

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
INSTITUTO INTERNACIONAL EN CONSERVACION
Y MANEJO DE VIDA SILVESTRE

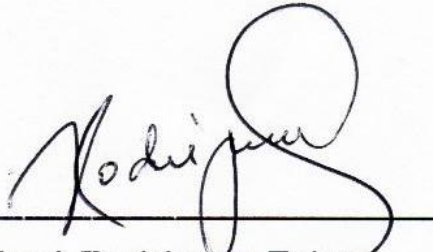
EVALUACIÓN DE CINCO TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS ESPECIES
FORESTALES UTILIZADAS EN LA RESTAURACIÓN DE BOSQUES DE LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL FORESTAL HORIZONTES, GUANACASTE, COSTA RICA

Lic. Alberto Rico Urones

Heredia, Mayo de 2017

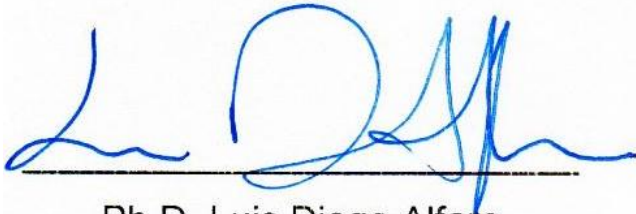
Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador de Postgrado
de la Universidad Nacional para optar al título de *Magister Scientiae*
en Conservación y Manejo de Vida Silvestre

Miembros del Tribunal Examinador



M.Sc. José Rodríguez Zelaya

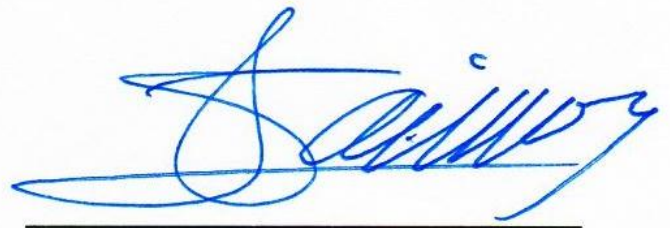
Presidente del Consejo Central de Posgrado ó su representante



Ph.D. Luis Diego Alfaro

Representante de la Dirección del

ICOMVIS



M.Sc. Joel C. Sáenz Méndez

Tutor




Ph.D. Romeo Manuel Spinola

Asesor



M.Sc. Albert Morera Beita

Asesor



Lic. Alberto Rico Urones

Sustentante

EVALUACIÓN DE CINCO TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS ESPECIES
FORESTALES UTILIZADAS EN LA RESTAURACIÓN DE BOSQUES DE LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL FORESTAL HORIZONTES, GUANACASTE, COSTA RICA.

Lic. Alberto Rico Urones

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador de Postgrado
de la Universidad Nacional para optar al título de *Magister Scientiae*
en Conservación y Manejo de Vida Silvestre

RESUMEN

La restauración activa de los ecosistemas presenta altos costos económicos, por ello debe ser monitoreadas y enfocada desde una perspectiva de manejo adaptativo, que permita recopilar información durante el avance del proyecto para destinar de una forma más eficiente tanto los recursos humanos como los económicos. Se analizó el efecto en el crecimiento de cinco especies forestales a la aplicación de cinco tratamientos. Estas especies están siendo utilizadas por la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH), Costa Rica, en sus proyectos de restauración ecológica de suelos degradados en el bosque seco tropical. Las especies forestales evaluadas fueron: el carboncillo (*Acosmium panamense*), el cocobolo (*Dalbergia retusa*), el guachipelín (*Diphysa americana*), el guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) y la leucaena o Ipil (*Leucaena leucocephala*), todas son leguminosas fijadoras de nitrógeno con alta tolerancia a suelos degradados. Los tratamientos evaluados fueron, 1) la aplicación de lombricompost, 2) la colocación de hojas secas alrededor de los plantas forestales, 3) la utilización de una tela de sarán y 4) la combinación de hojas secas cubiertas por la tela de sarán, todos ellos aplicados en la base del árbol, también se evaluó un 5) tratamiento control. El tratamiento con Lombricompost presentó una altura promedio mayor en la leucaena, que en las otras especies. El tratamiento que más benefició el crecimiento, en altura del carboncillo fue la aplicación conjunta de hojas más sarán, al igual que para el cocobolo. Para el guachipelín, la utilización de sarán fue el tratamiento que influyó más positivamente en su altura, mientras que para la leucaena fue la aplicación de hojas secas. En el momento de la siembra, en el guanacaste se detectó la presencia de un insecto de la familia Psyllidae y del hongo Oídio sp. en el 89.7% y 89.6% de los árboles, esto hizo imposible evaluar las variables y tratamientos debido a la bajísima sobrevivencia (4.2%). La respuesta encontrada a los tratamientos indica que debe modificarse el manejo que se realiza de malezas así como el programa de fertilización que se realiza en el proyecto. Debe prestarse especial interés a los problemas detectados en el guanacaste por la incidencia que estos han tenido en la sobrevivencia de la especie y por ser una especie importante en el bosque seco tanto para el ecosistema como para la fauna silvestre. La mayor amenaza detectada por parte de la fauna silvestre fueron los daños causados por garrobo (*Ctenosaura similis*) y los daños sufridos por el guachipelín por parte de conejos (*Silvilagus floridanus*) y venados (*Odocoileus virginianus*).

ABSTRACT:

The projects actions of active restoration of ecosystems have high economic costs, they must be monitored and focused from a perspective of adaptive management, which allows collecting information during the progress of the project to allocate the human and economic resources in a more efficient way. The impact on growth of five treatments in five forest species used by the Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH) on its projects for ecological restoration of degraded soils in the tropical dry forest, was analyzed. Forest species used were carboncillo (*Acosmium panamense*), cocobolo (*Dalbergia retusa*), guachipelín (*Diphysa americana*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) and leucaena (*Leucaena leucocephala*). All of them nitrogen fixing legumes with high tolerance to degraded soils. The evaluated treatments were the application of vermicompost, the addition of dry leaves around the plants, the use of saran fabric and the combination of dry leaves covered by saran fabric, all applied at the base of the tree. In addition, the growth was contrasted with a control without any treatment. The application of vermicompost increased the average height for all species. The treatment that most benefits the development of carboncillo was the combined application of leaves and saran, as well for the cocobolo tree. For the guachipelín the presence of saran fabric was the treatment that influenced more positive development while with leucaena tree, it was the application of dry leaves. At the time of planting the Guanacaste tree, the presence of an insect of the family Psyllidae and a fungus Oídio sp was detected in 89.7% and 89.6% of the trees. This made it impossible to assess the variables and treatments due to the very low survival (4.2%). The response of different species evaluated to treatments, show that the management techniques used for weed and fertilization program in the project, should be modified. It should be paid special attention to the problems identified in the Guanacaste tree by the impact these problems have had on the survival of the specie and because it is an important specie for the ecosystem and wildlife of the dry forest. The biggest threat detected by wildlife was the damage caused by the garrobo (*Ctenosaura similis*). They were also significant damages suffered by the guachipelín from rabbits (*Silvilagus floridanus*) and deer (*Odocoileus virginianus*).

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

A todos aquellos que me han ayudado a terminar esta tesis. En especial a mis asistentes de campo, Katherine Ulate, Diana Burbano y Julen Brull. También a mi director de tesis Joel Sáenz, por el tiempo y esfuerzo invertido en este trabajo. Por supuesto o a mis padres, Enrique Rico y Carmen Urones, el apoyo y enseñanzas que toda mi vida me han dado. A Keylor Villalobos y Allan González del departamento de entomología agrícola de la Universidad Nacional, por su ayuda en la determinación y fotografía de insectos. Y por las horas de compañía, historias y horas invertidas en cuidar de los árboles, aunque no era su labor, mi final agradecimiento es para Javier Sequeira.

