la Estación Experimental El Limón. Se utilizaron bolsas de

polietileno de 9 x 19 cm (664.4 cm²) llenas de una mezcla de suelo cribado en malla de 0.5 cm de apertura de agujero y biochar.

7.2.5. Aplicación de los tratamientos

Los esfuerzos de restauración en TDF enfrentan muchas barreras, particularmente a nivel de establecimiento debido a las duras condiciones iniciales propias del bosque seco tropical que deben superar las nuevas plántulas. Teniendo en cuenta que el biochar como enmienda de suelo ha demostrado tener un gran potencial en la práctica de restauración (Gale et al., 2015), propusimos un diseño factorial cruzando dos tratamientos, especies con seis niveles y biochar con cuatro niveles de biochar y un testigo (suelo sin biochar). Es decir, una planta por bolsa con 20 repeticiones de cada tratamiento será usada (20 repeticiones x 6 especies x 5 dosis, n = 600) en un Diseño Completamente Aleatorizado.

Las dosis de biochar correspondientes a cada tratamiento fueron: control (0 g), 0.25% (35.1g), 5% (70.3g), 10% (140.6g) y 20% (281.2g) de biochar sobre el volumen de suelo promedio de cada bolsa (1406g). Cada plántula fue regada con 350ml de agua de la llave cada semana a partir de la segunda semana después del trasplante hasta el final del experimento. El 06 de agosto de 2019 aproximadamente 30 días después del trasplante se aplicó una dosis única de 3g de NPK (12-30-10) por plántula. Las plántulas se mantuvieron en el invernadero de la Estación Experimental El Limón durante 100 días aproximadamente.

7.3.6. Colecta de datos

Al final del experimento luego de 100 días de haber aplicado los tratamientos, se midió la altura (cm), diámetro del cuello de raíz (DCR) con un vernier o pie de rey digital ($\pm 0.01\text{mm}$), se contó el número de hojas y se midió el índice de contenido de clorofila de todas las plántulas con un Chlorophyll Content Meter Model CCM-200 Plus.

Cada plántula fue extraída de su bolsa sumergiéndola en un recipiente con agua para evitar pérdidas de raíz. Las plántulas fueron separadas por componente (raíz, tallo y hoja) y se secaron con papel absorbente para evitar medidas de peso erróneas. De cada planta se estimó el peso fresco de raíz, tallo, hoja y total (g), en una balanza analítica modelo ACCULAB VICON con una precisión de 0.001g y se midió el largo de cada raíz con una cinta métrica ($\pm 1\text{mm}$).

Los componentes de cada plántula fueron puestos en bolsas individuales de papel y se colocaron en un horno a 105°C por 24 horas. Cada bolsa fue rotulada para evitar pérdidas o alteraciones de datos. Luego del secado, se estimó el peso seco de raíz, tallo, hoja y total (g), la fracción de masa de raíz, tallo y hoja (g g^{-1}) y el largo específico de raíz (m g^{-1}).

Para determinar la calidad de las plántulas en vivero, se utilizará el Índice de calidad de Dickson ICD (Dickson et al., 1960), este índice integra la relación entre la masa seca total de la planta, la suma de la esbeltez y la relación parte seca aérea/parte seca radicular, el cual se presenta la siguiente fórmula:

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura tallo (cm)}}{\text{Diámetro tallo (mm)}} + \frac{\text{Peso seco tallo (g)}}{\text{Peso seco raíz (g)}}}$$

7.3.7. Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos y gráficos fueron ejecutados con InfoStat versión 2015 (JA Di Rienzo, Casanoves, Balzarini, Tablada, & Robledo, 2015) y R versión 3.2.1 (R Core Team, 2019). Los análisis se realizaron mediante Modelos Lineales Generales y Mixtos, con las especies y las dosis de biochar como efectos fijos. Se probaron diferentes estructuras de varianza residual para considerar la falta de homogeneidad de varianzas (JA. Di Rienzo, Macchiavelli, & Casanoves, 2011). El supuesto de normalidad fue evaluado usando QQ-plot y la prueba de Shapiro-Wilks. Los mejores modelos se seleccionaron de acuerdo con los criterios de información de Akaike (AIC) y Schwarz (BIC). En todos los análisis se reportan las medias ± 1 error estándar y las medias se compararon usando la prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Comprobar los efectos de biochar sobre las características morfológicas de plántulas de seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados.

Las especies difieren significativamente respecto a la altura ($F = 6.99$; $p < 0.0001$). En todos los tratamientos la especie con mayor altura fue *G. ulmifolia*, destacando que en el tratamiento 2.5% alcanzó su punto máximo, seguido *C. alliodora* no muestra diferencias entre los tratamientos salvo del 20%. *C. odorata* refleja una tendencia descendente en cuanto a altura, omitiendo el 2.5%. Por otra parte, *T. rosea*, *C. alata* y *S. humilis* fueron las especies que obtuvieron menor altura respecto a las demás especies.