CONTENIDO

| | |
|---|------|
| RESUMEN..... | IV |
| ABSTRACT..... | V |
| AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA..... | VI |
| LISTA DE CUADROS..... | VIII |
| LISTA DE FIGURAS..... | IX |
| INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| MARCO TEÓRICO..... | 16 |
| Restauración ecológica..... | 16 |
| Restauración de bosque seco tropical..... | 20 |
| Prácticas utilizadas para la restauración de bosque seco en Costa Rica..... | 21 |
| ANTECEDENTES..... | 23 |
| OBJETIVO GENERAL..... | 25 |
| Objetivos específicos..... | 25 |
| ÁREA DE ESTUDIO..... | 26 |
| METODOLOGÍA..... | 28 |
| RESULTADOS..... | 34 |
| DISCUSIÓN..... | 61 |
| CONCLUSIONES..... | 70 |
| RECOMENDACIONES..... | 71 |
| LITERATURA CITADA..... | 73 |
| ANEXOS..... | 84 |

LISTA DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|--|---------------|
| Cuadro 1: Número de árboles por especie y tratamiento utilizados para este estudio..... | 30 |
| Cuadro 2: Resumen de tratamientos aplicados y su metodología..... | 31 |
| Cuadro 3: Variables medidas y método de medición..... | 32 |
| Cuadro 4: Porcentajes de sobrevivencia de los árboles por especie en cada tratamiento cuando finalizó este estudio, 21 de julio de 2014..... | 39 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|---------------|
| Figura 1: Ubicación geográfica de la Estación Experimental Forestal Horizontes, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica, 2013..... | 27 |
| Figura 2: Curvas de sobrevivencia del carboncillo (<i>Acosmium panamense</i>) durante los muestreos separadas por tratamiento..... | 34 |
| Figura 3: Curvas de sobrevivencia del cocobolo (<i>Dalbergia retusa</i>) durante los muestreos separadas por tratamiento..... | 35 |
| Figura 4: Curvas de sobrevivencia del guachipelín (<i>Diphysa americana</i>) durante los muestreos separadas por tratamiento..... | 36 |
| Figura 5 Curvas de sobrevivencia del guanacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>) durante los muestreos separadas por tratamiento..... | 37 |
| Figura 6: Curvas de sobrevivencia del leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>) durante los muestreos separadas por tratamiento..... | 38 |
| Figura 7: Alturas medias en centímetros por muestreo y tratamiento del carboncillo (<i>Acosmium panamense</i>)..... | 40 |
| Figura 8: Alturas medias en centímetros por muestreo y tratamiento del cocobolo (<i>Dalbergia retusa</i>)..... | 41 |
| Figura 9: Alturas medias en centímetros por muestreo y tratamiento del guachipelín (<i>Diphysa americana</i>)..... | 42 |
| Figura 10: Alturas medias en centímetros por muestreo y tratamiento del guanacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)..... | 43 |
| Figura 11: Alturas medias en centímetros por muestreo y tratamiento del leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)..... | 44 |

| | |
|---|----|
| Figura 12: Diámetros medios en centímetros por muestreo y tratamiento del carboncillo (<i>Acosmium panamense</i>)..... | 45 |
| Figura 13: Diámetros medios en centímetros por muestreo y tratamiento del cocobolo (<i>Dalbergia retusa</i>)..... | 46 |
| Figura 14: Diámetros medios en centímetros por muestreo y tratamiento del guachipelín (<i>Diphysa americana</i>)..... | 47 |
| Figura 15: Diámetros medios en centímetros por muestreo y tratamiento del guanacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)..... | 48 |
| Figura 16: Diámetros medios en centímetros por muestreo y tratamiento de la leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)..... | 49 |
| Figura 17: Número de hojas por muestreo y tratamiento del carboncillo (<i>Acosmium panamense</i>)..... | 50 |
| Figura 18: Número de hojas por muestreo y tratamiento del cocobolo (<i>Dalbergia retusa</i>)..... | 51 |
| Figura 19: Número de hojas por muestreo y tratamiento del guachipelín (<i>Diphysa americana</i>)..... | 52 |
| Figura 20: Número de hojas por muestreo y tratamiento del guanacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)..... | 53 |
| Figura 21: Número de hojas por muestreo y tratamiento la leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)..... | 54 |
| Figura 22: Foto con estereoscopio del insecto perteneciente a la familia Psyllidae..... | 56 |
| Figura 23: Foto con estereoscopio del insecto perteneciente a la familia Psyllidae..... | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 24: Foto con estereoscopio del insecto perteneciente a la familia Psyllidae..... | 57 |
| Figura 25: Porcentaje de árboles con presencia de depredación en cada uno de los muestreos separados por especie..... | 57 |
| Figura 26: Alturas promedio por muestreo de los tratamientos SIN y Lombricompost..... | 59 |
| Figura 27: Altura promedio en centímetros por especie en el séptimo muestreo entre el tratamiento SIN y Lombricompost..... | 60 |

INTRODUCCIÓN

En los últimos dos siglos, el acelerado crecimiento de las poblaciones humanas y sus actividades han ocasionado cambios en la dinámica y en los procesos ecológicos de los bosques del mundo, modificando grandes extensiones, fragmentándolas y reduciendo el hábitat disponible para la fauna y la flora silvestre (Ceballos *et al.*, 2007). Además, el actual cambio climático podría agravar el problema (Saavedra *et al.*, 2005; Alonso, 2013; Bitar, 2014), ya que está cambiando la distribución de los hábitats donde poder establecerse, crecer y reproducirse, suponiendo un reto para la conservación de la biodiversidad (Huntley, 1998; Williams *et al.*, 2005). Además, muchos de estos terrenos están perdiendo calidad ecológica debido a la degradación de sus suelos. El suelo es considerado como un recurso fundamental, que junto con el agua, el aire y la biota, constituyen los cuatro pilares o recursos ambientales básicos que deben ser protegidos y preservados como parte del patrimonio que recibirán las generaciones futuras (Macías, 2004).

Por otro lado, la crisis ambiental ha aumentado debido a la reducción de los servicios ecosistémicos como la producción de agua, la fijación de CO₂, la biodiversidad, la productividad del suelo, entre otros. Las tasas de destrucción de los ecosistemas continúan ocurriendo gracias a las malas prácticas agrícolas, la ganadería extensiva y la explotación no sustentable de los recursos naturales propiciando así, variaciones desfavorables tanto para la naturaleza como para la humanidad misma. Ante esta situación, el manejo de los ecosistemas a través de la restauración ecológica toma cada vez mayor fuerza en la búsqueda de posibles estrategias que reviertan los procesos de degradación y la pérdida de la biodiversidad (Vargas, 2011).

La Sociedad para la Restauración Ecológica (SER, 2002) define restauración ecológica como “el proceso de asistencia a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido”. Cada vez, con mayor frecuencia, la restauración ecológica es adoptada como una manera de abordar el uso del suelo en áreas que han sufrido degradación ecológica debido al impacto humano (Lindenmayer y Franklin, 2002; Lamb y Gilmour, 2003, Mansourian *et al.*, 2005). Actualmente, la restauración ecológica está reconocida como una disciplina científica (Clewell y Aronson, 2007). Benayas *et al.* (2009) resumieron los tipos de actividades antropogénicas que degradan los ecosistemas y las actuaciones de restauración que actualmente se llevan a cabo para solucionar este problema. Típicamente, estas actuaciones se enfocan en la reducción o la eliminación de los factores que causan la degradación ambiental y/o en el restablecimiento de los

componentes ecosistémicos clave, para así influir en la tasa y dirección de la recuperación (Newton y Tejedor, 2011).

Los suelos degradados son abundantes en todo el mundo y su aprovechamiento agropecuario es muy difícil, antieconómico o directamente impracticable. El establecimiento de proyectos de restauración forestal constituye una de las posibilidades de utilización de suelos degradados, así como elemento de estabilización y protección de sitios inestables como costas de ríos y mares, dunas de arena y laderas de alta pendiente (Ferrari y Wall, 2004). En la actualidad, la restauración de bosques se basa en dos enfoques. Por un lado, está la restauración pasiva, que es la colonización natural de herbáceas, arbustos y árboles controlando el acceso al terreno por parte de humanos o herbívoros domésticos y en muchas ocasiones la prevención o control de incendios e inundaciones. Por otro, estaría la restauración activa, la cual implica técnicas de manejo tales como plantaciones, siembras, eliminación de hierbas, quemas, protección contra los herbívoros y riegos, entre otras muchas (Newton *et al.*, 2001; Benayas *et al.*, 2008). La restauración activa, es utilizada cuando la pasiva es muy lenta o presenta riesgos (Van Andel y Aronson, 2006). La restauración activa aunque en términos generales es más rápida y eficiente que la pasiva, presenta unos costes muy elevados y requiere de una compleja planificación, manejo y seguimiento para obtener los resultados esperados.

La recuperación activa de un suelo empieza como la recuperación pasiva, identificando los motivos o factores de la degradación para tratar de controlarlos o manejarlos, posteriormente se inicia con la selección adecuada de las especies vegetales que se utilizarán en la siembra, estas deben ser especies tolerantes a los distintos tipos de estrés propios del suelo a restaurar. Los estreses o problemas más comunes en los suelos degradados han sido identificados como problemas de salinidad, acidez, metales pesados, sequía, fuego, malezas invasoras, deficiencias de nutrientes, inundación, compactación y encostramiento (Ferrari y Wall, 2004). Las especies vegetales capaces de adaptarse a suelos degradados deben tener una baja demanda de nutrientes y permitir un eficiente reciclado externo de los mismos a través de la descomposición de hojarasca y de raíces muertas (Peláez *et al.*, 2009).

Los primeros años después de la siembra, las especies vegetales son las más sensibles, ya que el pequeño tamaño de los árboles los hace más susceptibles a los cambios ambientales, depredación y competencia. En estos primeros años se ha encontrado que algunas variables del medio circundante a los plántones presentan una gran influencia en el éxito o fracaso en el establecimiento de la repoblación. Algunas de estas variables son la disponibilidad de nutrientes, la depredación, la protección ofrecida

por matorrales, la sombra de árboles aislados, la competencia con las herbáceas (Zamora *et al.* 2001; Gill, 2003).

Los bosques tropicales son especialmente importantes por ser los más antiguos, diversos y ecológicamente complejos del planeta (Whitmore, 1997). Sostienen más de la mitad de todas las formas de vida (Myers, 1984) y brindan servicios ambientales como la captación de agua, el mantenimiento del suelo, la fijación de CO₂; además de contener innumerables especies de fauna y flora con valor real o potencial. Meli (2003), recopiló los factores limitantes en la regeneración y restauración de bosques tropicales. Los factores fueron agrupados en bióticos y abióticos. En la fase inicial de instauración del bosque, los factores más importantes están relacionados con la lluvia de semillas, como la distancia a fragmentos de bosque, la dispersión de las especies o la presencia de los animales dispersantes adecuados. Una vez que la semilla llega al suelo, la competencia con herbáceas y la depredación de semillas por animales son los factores bióticos más importantes, mientras que factores abióticos como las características microclimáticas son vitales para una correcta germinación (Meli 2003). Si se realiza una plantación, los factores anteriormente dichos no serían importantes, pero deberían considerarse factores bióticos como la interacción de las plántulas con los pastos, la herbivoría de plantas jóvenes y las micorrizas, los factores abióticos como el microclima y características edáficas del suelo son de importancia para facilitar la supervivencia de los plantones.

En Costa Rica se han realizado gran número de trabajos con el fin de entender las dinámicas de regeneración de bosques tropicales. Muchos de estos trabajos se han enfocado al bosque seco tropical, ya que el país cuenta con la mayor extensión de bosque seco tropical protegido de la región (Alfaro *et al.*, 2001) y, considerado como el ecosistema tropical más amenazado (Janzen, 1986). Con el objetivo de conservar este tipo de bosque, nació el Área de Conservación Guanacaste, ubicada al Noroeste del país.

El Área de Conservación Guanacaste (ACG) se encuentra bastante consolidada a nivel geográfico y administrativo. Gran parte del área presenta una buena regeneración natural. Sin embargo, existen todavía dentro de sus aéreas protegidas, algunas extensiones de terrenos aún con pastizales que, a pesar del enorme esfuerzo que se ha realizado interviniendo los sitios con proyectos de restauración de bosques y resguardando las áreas de ser afectadas por los incendios, no han iniciado aún su proceso de regeneración; por razones como la distancia de fuentes de semillas o características de suelo y vegetación exógena que limitan el desarrollo y crecimiento de las especies nativas de cada ecosistema (Gutiérrez-Leitón, 2010).

En cualquier proceso de restauración, es importante optimizar los recursos, donde estos suelen ser escasos. El mejoramiento de las técnicas de manejo de especies silvestres de flora y fauna es de importancia para la toma de decisiones estratégicas (Chenhall y Langfield-Smith, 1998) y la correcta inversión de los recursos destinados a conservación o al manejo de dichas especies, todo ello enmarcado en una visión de manejo adaptativo (Shepherd, 2006; Walker y Salt, 2006); la cual integra el diseño, gestión y seguimiento para comprobar de manera sistemática los supuestos con el fin de adaptarse y aprender (Newton, 2007). Si los logros no son los esperados, se debe pensar en un manejo adaptable que garantice que la restauración vaya por la trayectoria esperada (NRC, 2004). Para ello, deben realizarse estudios de seguimiento de las repoblaciones enfocados en relacionar variables ambientales con tasa de crecimiento o de supervivencia con el objetivo de conocer cuáles de dichas variables influyen en el éxito o fracaso del proyecto (Barrera y Valdés, 2007).

En la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH), ubicada en el ACG, se realizan trabajos para conocer los factores que influyen en el éxito o fracaso de la regeneración del bosque seco. Como parte del proyecto de restauración de la EEFH, se trabaja con varias especies de plantas, principalmente leguminosas, las cuales son capaces de fijar nitrógeno y establecerse sobre sustratos degradados y compactados, siendo también resistentes a incendios, derrumbes, fuertes tormentas y malezas agresivas. Sin embargo, se desconoce la eficiencia en el manejo forestal de estas especies, de manera que surgió la necesidad de implementar diversos tratamientos con el fin de evaluar la sobrevivencia de los árboles. Dichos tratamientos, son poco costosos y tienen en cuenta variables propias del árbol y del entorno. Una de las razones por las cuales es importante conocer este tipo de proyectos, es por la depredación que pueden tener estas especies en estadios, ya que, al ser importantes en la dinámica de los bosques secos tropicales, resulta indispensable identificar el impacto causado por la fauna y así generar estrategias de manejo que permitan adaptarse a él.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el crecimiento y determinar los factores principales que están influyendo en la supervivencia de cinco especies de árboles, plantados con el objetivo de restaurar aéreas degradadas por las actividades humanas en aéreas de la EEFH. Los tratamientos propuestos pretendieron ser fáciles y poco costosos de realizar, enfocados a conocer las variables implicadas en la supervivencia de los plántones forestales durante su primer año en campo, así como conocer la eficacia de las medidas de manejo que al día de hoy se realizan en la EEFH. Lo anterior, con el fin de aportar recomendaciones que ayuden en el objetivo de restaurar aéreas degradadas presentes en el ACG.

MARCO TEÓRICO

Restauración Ecológica

La restauración ecológica trata de devolver al ecosistema perturbado a un estado lo más parecido posible a su condición natural, pero no se trata sólo de recuperar especies como si se tratara de crear un zoológico o invernadero, sino de recuperar las interacciones y procesos ecológicos en los que dichas especies están relacionadas entre sí y con el medio abiótico (Zamora, 2002). Ejemplos de actuaciones realizadas en pro de la restauración ecológica serían planes de aprovechamiento, conservación y manejo de especies silvestres así como la conservación de suelos, agua, la reintroducción de especies extintas localmente y el establecimiento de comunidades destruidas o deterioradas parcial o totalmente (Martínez, 1996; González-Chávez, 2005).

La biosfera del planeta ha presentado en los últimos 200 años cambios muy drásticos debido al aumento de las poblaciones humanas y su consumo de recursos. Actualmente, nos encontramos en un momento de la historia en que el planeta empieza a dar muestras de sobreexplotación ecológica, esto pone especial énfasis en la importancia de la restauración como herramienta para la conservación y el desarrollo de sistemas más sostenibles ecológicamente (Linkies, 2011). Es trabajo de los manejadores de vida silvestre, entre otros, poner en la práctica los trabajos realizados por ecólogos y otros campos relacionados del área de manejo de recursos naturales, con el objetivo tanto de conservar como de potenciar o mejorar las funciones ecosistémicas que las diferentes áreas degradadas ofrecen a los seres humanos de todo el planeta.

La sucesión ecológica es el principal marco conceptual de la restauración ecológica. Asumiendo que los ecosistemas que han sido degradados, llevan a cabo por sí mismos eventos de recuperación que son parte del proceso de sucesión hacia estados sucesionales propios del área de vida en que se encuentran (Martínez, 1996). El concepto de sucesión ecológica nace con Clements a principios del siglo XX, quien definió por primera vez la sucesión ecológica como un proceso sinecológico de eventos graduales y recurrentes que tienden a llegar al equilibrio, fue apodada la hipótesis del monoclímax ya que planteaba una sola comunidad clímax dependiente de las condiciones climáticas preponderantes.

En 1927, Gleason publicó la Teoría Individualista según la cual la sustitución de especies en un proceso de sucesión no tiene una secuencia determinada, ya que cada especie responde de manera específica a las interacciones bióticas y abióticas propias del hábitat. Para Gleason (1927), la sucesión no podría predecirse y la similitud entre

comunidades clímax sería una ilusión simplista. Para mediados de siglo, Watt (1947) propuso el concepto de “sucesión cíclica” que considera que todas las comunidades naturales se encuentran en equilibrio y que los cambios que estas experimentan se deben no a procesos de sucesión, sino más bien a eventos cíclicos observados a pequeña escala. Watt (1947) dividió la sucesión en cuatro fases: pionera, constructiva, madura y degenerativa, después de la última etapa se comenzaría otra vez con la etapa pionera. Whittaker (1975) utilizando el trabajo de Clements, creó el concepto de patrón climático, para él, existen grandes patrones climáticos mundiales que marcarían, junto con las condiciones climáticas locales causadas por el suelo, la topografía y los eventos de perturbación, las comunidades y asociaciones biológicas de un área específica.

Horn (1976) propuso el modelo conocido como “reemplazamiento árbol por árbol”, el cual permite predecir los cambios en la composición y estructura de una comunidad arbórea con base a dos aspectos: la probabilidad que tiene un individuo de ser sustituido por otro de la misma o de otra especie y el supuesto de una composición inicial de especies. Connell y Slatyer (1977) plantearon tres posibles mecanismos para el proceso de sucesión: la facilitación, la tolerancia y la inhibición. El mecanismo de facilitación lo generarían las especies pioneras, quienes modifican las condiciones ambientales haciéndolo adecuado para la sobrevivencia de otras especies. El mecanismo de tolerancia postula que las especies pioneras o tardías coexisten durante un tiempo debido a los diferentes requerimientos nutricionales. La inhibición se produce cuando las especies tardías no pueden llegar a adultas mientras las pioneras no hayan terminado su ciclo de vida.