Según Rueda-Sánchez et al. (2014) una planta es de buena calidad cuando tiene una altura superior a 15 cm. En este estudio, todas las especies en todos los tratamientos tuvieron una buena calidad porque la altura promedio fue de 40 cm (mínimo 8.4 cm y máximo 87.5 cm). La variable altura se relaciona con su capacidad fotosintética y su superficie de transpiración. Las plantas más altas pueden lidiar mejor con su vegetación competidora, aunque esto implica una buena salud fisiológica y un sistema radicular adecuado (Arnold, 1996). La altura está asociada con la forma de crecimiento, la posición de la especie en el gradiente vertical de exposición a la luz, el vigor competitivo, el tamaño reproductivo, la

fecundidad de la planta, la longevidad promedio y si la especie es capaz de establecerse y alcanzar un tamaño reproductivo entre dos eventos de disturbio (fuego, tormenta, arado, pastoreo, etc) (Pérez-Harguindeguy et al., 2013).

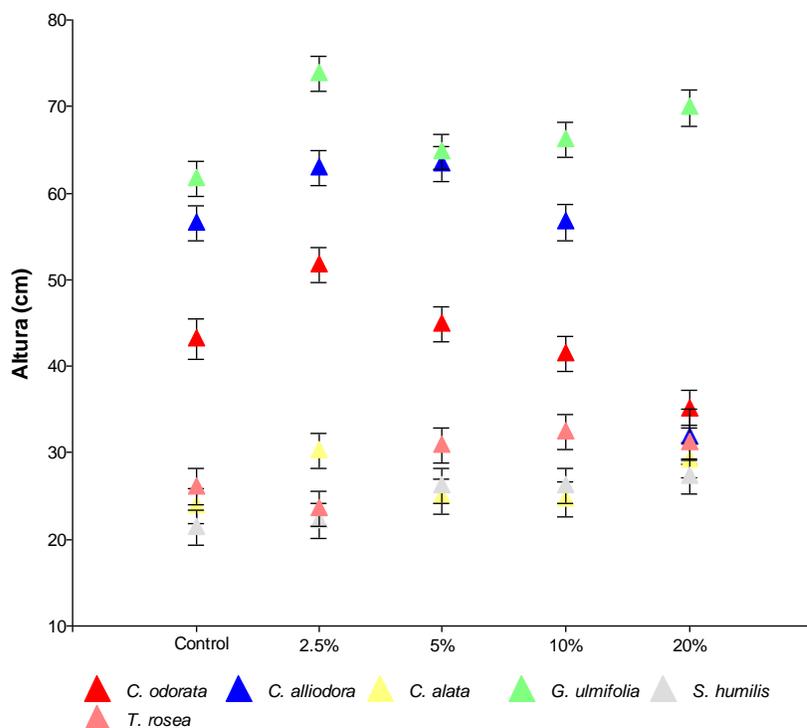


Figura 1. Efectos de biochar sobre la altura de las plántulas

Se encontró un efecto del biochar sobre el diámetro al cuello de raíz diferente entre las especies ($F = 3.75$; $p < 0.0001$), en la gráfica 2 se observa que la especie con mayor diámetro al cuello de la raíz es *C. odorata* seguido de *C. alata* mostrando una tendencia similar entre tratamientos. *G. ulmifolia* no presenta diferencias significativas entre las diferentes dosis de biochar para el diámetro al cuello de la raíz, sin embargo, se percibe que en *S. humilis*, *T. rosea* y *C. alliodora* son las que muestran menor diámetro al cuello de la raíz.

El diámetro es probablemente el mejor y más fácil predictor global de crecimiento posterior y supervivencia de las plántulas en campo (Thompson, 1984). El diámetro al cuello de la raíz es un indicador de la capacidad de transporte de agua hacia la parte aérea, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa de tolerar altas temperaturas de las plantas. Arnold (1996) establece como indicadores de calidad de una planta la altura, el diámetro de cuello y el peso fresco de la planta, señalando que mientras mayor es el diámetro y el peso fresco de una planta, mejor será la calidad de ella. Es decir, plántulas con diámetros grandes resisten mejor a la flexión, toleran más daños a insectos y animales, y están mejor aisladas del calor que aquellas con diámetros más pequeños (Johnson & Cline, 1991).

El diámetro al cuello de la raíz es una de las características de calidad más importante que permite predecir la supervivencia de la planta en campo; ya que define robustez y se asocia con el vigor de la plantación y éxito de la plantación (Sáenz, Villaseñor, Muñoz, Rueda, & Prieto, 2010). El diámetro es un indicador del comportamiento de la altura y ambos definen la producción de biomasa en la parte aérea y la raíz (Mexal & Landis, 1990).