Ewel (1987) consideró que toda restauración ecológica debía tener en cuenta los siguientes factores: la auto-sustentabilidad; que significa que el ecosistema a restaurar debe ser capaz, en algún momento, de auto-perpetuarse sin ayuda del hombre. La invasión; donde deben conocerse las especies que invaden las comunidades perturbadas en un lugar específico, ya que estas podrían ser competitivas y desplazar las especies clave dentro del proceso de sucesión. Por último, la productividad; donde una comunidad restaurada debe ser tan productiva como la original, la retención de nutrientes; por otro lado, las comunidades son sistemas abiertos, pero una comunidad restaurada debe perder la menor cantidad posible de nutrientes y las interacciones bióticas; el ensamblaje de los organismos en una comunidad es vital para conseguir el objetivo de restauración.

Bradshaw (1996) reconoció cuatro tipos de restauraciones ecológicas con base en experiencias prácticas de los 50 años anteriores: 1) la restauración propiamente dicha, con el objetivo de recuperar el ecosistema original, 2) La rehabilitación, que trata de recuperar un aspecto específico del ecosistema, 3) el reemplazamiento, o creación de un

ecosistema diferente del original y 4) *laissez faire* (“dejen hacer, dejen pasar”) donde la manipulación es muy limitada y el ecosistema se desarrolla de forma independiente por procesos naturales propios del área. Martínez (1996) planteó la importancia de enfocar las restauraciones desde diferentes aspectos, además de los ecológicos. Después de evaluar diferentes trabajos en restauración ecológica por todo el mundo, Martínez (1996) encontró que aunque los motivos del fracaso de algunos proyectos de restauración fueron fallos en el conocimiento ecológico del ecosistema a recuperar, en muchos casos el fracaso o bajo éxito de los mismos se debía a razones políticas o económicas.

Desde un punto de vista más técnico, se han planteado muchas y muy diversas técnicas para facilitar o acelerar la restauración ecológica (Lamb y Gilmour, 2003; Lamb *et al.*, 2005). Desde el punto de vista ecológico, el método más sencillo de restauración es eliminar la fuente de perturbación y permitir al ecosistema recuperarse naturalmente, conocido también como restauración pasiva. Ese método es el más indicado cuando los recursos financieros son escasos y/o el estado de degradación no es excesivo. En este caso, es necesario proteger la zona de cualquier tipo de perturbación externa como los incendios, el ganado, etc. para permitir que los procesos de regeneración ocurran naturalmente (Lamb y Gilmour, 2003). Prach *et al.* (2007) defienden que la sucesión natural es el método que resulta en una mayor diversidad estructural y funcional del ecosistema.

Sin embargo, el abandono no siempre da lugar al desarrollo sucesional deseado (Schrautzer *et al.*, 2007). Muchos factores bióticos y abióticos diferentes, afectan el restablecimiento del bosque en un área alterada, lo que dificulta obtener el resultado deseado. Problemas que presentan las áreas perturbadas para su regeneración pasiva son: la ausencia de dispersores de semillas, la falta de nutrientes en los suelos y la competencia de los plantones con gramíneas (Uhl *et al.* 1988; Nepstad *et al.*, 1996; Holl, 2002). La otra opción es la recuperación activa, que consiste en realizar manipulaciones del ambiente físico y/o de la biota para tratar de reducir el tiempo o dirigir la restauración (Prach *et al.*, 2007).

Cuando se trata de problemas con la ausencia de fuentes sencilleras o animales dispersantes, se recurre habitualmente a la siembra de los árboles utilizando altas densidades por hectárea, con el objetivo de conseguir lo antes posible la supresión de las gramíneas y el aumento de los ciclos de biomasa y nutrientes (Reay y Norton, 1999). Pero las siembras de árboles en altas densidades presentan altos costos de inversión y mantenimiento (Lamb y Gilmour, 2003). Otros métodos como “islas de árboles” o “lluvias de semillas” presentan costes menores (Yarranton y Morison, 1974; Tres y Reis, 2007; Ceccon, 2014).

Otro de los problemas que una restauración suele encontrar, es la escasez o ausencia de nutrientes. Para combatirlo, se aplican abonos o fertilizantes, la cual es una técnica ampliamente utilizada para mejorar las condiciones nutricionales del suelo degradado, favoreciendo su regeneración (Becerril *et al.*, 2007). Para los plantones en vivero de especies autóctonas de Costa Rica, la aplicación de fertilizantes permitió que estos alcanzasen el tamaño de siembra en dos meses, mientras que los plantones que no recibieron fertilizante no llegaron con vida a los dos meses de edad (Wightman *et al.*, 2001).

Para la mayoría de trabajos de restauración, se recurre a abonos orgánicos debido a los beneficios que estos aportan al suelo, mejorando la proporción de materia orgánica, aporte de nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal y la presencia de múltiples microorganismos beneficiosos para las plantas (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2010). Algunos trabajos realizados en Costa Rica, han comparado la aplicación de abonos sintéticos frente a la aplicación de fertilizantes orgánicos en plantones de dos meses de edad durante los primeros 24 meses de crecimiento en campo, y han encontrado que el desarrollo de los plantones de las diferentes especies fue siempre mayor al aplicar fertilizantes orgánicos, incluso cuatro veces mayor (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2010). Entre los más utilizados se encuentra el Lombricompost o vermicompost, un abono orgánico producido por la digestión de materia orgánica por parte de lombrices de tierra, aportando así gran cantidad de organismos beneficiosos además de poseer buenos niveles de nutrientes disponibles para las plantas. Cuando las lombrices se alimentan de los residuos orgánicos, aumentan las poblaciones de bacterias, hongos, protozoarios y nematodos beneficiosos (Atiyeh *et al.*, 2000). También se ha comprobado que el lombricompost contiene enzimas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas e impiden la proliferación de organismos patógenos (Nogales *et al.*, 2005).

Para reducir la competencia con gramíneas a la hora de aplicar tratamientos individuales a cada árbol, una de las técnicas más estudiadas es el acolchado o mulching de la base del plantón, técnica ampliamente utilizada en la agricultura, la cual se realiza con diferentes tipos de materia orgánica o plásticos, como plástico negro agrícola o sarán (Zribi *et al.*, 2015), que presenta grandes ventajas porque aumenta la retención del agua en el suelo, disminuye la erosión, el lavado de nutrientes, reduce la competencia con herbáceas, aumenta la presencia de microorganismos beneficiosos en el suelo y la actividad de macroinvertebrados como las lombrices (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Montagnini *et al.*, 1993). La utilización de materiales inorgánicos (plásticos) tiene la ventaja de la larga durabilidad que presentan, pero hay riesgo de contaminar el campo y, sus costes suelen ser mayores. Por otro lado, la utilización de materia orgánica (hojas

secas, restos de podas, descartes de agricultura...) presenta la ventaja adicional de comportarse como un fertilizante de lenta liberación, pero deben ser renovados periódicamente para que mantengan su eficiencia (Zribi *et al.*, 2015). En Costa Rica, ha sido utilizada para el manejo forestal con buenos resultados en bosques húmedos de la costa atlántica (Montagnini *et al.*, 1993). El mulching o acolchado superficiales son de gran utilidad en suelos secos (Zribi *et al.*, 2015), debido al estrés que presentan las plantas por deshidratación, lo que la vuelve una técnica muy interesante en suelos de bosque seco tropical.

Restauración del bosque seco tropical

El bosque seco tropical se clasifica según las Zonas de Vida de Holdridge, como las áreas del planeta libres de heladas donde la temperatura promedio anual es mayor a 17°C, la precipitación promedio anual oscila entre 250-2000 mm y el potencial entre evapotranspiración y precipitación es mayor de 1 durante una parte importante del año (Holdridge, 1967). Debido a sus características climáticas, fertilidad de suelos y estructura del bosque ha sido muy alterado por las actividades humanas, convirtiéndolo en uno de los más amenazados del planeta, especialmente en la región Neotropical (Janzen, 1988). Evaluaciones recientes muestran una tendencia continua de transformación a nivel global (Miles *et al.*, 2006), donde el aumento del área agrícola es la principal causa de reducción y fragmentación del mismo (Cardona *et al.*, 2012). Existe poca información sobre la restauración de bosques tropicales secos, en la revisión sobre este tema realizada por Vieira *et al.* (2006) encontraron que existen 4 o 5 veces más estudios sobre la restauración natural del bosque húmedo tropical que del bosque seco y que solo el 3% de los trabajos de restauración activa en climas tropicales se realizaron en bosques secos.