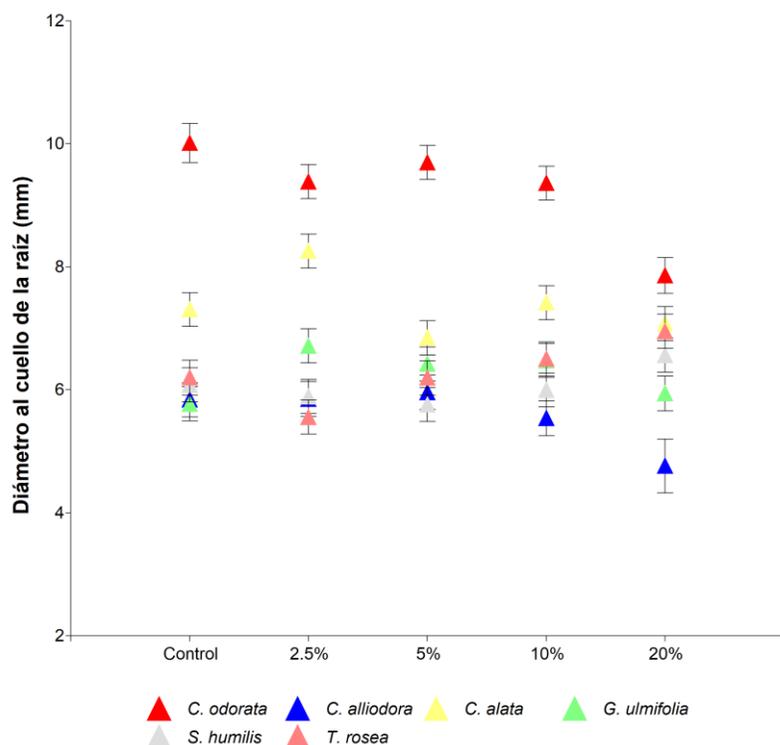


Figura 2. Efectos del biochar sobre el diámetro al cuello de la raíz

En el peso seco de raíz se encontraron diferencias entre especie y tratamiento ($F = 2.82$; $p < 0.0001$) figura 6. Las especies con mayor incidencia del peso seco de raíz en todos los tratamientos es *G. ulmifolia* y *C. alata*. Sin embargo, *C. alliodora* y *C. odorata* muestran una tendencia similar, que no difiere entre especie sobre el peso seco de raíz en cada uno de los tratamientos, la especie con menos peso de raíz es *T. rosea* excepto en el tratamiento 20%. Desde el punto de vista ecológico, es ideal que las plántulas presenten un buen sistema radicular, porque esto les permite explorar zonas más profundas del suelo y adquirir los nutrientes y el agua necesarios para su crecimiento. Una planta que presenta un sistema radicular limitado es poco robusta y por lo tanto tendrá baja resistencia al doblamiento y a los daños ocasionados por herbívora y parasitismo (Toral, 1997).

Entre mayor sea el sistema radical de la planta, tendrá mayor oportunidad de crecimiento y mayor posibilidad de explorar el suelo para captar agua y nutrientes (González, 1995). El desarrollo del sistema radical depende del agua que dispone el sustrato, lo que determina su crecimiento y desarrollo, porque si la planta tiene abundante agua no invertirá en

producción de raíces, de lo contrario, si se encuentra en condiciones de sequía es necesario que la planta cuente con un sistema radical amplio para que pueda sobrevivir. La inducción de un estrés hídrico moderado al final de un periodo vegetativo, detiene el crecimiento en altura, mientras que el diámetro al cuello de la raíz continúa creciendo debido al crecimiento radical (Leiva, Rocha, Mata, & Gutiérrez-Soto, 2009).

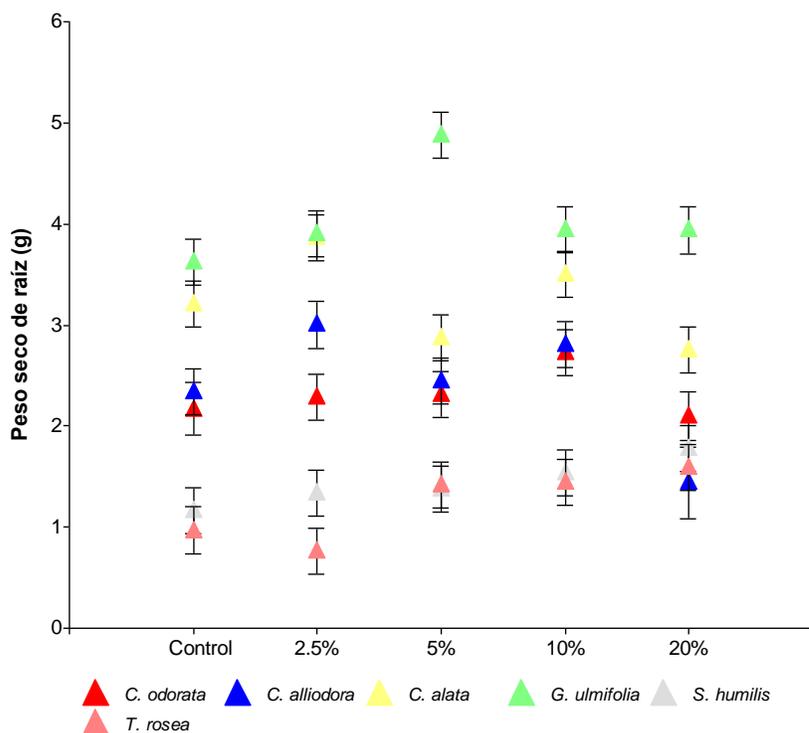


Figura 3. Efectos del biochar sobre el peso seco de la raíz de las plántulas

El peso seco del tallo difirió entre especies y dosis de biochar ($F = 4.91$; $p < 0.0001$; interacción especie-tratamiento) figura 7. En todas las dosis de biochar, la especie con el mayor peso seco del tallo fue *G. ulmifolia*, seguido de *C. odorata*, *C. alliodora*, cabe aclarar que, *C. alliodora* tuvo una disminución drástica del peso seco del tallo en el tratamiento 20% respecto a las dosis más bajas de biochar. En todos los casos *T. rosea* y *S. humilis* fueron las especies con el menor peso seco del tallo en todos los tratamientos de biochar.