En todos los continentes con presencia de bosque seco tropical, se han realizado ya algunos trabajos de restauración, como los realizados en Ghana por Honu y Dang (2002) en los que encontraron que los matorrales beneficiaban la sobrevivencia y el crecimiento de los árboles durante los primeros meses, pero que su eliminación pasado el primer año marcaba un aumento muy fuerte en el crecimiento (Honu y Dang, 2000a; Honu y Dang 2002b). También en Tailandia se han realizado trabajos en relación al efecto del fuego en proyectos de restauración. Marod *et al.* (2004) reportaron que tras un único incendio, el 100% de las plántulas de dos de las seis especies utilizadas, murieron y el resto presentó recuperaciones variables pero siempre con altas mortalidades.

Pero el continente en que más trabajos se han realizado y más información está disponible es el americano, especialmente el subcontinente centroamericano siendo Panamá y Costa Rica los países con mayor número de trabajos (Griscom y Ashton,

2011). Esto, debido a que en este subcontinente la pérdida del bosque seco tropical es la más acusada del planeta, manteniéndose únicamente el 1.7% del área original frente al 34.9% en el resto del mundo (Olson *et al.*, 2001). Los primeros intentos serios para revertir el proceso se dieron en el bosque seco de Guanacaste, Costa Rica, el cual fue fuertemente perturbado entre los años 1950 y 1980, debido principalmente al aumento de la ganadería, pero las acciones de protección de áreas y regeneración secundaria ha llevado a que el 47.9% de la provincia presente bosque seco en algún estado de regeneración (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2006). Los motivos de la recuperación del bosque guanacasteco no han sido sistemáticamente examinados desde el punto de vista técnico, pero se considera que las políticas activas de conservación de bosques realizadas en el área son la causa principal (MINAE, 2002; Calvo-Alvarado *et al.*, 2009). El Ministerio de Ambiente y energía de Costa Rica publicó en 2002 una revisión de todos los cambios políticos, fiscales, legales y de financiación que han favorecido la recuperación de los bosques de este país bajo el título de “El éxito forestal de Costa Rica en cinco casos”. En dicho documento, se explica la evolución del sector forestal, el manejo de bosques, el plan nacional de desarrollo forestal y los mecanismos de financiación forestal.

Prácticas utilizadas para la restauración de bosque seco en Costa Rica:

Para la restauración del bosque seco tropical en Costa Rica, se han realizado numerosos trabajos y experiencias, la mayor parte de ellas están relacionadas con la recuperación pasiva de diferentes parches del paisaje. En su mayoría, el bosque seco costarricense se encuentra en la provincia de Guanacaste, con el objetivo de conservarlo y asegurar su conservación para las generaciones futuras se creó el Área de Conservación Guanacaste (ACG) en los años 80, la cual ha llevado actuaciones de restauración en la provincia de muy diferente índole.

Para favorecer esta restauración pasiva, se controló la entrada de ganado al área, la acción del fuego y el acceso de cazadores. La entrada de ganado fue controlada mediante la construcción de cercas. Para controlar el fuego, se creó un sistema de puestos de vigilancia, varias torres de observación, compra de vehículos y la capacitación del personal. Durante los primeros años, se utilizó ganado para reducir la cantidad de combustible presente en algunas áreas. Se formó y capacitó a guardaparques en el control y manejo de la cacería, también se crearon sistemas de comunicación con la fuerza pública para controlar la cacería (Janzen, 2002). A inicio de años 80, se realizaron trabajos de repoblación utilizando plantones de especies forestales, pero esta técnica fue rápidamente abandonada por sus altos costos, excepto en la parte de bosque húmedo del ACG donde se han producido repoblaciones de forma constante hasta la actualidad

(Janzen, 2002; Moline, 1999). Pero la utilización de la restauración pasiva ha conllevado que algunas especies se hallan desbalanceado, el bosque tropical seco de Costa Rica está formado por un 65% de especies dispersadas por animales y un 25% por el viento (Janzen, 1988), pero en las zonas destinadas a restauración pasiva por más de 12 años las especies dispersadas por el viento representan más del 50% (Gerhardt, 1993). Para contrarrestar estos efectos, se han tomado medidas de conservación más directa como, el uso de caballos para la dispersión de semillas de Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), siendo una de las medidas que ha presentado mejores resultados (Janzen, 1988).

En el año 2010, se inicia con el proyecto de restauración y silvicultura del ACG con la creación de tres proyectos de siembra directa de árboles, con el objetivo de iniciar la regeneración natural mediante la supresión de los zacates por la sombra y la reactivación del ciclo de nutrientes y biomasa, en aquellos lugares donde de forma natural no se estaba produciendo. Los tres proyectos son: El Corredor Biológico Rincón-Cacao, Proyecto Túnel Verde y La Esperanza en la Estación Experimental Forestal Horizontes (Gutiérrez-Leitón, 2010).

ANTECEDENTES

Desde el año 2010, la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH) realiza un proyecto que pretende la remediación de suelos degradados por compactación y contaminación química sufrida durante el cultivo de algodón entre las décadas de los sesenta y ochenta, en el sector de la Esperanza (Gutiérrez-Leitón, 2010). La Estación EEFH, como sede del Programa de Restauración y Silvicultura, alberga la totalidad de proyectos realizados por el programa en la línea de la silvicultura de especies forestales nativas del bosque seco tropical. El proyecto de repoblación de la Esperanza, se enfoca en la recuperación de suelos degradados, para llegar a obtener un “bosque” y, que pueda servir como ejemplo para trabajos dirigidos a la restauración de suelos con fines productivos. En este sentido, el proyecto pretende trabajar al menos unas 20 ha de suelos compactados y degradados por el cultivo de algodón en La Esperanza, ubicada en la parte norte de la Estación, utilizando especies leguminosas con niveles altos de recambio en la biomasa, que permita una mayor producción de materia orgánica, aumento en los ciclos bio-geoquímicos (Gutiérrez-Leitón, 2010). Este proyecto comenzó en el año 2010 y se encuentra actualmente en la fase de siembra e instauración de los árboles, esta es la fase de una recuperación que requiere mayores recursos y conlleva mayores riesgos (Reiche, 1991; Montagnini *et al.*, 1997).

La EEFH invierte miles de colones todos los años en la repoblación de miles de árboles (unos 5000 anualmente, Gutiérrez-Leitón, 2010) con el objetivo de iniciar la recuperación forestal del bosque seco tropical. Las especies seleccionadas para ello fueron especies de árboles fijadores de nitrógeno por simbiosis, porque son capaces de establecerse y crecer sobre sustratos de muy mala aptitud, tolerando desde una extrema aridez hasta inundaciones persistentes, suelos superficiales y suelos compactados; siendo también capaces de resistir incendios, tempestades tropicales, derrumbes y malezas agresivas (Ferrari y Wall, 2004). Las cinco especies que finalmente fueron seleccionadas para el proyecto de restauración de la EEFH son:

Cocobolo (*Dalbergia retusa* Hemsl): especie heliófita fijadora de nitrógeno, de madera muy dura y apreciada. Fue incluida en el libro “árboles maderables en peligro de extinción de Costa Rica” (Jimenez 1999). Quesada-Monge (2012) encontró que de 8 especies consideradas de poblaciones reducidas el cocobolo presentó la menor densidad y frecuencia. El reducido número de sus poblaciones se debe a la corta indiscriminada por el alto precio de su madera (Quesada-Monge, 2012). (Anexo 1).

Leucaena leucocephala (Lam.) (leucaena): Durante la década de 1970 y principios de 1980, fue conocido como el "árbol milagroso", debido a su éxito en todo el mundo como un árbol forrajero y de alto valor nutritivo, y su gran variedad de usos. Así como forraje, leucaena puede proporcionar leña, madera, alimento humano, abono verde, sombra y el control de la erosión (Brewbaker y Sörensson, 1990). (Anexo 2).

Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) árbol heliófilo fijador de nitrógeno (Palacios-Wassenaar *et al.*, 2014), su madera es fácil de trabajar y de alta calidad, sus frutos se han utilizado para alimentar fauna doméstica, siendo muy apreciados por la vida silvestre (Janzen, 1982; Hunter, 1989), y la goma aromática de su madera se aplica como remedio a múltiples enfermedades (Zamora *et al.*, 1999). (Anexo 3).

Guachipelín (*Diphysa robinoides Benth*): árbol de pequeño porte, utilizado como poste en cercas vivas debido a su resistencia a la descomposición y su capacidad para fijar nitrógeno. Ampliamente utilizado en repoblaciones y jardinería por su impresionante floración. Además, por la facilidad de viverización y germinación de sus semillas, que sin tratamiento pregerminativo se obtiene en promedio 99% de germinación (Montero, 1995). (Anexo 4).

Carboncillo (*Acosmium panamense, Benth.*): se trata de un árbol de crecimiento lento, pero de muy pocos requisitos ambientales, su madera es atractiva, pero de alta densidad (Andrade-Cetto y Wiedenfeld, 2004). Existen pocos estudios sobre su crecimiento y cultivo sobre todo en sus fases iniciales de crecimiento (Barrance *et al.*, 2003). (Anexo 5).