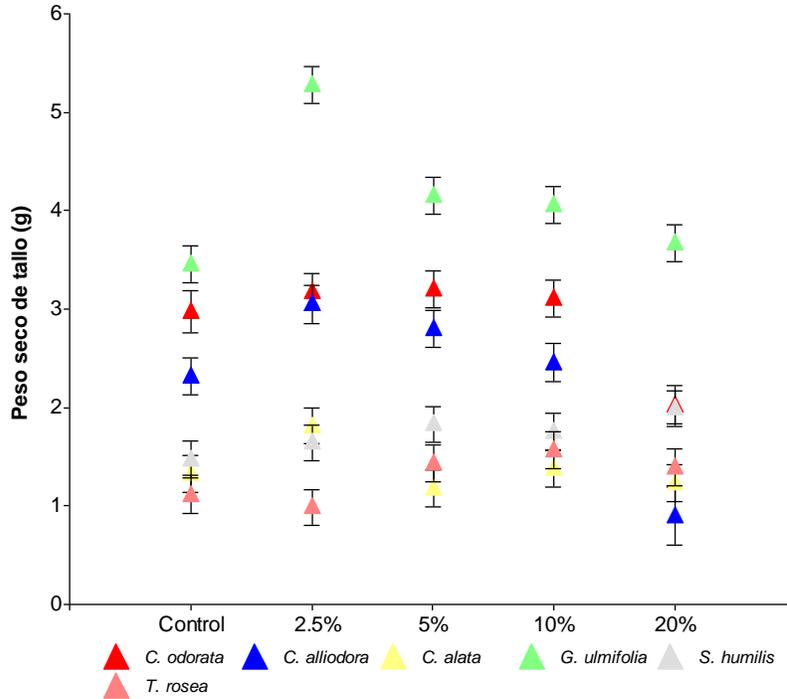


Figura 4. Efectos del biochar sobre el peso seco del tallo de las plántulas

Se encontraron diferencias significativas entre especies para el peso seco de hojas ($F = 4.49$; $p < 0.0001$). *C. alliodora*, *G. ulmifolia* y *C. odorata* muestran una descendencia en todos los tratamientos conforme aumenta las dosis de biochar, excepto en el 2.5%. *C. alata*, *S. humilis*, *T. rosea* fueron las especies que invirtieron mayor cantidad en peso seco de hojas en el tratamiento 20%.

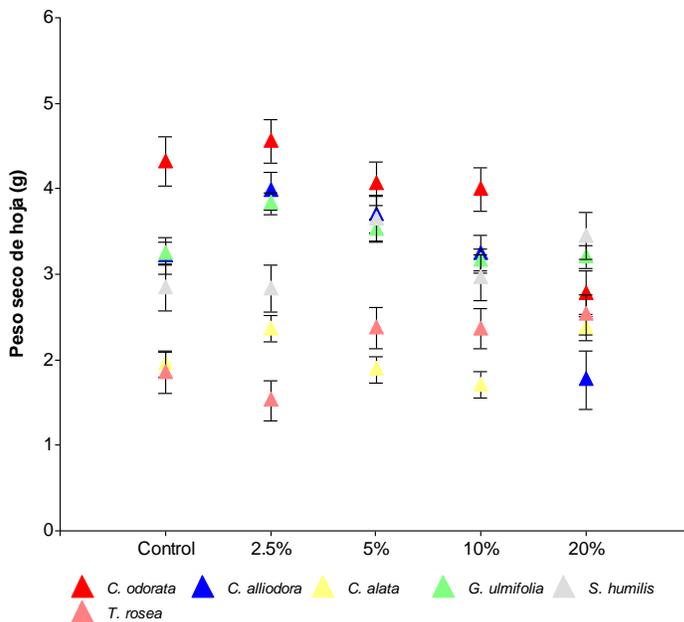


Figura 5. Efectos del biochar sobre el peso seco de la hoja de las plántulas

No se encontraron diferencias significativas entre tratamiento y especie para largo de raíz ($F = 1.28$; $p = 0.1876$), sin embargo, si se encontraron diferencias significativas entre especies ($F = 50.25$; $p < 0.0001$) figura 12, siendo *C. alata* la especie con mayor largo de raíz, seguido de *C. odorata*. Las especies que no difirieron entre si respecto al largo de raíz fueron: *G. ulmifolia*, *C. alliadora* y *T. rosea*. Por otra parte, la especie con menor largo de raíz fue o *S. humilis*.

El crecimiento y desarrollo de la raíz es una de las características importantes para el éxito en el establecimiento y supervivencia de las plantas, pues de esta depende en gran medida la absorción de agua y nutrientes esenciales para los diferentes procesos fisiológicos. El sistema radical, en respuesta a condiciones de sequia, son de gran importancia para la adaptación de la planta al ambiente (García-Figueroa & Vargas-Hernández, 1999). Las plantas que desarrollan un buen largo de raíz, bajo condiciones de estrés hidrico presentan un mayor crecimiento de las plantas.