El año 2013, la tasa de supervivencia de los plantones del sector la Esperanza fue baja, mucho menor de la esperada, la razón pudo ser la modificación de las lluvias producido por el fenómeno climático de el El Niño (Gutiérrez-Leitón, 2013). Pero los motivos exactos del poco éxito de dicha repoblación son desconocidos, ya que no se realizó un monitoreo constante de los árboles, debido a la falta de recursos y el difícil acceso (Ronald, com. Pers. Julio 2013). En la actualidad, se barajan diferentes hipótesis, como por ejemplo la entrada de vacas del terreno adyacente a la plantación, plantones que no pudieron superar la época seca, la depredación por artrópodos u otras especies de fauna silvestre, entre otros. Sin embargo, por diversos motivos, las razones específicas de éxito o fracaso se desconocen.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el crecimiento y sobrevivencia de cinco especies forestales utilizadas en la restauración de bosques suelos de la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH), Guanacaste, Costa Rica.

Objetivos específicos:

1. Analizar el crecimiento y la tasa de sobrevivencia de cinco especies forestales de bosque seco tropical utilizadas por la EEFH en la repoblación, durante su primer año
2. Evaluar la aplicación de cinco tratamientos en la supervivencia de los árboles durante su primer año en campo.
3. Determinar los daños producidos por la fauna silvestre a las cinco especies forestales utilizadas para repoblar sectores de la EEFH.
4. Proponer recomendaciones que permitan aumentar el éxito de las repoblaciones en la Experimental Forestal Horizontes (EEFH).

ÁREA DE ESTUDIO

El Área de Conservación Guanacaste (ACG), ubicada al Noroeste de Costa Rica en la provincia de Guanacaste, fue creada para preservar el área con mayor extensión de bosque seco tropical del país (Alfaro *et al.*, 2001) considerado como el ecosistema tropical más amenazado (Janzen, 1986). El área se encuentra en un proceso de regeneración y está rodeada principalmente por fincas agrícolas y ganaderas (Amit *et al.*, 2009). El ACG cuenta con una estación experimental biológica destinada a realizar las investigaciones forestales, tanto de cultivo como de recuperación de especies del bosque seco. Se trata de la Estación Experimental Horizontes (EEFH) una antigua finca de 7317 ha donada al ACG en 1987 (Figura 1).

La altitud de la EEFH está entre 60 y 184 m sobre el nivel del mar. La precipitación anual es variada, entre 1500 y 2000 mm anuales; ubicándose en la Zona de Vida bosque seco tropical. Presenta dos estaciones muy marcadas, las lluvias se concentran entre mayo y noviembre, pero durante los meses de diciembre hasta abril la presencia de los vientos cálidos, del norte y del golfo de papagayo, producen una época seca casi ausente de precipitaciones. Las temperaturas son homogéneas a lo largo del año, durante las noches varían de 16 a 23 °C, durante el día, las temperaturas varían de 26 a 38 (Alfaro *et al.*, 2001). La fauna común son venados (*Odocoileus virginianus*), monos cara blanca (*Cebus capucinus*), garrobos (*Ctenosaura similis*), conejos (*Sylvilagus sp*), armadillos (*Dasypus sp*) y otros mamíferos de mediano tamaño, así como pumas (*Puma concolor*), en alguna ocasión se han observado huellas de danta (*Tapirus bairdii*) pero se considera que se trata de animales de paso (Ronald, com. Pers., Julio 2013).

En la actualidad, la extensión de la estación cuenta con ecosistemas en diferentes estados de recuperación, presentando matorrales, charrales o bosques secundarios, la mayoría de ellos consecuencia la restauración pasiva producida por el control de incendios y ganado, además de múltiples proyectos de recuperación e investigación forestal. Aun así, el 30% de los suelos de la EEFH se encuentran cubiertos de jaragua (*Hyparrhenia rufa*), otros pastos invasores o muy degradados (Gutiérrez-Leitón, 2013).

Desde 1968, se han realizado diferentes proyectos dentro del Programa de Restauración y Silvicultura de EEFH. Durante el año 2011, se inició la siembra de los árboles del proyecto de recuperación de suelos degradados por compactación y contaminación por el uso del suelo para cultivo de algodón y para ganadería. La zona de la estación en la que se está realizando el proyecto se conoce como La Esperanza y fue el lugar donde se realizó el presente estudio. El área donde se realizó el estudio consistió en un área cuadrada de 1.8 ha, casi plano con una inclinación inferior a 1%.

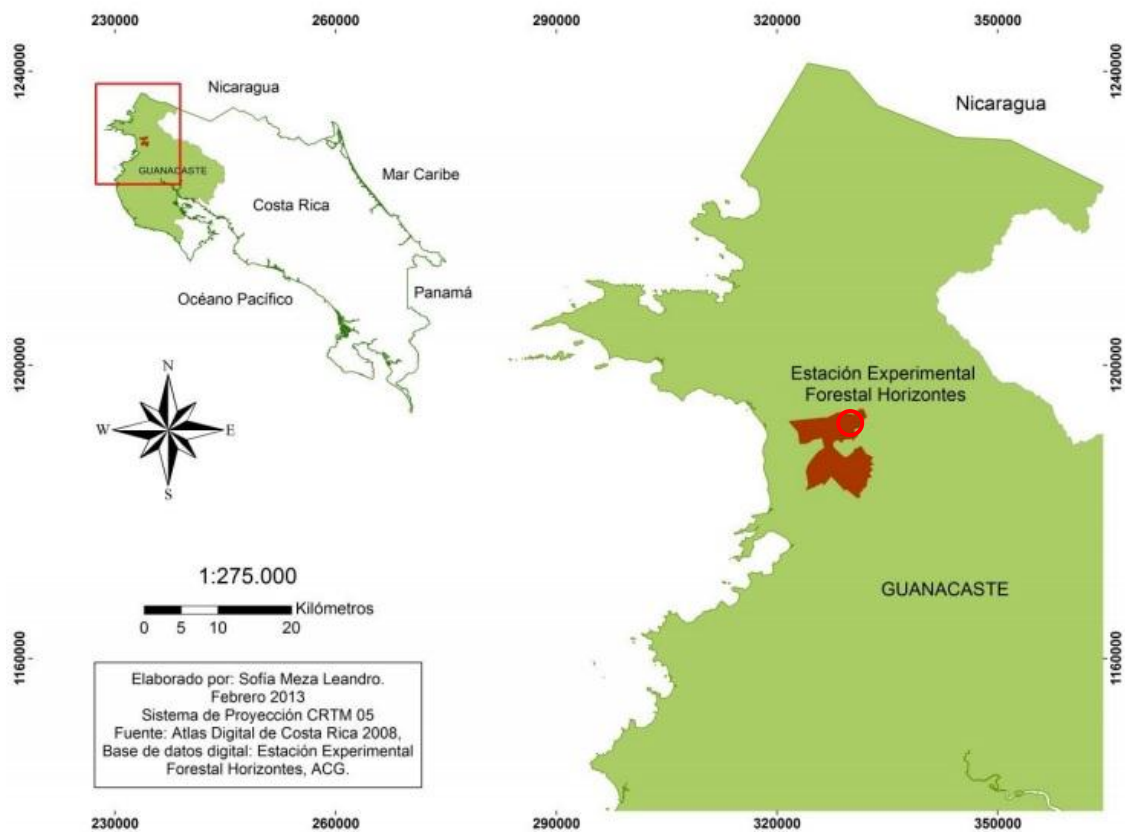


Figura 1: Ubicación geográfica de la Estación Experimental Forestal Horizontes, dentro del la provincia de Guanacaste, Costa Rica, 2013. El círculo rojo corresponde al sector La Esperanza. Fuente: Meza 2013 realizado con el Atlas Digital de Costa Rica 2008 y la Base de datos digital: Estación Experimental Forestal Horizontes, ACG.

METODOLOGÍA

Las especies forestales utilizadas en esta investigación fueron: el carboncillo (*Acosmium panamense*), el cocobolo (*Dalbergia retusa*), la leucaena o lpil (*Leucaena leucocephala*), el guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) y el guachipelín (*Diphysa americana*). Dichas especies, representaron un 90% de todos los árboles plantados mientras que el 10% de árboles restantes se reservó para sembrar especies en peligro de extinción (Gutiérrez-Leitón, 2010), los cuales no se incluyeron en este trabajo debido al bajo número de individuos por especie. Las plántulas de las especies elegidas para la presente investigación fueron producidas en el vivero de la EEFH, donde crecieron durante un año. Los plantones fueron trasladados por el personal del área del vivero de la EEFH al sector La Esperanza, sitio donde se realizó la siembra de los platones en el campo.

La Esperanza fue repoblada con las especies forestales mencionadas, en el año 2013, de las 5 ha repobladas ese año se seleccionaron 1.8 ha par este estudio. Esta área formó un cuadrado plano (135 m por 141 m) y de suelos homogéneos. El suelo fue preparado con un subsolador, arado especial para suelos compactados, a unos 40-50 cm de profundidad, dos meses antes de la siembra. Se utilizó un marco de plantación en cuadro de 3 x 3 metros, lo que habría permitido la siembra de 1998 árboles, pero debido a la presencia de árboles aislados, piedras u otros elementos de la orografía del suelo solamente se sembraron 585 plantones, de los cuales 536 individuos fueron de las especies incluidas en este trabajo. Los plantones fueron sembrados durante 2 días consecutivos por el personal de la EEFH (20 y 21 de junio del 2013). Para la siembra, se realizó el hoyado utilizando un palín forestal. La profundidad del hoyo fue entre 25 -30 cm, igual al tamaño del adobe o terrón que los plantones traen del vivero. Toda el área repoblada en 2013 fue cerrada por una cerca perimetral de alambre de púas de tres hilos para evitar el acceso del ganado, la cual fue revisada y reparada de manera continua por los trabajadores de la Estación. Más información sobre el manejo de restauración del sector La Esperanza puede encontrarse en el Anexo 6 de este documento.

Durante la preparación de los tratamientos y siembra, se registró un garrobo (*Ctenosaura similis*) de aproximadamente 4 años, que destruyó 32 árboles (Carboncillos, leucaenas, guachipilines y guanacastes) en 48 horas. Por lo tanto, se decidió removerlo y trasladarlo a otra área de la Estación. Como los tratamientos aún no habían sido colocados, se decidió que dichos árboles no serían considerados en este estudio, lo cual redujo el número de árboles totales a 504 plantones.

Posteriormente, se escogió qué tipo de tratamiento se aplicaría a cada plantón (Cuadro 1) de manera aleatoria. Se aplicaron cinco tratamientos: A: el plantón fue colocado en su lugar sin aplicarle ningún tratamiento o tratamiento control (SIN), B: se añadió lombricompost (Lombri) al plantón, C: lombricompost y hojarasca en la base del plantón (Hojas), D: lombricompost, hojarasca y tela de sarán en la base del árbol (H+S), E: lombricompost y sarán en la base del árbol (Saran). El Cuadro 2 resume estos tratamientos. El lombricompost fue suministrado por la estación EEFH. La hojarasca utilizada fue obtenida de las hojas acumuladas en el área de la estación principalmente hojas de guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) y malinche (*Delonix regia*). La tela de sarán o cobertura de sarán fue de color negro de 80% de densidad.

Los trabajos de instalación del experimento fueron realizados en una semana de trabajo, tras la cual se inició la primera colecta de datos. Posteriormente, se realizaron visitas periódicas cada dos meses con el objetivo de volver a medir las variables seleccionadas. Las variables que se midieron se agruparon en dos grupos:

1. Variables del árbol:

La presencia o ausencia de depredación: daños por depredación en al menos el 10% de la planta.

La altura: Desde la base del árbol a la yema apical viva más alta.

El número de hojas: producción de hojas (sumatoria del número de hojas), se consideró hoja solo aquellas que cuenten con al menos la mitad de los folíolos.

Diámetro: anchura del tallo a los 5 cm del suelo.

2. Variables del área de siembra:

Distancia a la vegetación circundante: distancia lineal a la vegetación más cercana. Se consideró vegetación cualquier planta con altura igual o superior a 25 cm. Se midió la distancia menor en cm, desde la base del plantón. Esto permitió saber la evolución de la vegetación a lo largo del año y la respuesta de esta a las limpiezas realizadas por el personal de la EEFH.

Todas las variables fueron medidas siempre por la misma persona y el equipo utilizado para ello fue: el caliper (vernier) y cinta métrica. En el Cuadro 3 se muestra una descripción más concisa de las variables y de la metodología que se usó para medirlas.

El primer muestreo fue el 7 de julio de 2013, los siguientes muestreos fueron cada dos meses los días: 5 de setiembre de 2013, 15 de noviembre de 2013 y en 2014 los días: 5 de enero, 4 de marzo, 6 de mayo y 21 de julio. Estas visitas tuvieron una duración aproximada de 5 días y se realizaron con la ayuda de un asistente de campo. En todas

las visitas a campo, además de realizar las mediciones sobre los plantones, se trató de identificar los animales causantes de los daños sufridos por las plantones. En aquellos casos que no fue posible realizar la identificación, de quien causó el daño, se recogieron muestras para su determinación posterior en el laboratorio.

A lo largo del año se realizaron dos rodajeas (limpias de la vegetación circundante de la base del plantón) de un metro de radio, mediante chapea manual del pasto, pues los pastos son muy agresivos y pueden ahogar los plantones plantados. La primera fue unos 15 días antes de la siembra y la segunda del 10 al 15 de enero de 2014. El equipo utilizado para realizar la siembra y el mantenimiento de la plantación fue: machetes, macanas, palines, alicate para cercas, martillo, tractor agrícola con pala frontal, chapeadora, mecate graduado, brújula, cintas métricas, balizas, estacas, equipos de protección para los trabajadores, entre otros.

Cuadro 1. Número de árboles por especie en cada tratamiento utilizados para este estudio. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada. Sembrados en el sector La Esperanza por la EEFH los días 20 y 21 de junio de 2013, Guanacaste, Costa Rica.

| Especie | H+S | Hojas | Saran | Lombri | SIN | Total |
|--|------------|--------------|--------------|---------------|------------|--------------|
| Carboncillo (<i>Acosmium panamense</i>) | 16 | 21 | 18 | 21 | 30 | 106 |
| Cocobolo (<i>Dalbergia retusa</i>) | 21 | 20 | 18 | 18 | 28 | 105 |
| Guachipelín (<i>Diphysa americana</i>) | 17 | 20 | 16 | 22 | 24 | 99 |
| Guanacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>) | 14 | 20 | 17 | 23 | 22 | 96 |
| Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>) | 17 | 18 | 18 | 15 | 30 | 98 |
| Total general | 85 | 99 | 87 | 99 | 134 | 504 |

Cuadro 2: Resumen de tratamientos aplicados y su metodología utilizados en el sector La Esperanza de EEFH en Junio de 2013, Guanacaste, Costa Rica.

Definición y justificación de tratamientos:

- a) **Sin Nada (SIN):** tratamiento de control, no se aplicó ningún tratamiento.
 - b) **Lombricompost (Lombri):** fertilizante utilizado por la estación, el personal encargado de la siembra añade un puño de fertilizante en la base del árbol después de plantarlo, se procedió a pesarlo para conocer la cantidad en gramos utilizada por la EEFH.
 - c) **Lombricompost y hojarasca en la base del plantón (Hojas):** se rodeó la base del plantón con hojarasca recogida de la parte baja de los árboles semillero de la EEFH. La materia orgánica disminuye la pérdida de agua del suelo y favorece la presencia de organismos descomponedores y hongos que podrían ayudar a la supervivencia de los árboles (Farrell y Altieri 1997).
 - d) **Lombricompost, hojarasca y sarán en la base del árbol (H+S):** se colocó una tela de sarán de 1 m² cubriendo la hojarasca y dejando el plantón salir por un agujero central. El objetivo de poner el sarán fue conseguir que la hojarasca no fuera arrastrada por el viento.
 - e) **Lombricompost y tela de Sarán (Saran):** después de la aplicación del lombricompost se colocó una tela de sarán de 1 m² cubriendo el suelo circundante y dejando el plantón salir por un agujero central. Se utilizó para observar el control sobre las malezas realizado por el sarán.
-

Cuadro 3. Variables y método de medición utilizadas en la evaluación del crecimiento y el impacto de la fauna silvestre en cinco especies forestales utilizadas por la EEFH en Guanacaste Costa Rica entre el año 2013 y 2014.

a) Variables medidas en el árbol:

- Sobrevivencia: Variable categórica que se separó en vivos y muertos por muestreo. Una vez que un plantón fue identificado como muerto dejaron de medirse el resto de variables sobre él.
- Ausencia o presencia de depredación: variable cualitativa se considerara “presente” cuando se observó al menos un 10% del plantón afectado.
- Ausencia o presencia de Hongos: variable cualitativa, se considerara “presente” cuando se observó al menos un 10% del plantón afectado.
- Altura: se midió con una cinta métrica desde la base del palntón hasta la yema viva más alejada, medida en centímetros.
- Número de hojas: se contaron todas las hojas que contaron con al menos la mitad de los foliolos presentes.
- Diámetro: se midió mediante un calibre a 5cm de la base de la planta. La medición, comenzó en el segundo muestreo.

b) Variables del área de siembra:

- Distancia a la vegetación circundante (cm): se midió la distancia lineal a la base de la planta (se consideraron herbáceas y matorrales los árboles aislados presentes en el terreno se encontraron siempre a más de 3 m de los árboles sembrados) más cercana al plantón que superase los 25 cm de altura. Para obtener el radio menor del circulo sin vegetación que rodea al plantón. Se utilizó una cinta métrica de sastre en centímetros.
-

Análisis de datos

Se evaluó la altura, el diámetro y el número de hojas producidos por el plantón en cada muestreo por cada uno de los tratamientos utilizados, separando los análisis por especie. Se utilizó desviaciones estándar y promedios, con intervalos de confianza al 90%, para relacionar descensos o aumentos en dichas variables con factores climáticos o de manejo realizados en la repoblación. También se evaluó la depredación de los plantones causada por la fauna silvestre, usando una gráfica de eventos de depredación por especie y muestreo, para conocer la dinámica que sufren las especies seleccionadas en el sector la Esperanza y el impacto que la fauna silvestre tiene sobre ellas. Se buscó la relación entre el número de plantones que presentaron depredación y el manejo que se realizó en la repoblación así como las diferentes épocas del año.