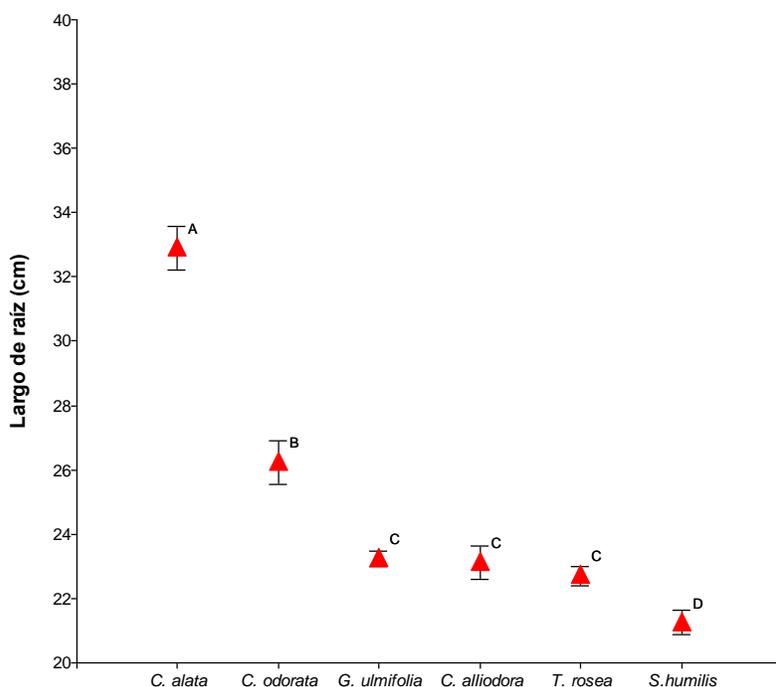


Figura 6. Efectos del biochar sobre el largo de la raíz de las plántulas

8.2. Determinar el efecto del biochar sobre el índice de Lignina (IL) e Índice de Clorofila (ICC) en las seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados.

Se encontró un efecto de las dosis de biochar diferente para cada una de las especies sobre el índice de lignina ($F = 4.31$; $P < 0.0001$). De manera general en la figura 11, se observa una tendencia creciente del **IL** conforme aumentan las dosis de biochar, excepto para *C.*

alliodora y *C. odorata* que alcanzan su punto más alto en 10% de biochar y luego descienden. Por otra parte, las especies con menor **IL** fueron *C. alata*, *T. rosea* y *C. odorata*.

Según Rueda-Sánchez et al. (2014) el índice de lignina es uno de los atributos fisiológicos que indican la calidad de las plantas. Plantea que, una planta de alta calidad debe poseer un contenido de lignina, mayor al 11.3%. Por lo tanto, las plantas de las seis especies forestales sembradas con diferentes dosis de biochar utilizadas para la investigación son de alta calidad, contienen una característica de plantas fuertes y con gran capacidad de sobrevivencia en campo, puesto que su contenido de lignina supera el 21.8% en todas las especies.

Los árboles que están suficientemente lignificados muestran tallo relativamente duros, que no se doblan con facilidad. Esta es una característica que les confiere mucha resistencia al momento de ser plantadas en campo, disminuyendo la mortalidad.

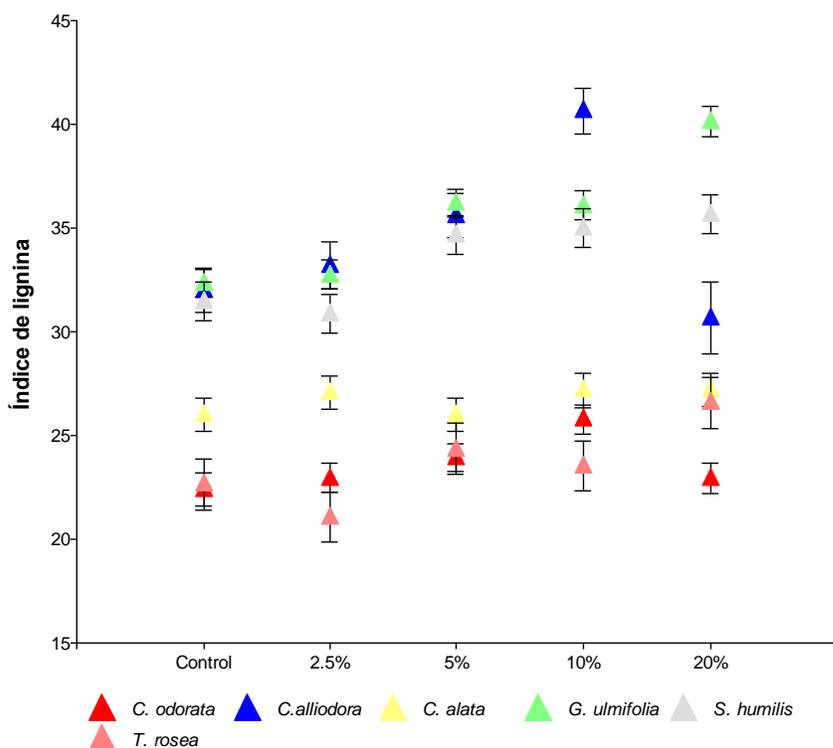


Figura 7. Efectos del biochar sobre el índice de lignina de las plántulas

En el índice de Clorofila de las hojas fue diferente entre las especies y las dosis de biochar ($F = 17.70$; $P < 0.0001$; interacción especie-tratamiento). En la figura 14, se observa que en el control todas las especies mostraron el menor índice de clorofila, mientras tanto, *C. alata* fue la especie con el mayor índice de clorofila en todos los tratamientos. La mayoría de las

especies alcanzaron su punto más alto de índice de clorofila en la dosis de biochar de 2.5%, luego se observa una tendencia decreciente del **ICC** para todas las especies.

La concentración de clorofila es una de las principales características que determinan la productividad de una planta (Álvarez-Holguín et al., 2018). La masa seca foliar y del sistema radical son los componentes más afectados por el ambiente lumínico de crecimiento y, por lo tanto, las plantas se adaptan un modelo de distribución de fotoasimilados; el cual consiste en que las plantas que contienen altos índices de clorofila translocan la mayor proporción de biomasa a las raíces, en cambio las que poseen menor **ICC** invierten más en sus brotes (tallos y hojas). Esto coincide con los resultados obtenidos en nuestra investigación, puesto que *C. alata* es la planta con mayor índice de clorofila en todos los tratamientos, conteniendo menor cantidad de biomasa seca en el tallo y hojas; y la que mayor masa seca de raíz posee, por ende, tienen alta probabilidad de sobrevivencia puesto que tienen la posibilidad de expandir sus raíces para la obtención de agua y minerales que necesiten.

Estos resultados coinciden con los reportados por (Fonseca et al., 2002) quienes encontraron una mayor relación altura/diámetro de tallo a medida que se disminuye el porcentaje **ICC** y señalaron que un índice de esbeltez más elevado implica plantas con menos resistencia a condiciones de campo impuesta por los factores del ambiente. Las plantas son más robustas y con menos probabilidad de daños físicos por acción del viento y sequías.

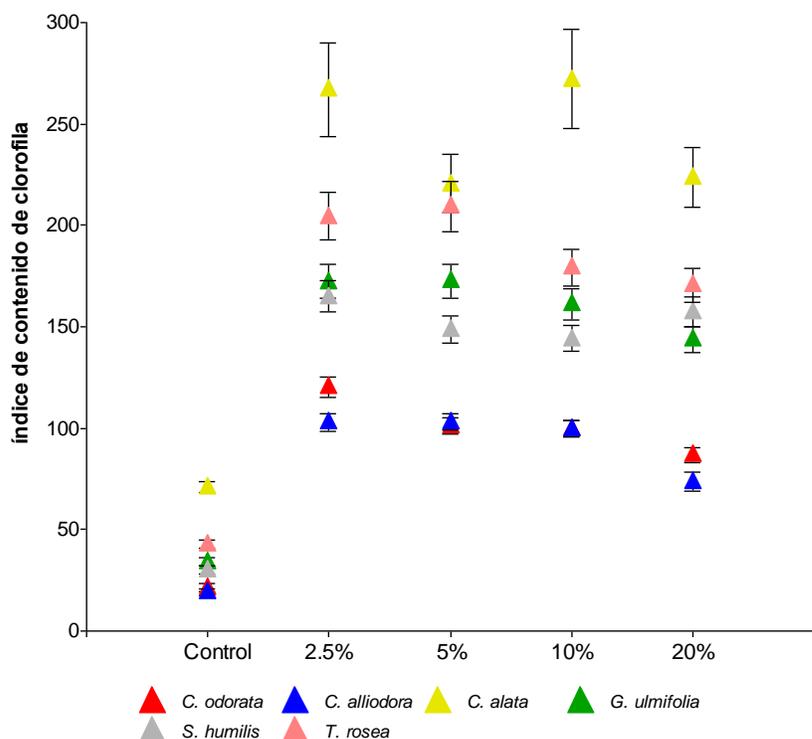


Figura 8. Efecto del biochar sobre el índice de contenido de clorofila de las plántulas

8.3. Construir curvas dosis-respuestas de las principales variables morfológicas de plántulas de las seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados.

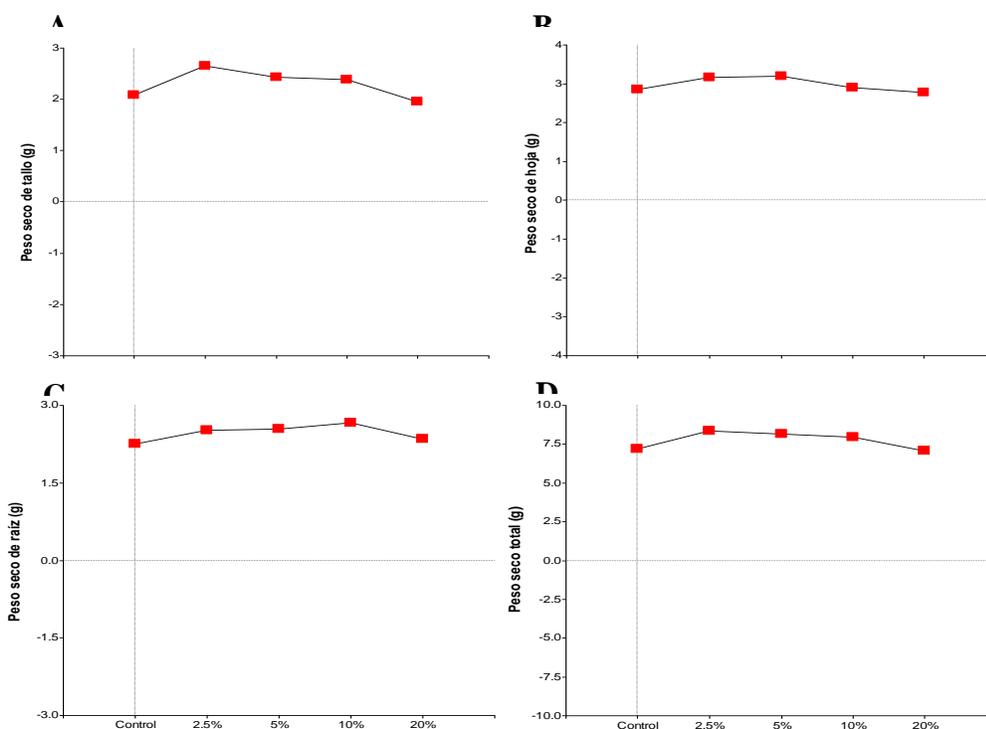


Figura 9. Curvas dosis respuestas de los principales rasgos morfológicos de las seis especies bajo diferentes dosis de biochar.

De manera descriptiva, en la figura se observa que la mejor respuesta de las plantas para el peso seco en general se obtuvo para todas las especies en el tratamiento de biochar del 2.5%, a excepción del peso seco de la raíz, donde la mejor respuesta se presentó en el tratamiento 10%.

La biomasa de la planta tiene gran correlación con la supervivencia en campo y con la consistencia del diámetro del tallo (Meax y Landis, 1990). La relación de los resultados con esta teoría establece que *G. ulmifolia* es la especie con alta supervivencia, dado su peso seco total, seguido de *C. odorata*.

El peso seco de las plántulas se correlaciona con la supervivencia y el crecimiento del campo con el mismo nivel de consistencia que el diámetro al cuello de la raíz (Thompson, 1984), dado que indica la distribución de la biomasa entre los diferentes órganos de las plántulas.

8.4. Determinar el efecto del Biochar sobre el Índice calidad de Dickson (ICD) en las seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados.

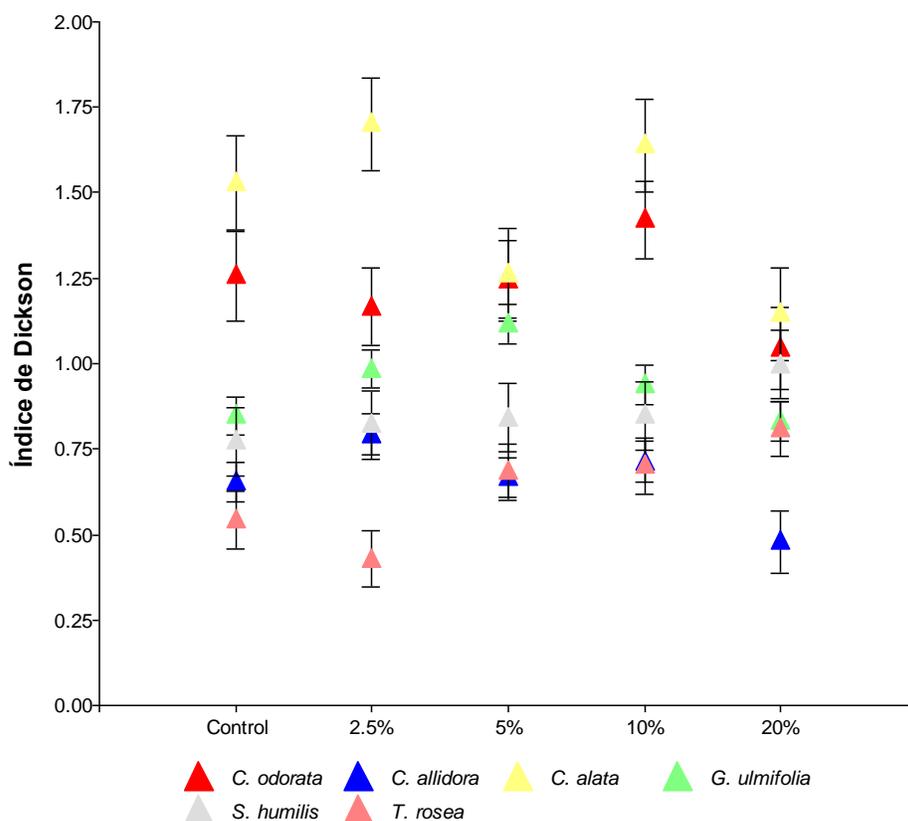


Figura 10. Efectos del biochar sobre el índice de Dickson de las plántulas

Se encontró diferencias significativas entre especie y tratamiento para el índice de calidad de plántulas Dickson ($F = 2.47$; $P = 0.0004$). El Índice de Calidad de Dickson (ICD), es el mejor parámetro para indicar la calidad de planta, ya que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, lo que evita seleccionar plantas más altas pero débiles y descartar ejemplares de menor altura, pero con mayor vigor (García, 2007). En este estudio, únicamente *T. rosea* y *C. alliodora* en 2.5% y 20% respectivamente presentaron una calidad de plántulas media, mientras que, para el resto de las especies en todos los tratamientos, mostraron un ICD superior o igual a 0.5 lo que indica que son plántulas de alta calidad. En este sentido, Rueda-Sánchez et al. (2014) propone valores específicos para la calidad de las plántulas según el índice de Dickson, siendo plántulas de baja calidad aquellas con $ICD < 0.2$, entre 0.2 - 0.4 plántulas de media calidad, mientras que plántulas con $ICD \geq 0.5$ indican plántulas de alta calidad.

(Lanuza, Casanoves, & Vilchez, sin publicar) en otro estudio de crecimiento de plántulas bajo diferentes dosis de riego y fertilización, encontraron que únicamente el riego influyó significativamente el ICD, las plántulas de *C. odorata* y *S. humilis* presentaron ICD

promedio entre 0.5 a 1, pero en ambas especies el índice fue superior cuando el riego era frecuente. Es decir, el riego es una variable clave que determina el crecimiento óptimo de las plántulas en vivero.

Finalmente, los resultados de esta investigación coinciden con el hecho de que el biochar como enmienda de suelo, tiene un gran potencial para ser usados en las prácticas de restauración ecológica de suelos degradados. Es decir, mediante su incorporación en la producción de plántulas en vivero, se pueden producir plántulas de óptima calidad que tendrán mayor capacidad de establecimiento en campo.

CONCLUSIONES

Las plántulas produjeron mayor biomasa seca de tallo, hoja y total en suelo con 2.5% de biochar, mientras que produjeron mayor biomasa de raíz en el tratamiento de 10% biochar.

La especie que mejor respondió a todos los tratamientos y presentó los valores más altos en la mayoría de las variables fue *G. ulmifolia*, seguido de *C. alata* y *C. odorata*.

La calidad de las plantas forestales en invernadero es, clasificadas de media a alta, en cuanto a las características morfológicas; siendo de suma importancia si las plantaciones se realizan en suelos degradados.

La especie *C. alata* fue la que presentó mejor índice de Dickson indicando que tiene alta calidad para su sobrevivencia en campo.

I. Bibliografía

- Álvarez-Holguín, A., Morales-Nieto, C. R., Corrales-Lerma, R., Avendaño-Arrazate, C. H., Rubio-Arias, H. O., & Villarreal-Guerrero, F. (2018). Caracterización estomática, concentración de clorofila y su relación con producción de biomasa en *Bouteloua curtipendula*. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA*, 29(2), 251-261.
- Arnold, M. A. (1996). Mechanical correction and chemical avoidance of circling roots differentially affect post-transplant root regeneration and field establishment of container-grown shumard oak. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(2), 258-263.
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., & Hipps, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil*, 337(1-2), 1-18.
- Di Rienzo, J., Macchiavelli, R., & Casanoves, F. (2011). *Modelos lineales mixtos: Aplicaciones en InfoStat* (1 ed.). Córdoba, Argentina.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13.
- Fonseca, É. d. P., Valéri, S. V., Miglioranza, É., Fonseca, N. A. N., & Couto, L. (2002). Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista árvore*, 26(4), 515-523.
- García-Figueroa, M., & Vargas-Hernández, J. (1999). Growth and biomass allocation of *Gliricidia sepium* seed sources under drought conditions. *Journal of Sustainable Forestry*, 10(1-2), 45-50.
- García, M. d. I. A. (2007). Importancia de la calidad del plantín forestal. *XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. Concordia, Entre Ríos, Argentina*.
- González, K. (1995). Tipos de envases en viveros forestales. *México: INIFAPSAGARPA*, 26-36.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (6 ed.). Mexico, DF: México: McGraw-Hill.
- Johnson, J. D., & Cline, M. L. (1991). Seedling quality of southern pines *Forest regeneration manual* (pp. 143-159): Springer.
- Lanuza, O., Casanoves, F., & Vilchez, S. (sin publicar). Efecto del riego y la fertilización sobre la calidad de plántulas forestales con potencial uso para restauración.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Leiva, J., Rocha, O., Mata, R., & Gutiérrez-Soto, M. (2009). Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. *Revista de Biología Tropical (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)*, Vol. 57(3), 817-836.
- Mexal, J. G., & Landis, T. D. (1990). *Target seedling concepts: height and diameter*. Paper presented at the Proceedings, western Forest nursery association.
- Peguero, G., Lanuza, O. R., Savé, R., & Espelta, J. M. (2012). Allelopathic potential of the neotropical dry-forest tree *Acacia pennatula* Benth.: inhibition of seedling establishment exceeds facilitation under tree canopies. *Plant Ecology*, 213(12), 1945-1953.

- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., . . . Cornelissen, J. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61(3), 167-234. doi: <http://dx.doi.org/10.1071/BT12225>
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J. d. D., Saenz-Reyez, J., Muñoz Flores, H. J., Prieto-Ruiz, J. Á., & Orozco Gutiérrez, G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(22), 58-73.
- Sáenz, R., Villaseñor, R., Muñoz, F., Rueda, S., & Prieto, R. (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán* (Vol. 17). México.
- Thompson, B. E. (1984). *Seedling morphological evaluation: what you can tell by looking*. Paper presented at the Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests, Oregon State University.
- Toral, I. (1997). Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. *Documento técnico, 1*.