Para determinar la sobrevivencia de los plantones a través del tiempo, se generaron curvas de sobrevivencia. Para generar las curvas, se utilizó el estimador no-paramétrico Kaplan-Meier y Nelson-Aalen, con la función `survfit` incluida en el paquete “survival” del programa R x64 3.2.1 (R Core Team, 2015). Además, para evaluar si existieron diferencias entre las curvas de sobrevivencia de los diferentes tratamientos, se realizó una prueba estadística de contraste de hipótesis, para datos de sobrevivencia con la función `survdiff` incluida en el paquete “survival” (Therneau, 2015), función diseñada para encontrar diferencias entre dos o más curvas de sobrevivencia. Esta función, incluye la familia de pruebas de Gp de Harrington and Fleming (1982), con ponderación (pesos) en cada muerte de $S(t)_p$. Donde $S(t)$ es el estimado de la sobrevivencia de Kaplan-Meier, que es una prueba de rangos para datos de sobrevivencia registrados. Por último, para cada especie de árbol se generaron gráficos con las curvas de sobrevivencia de cada tratamiento utilizando el paquete “ggplot2” (Wickham, 2009).

Para conocer la cantidad promedio de lombricompost utilizado por plantón, se pesó la cantidad utilizada en 5 plantones por cada una de las personas encargadas de la fertilización. Esto se realizó en el momento de la siembra y no volvió a repetirse, porque solo se realizó una fertilización en todo el año. El efecto de la utilización del fertilizante lombricompost se evaluó mediante una comparación gráfica entre los tratamientos Lombricompost y SIN tratamiento, comparando la respuesta de la altura, y sus intervalos de confianza, por especie.

Los análisis de los datos se realizó para cada una de las especies utilizando los programas Microsoft Excel (2007) y R x64 3.2.1 (R Core Team, 2015). En combinación de paquetes estadísticos como Rcommander y la interfaz Rstudio.

RESULTADOS

Sobrevivencia

La sobrevivencia de carboncillo (*Acosmium panamense*) al finalizar el primer año fue de 24.4%. Por tratamientos, se encontró que un 33% (95% CI = 18-61) de los árboles del tratamiento Hojas habían sobrevivido, mientras que para el resto de tratamientos se encontraron valores de 26.7% (95% CI = 12-61) para H+S, 24% (95% CI = 11-51) Lombricompost, 20% (95% CI = 7-55) Saran y 18% (95% CI = 8-37) SIN. La Figura 2, muestra los resultados.

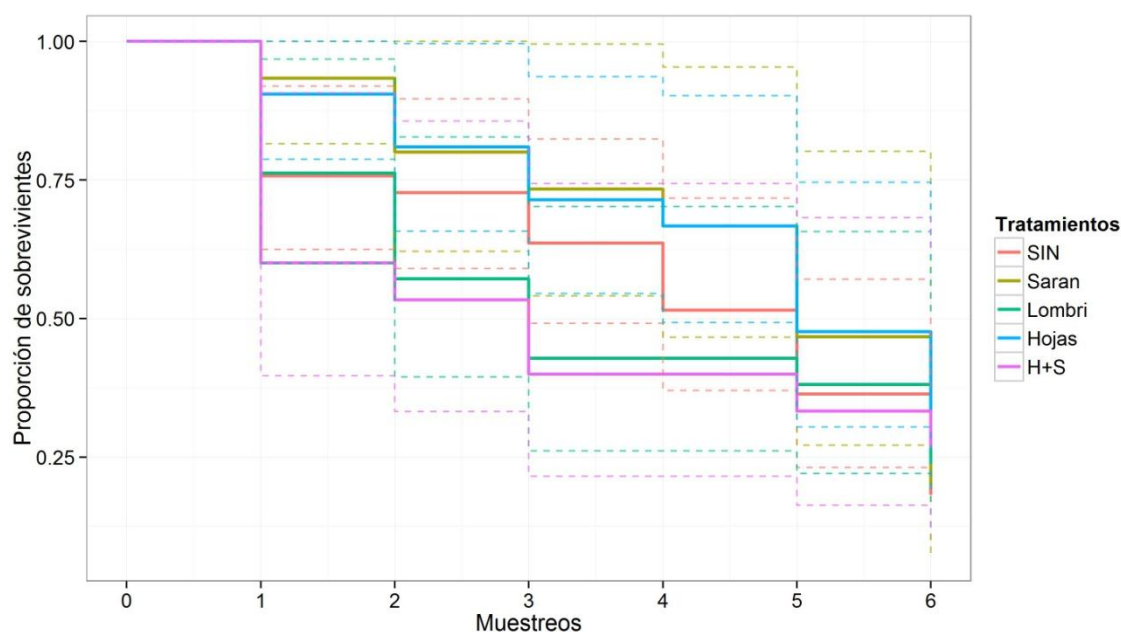


Figura 2: Curvas de supervivencia del carboncillo (*Acosmium panamense*) durante los muestreos separadas por tratamiento. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plántones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

El cocobolo (*Dalbergia retusa*) presentó un 55.2% de sobrevivencia al final de año. El tratamiento con una mayor sobrevivencia fue Hojas con 60% (95% CI = 42-85 de plántulas vivas al finalizar el estudio. El segundo fue H+S con 57% (95% CI = 40-82), seguido por Lombricompost con un 55% (95% CI = 37-81). Los dos tratamientos que presentaron menor número de sobrevivientes fueron SIN con 46% (95% CI = 31-69) y Saran 50% (95% CI = 31-79). Puede observarse visualmente en la Figura 3.

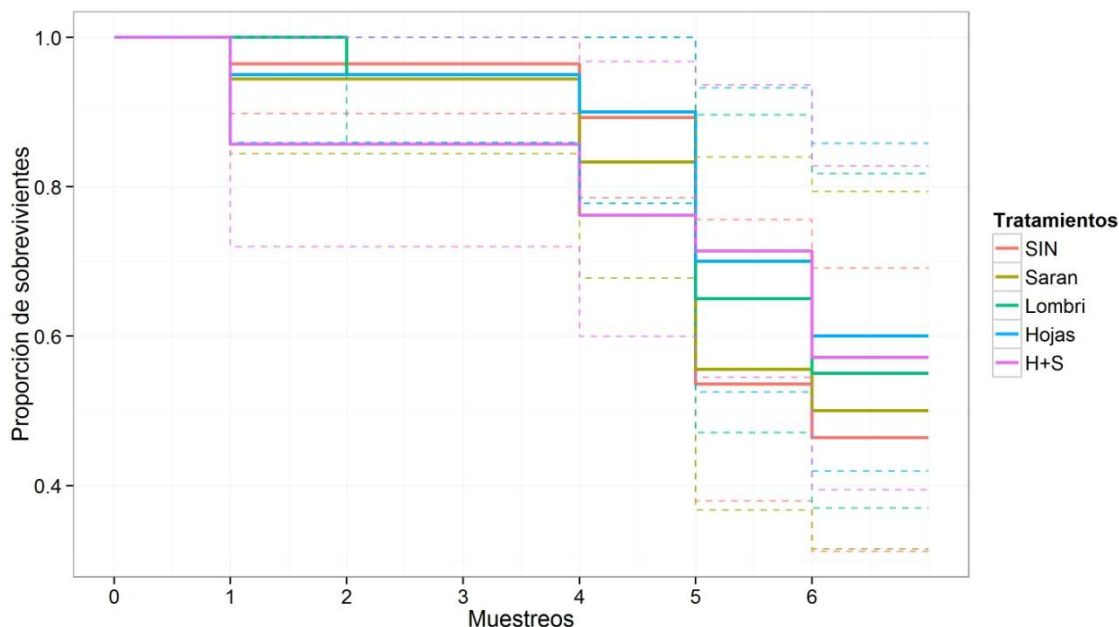


Figura 3: Curvas de supervivencia del cocobolo (*Dalbergia retusa*) durante los muestreos separadas por tratamiento. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plántulas sembradas por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

El promedio de sobrevivencia del Guachipelín (*Diphysa americana*) fue de 48.5%. Los dos tratamientos que presentaron una sobrevivencia mayor fueron H+S 61% (95% CI = 42-88) y Saran 65% (95% CI = 46-91)). El tratamiento SIN mostró sobrevivencias más bajas durante los nuestros 3 y 4, pero durante los muestreos 4, 5 y 6 se igual a la de los tratamientos Lombricompost y Hojas. Al finalizar el año los tratamientos que menos sobrevivientes tuvieron fueron SIN 42% (95% CI = 27-66), Hojas 42% (95% CI = 25-71), Lombricompost 41% (95% CI = 25-68). Puede observarse visualmente en la Figura 4.

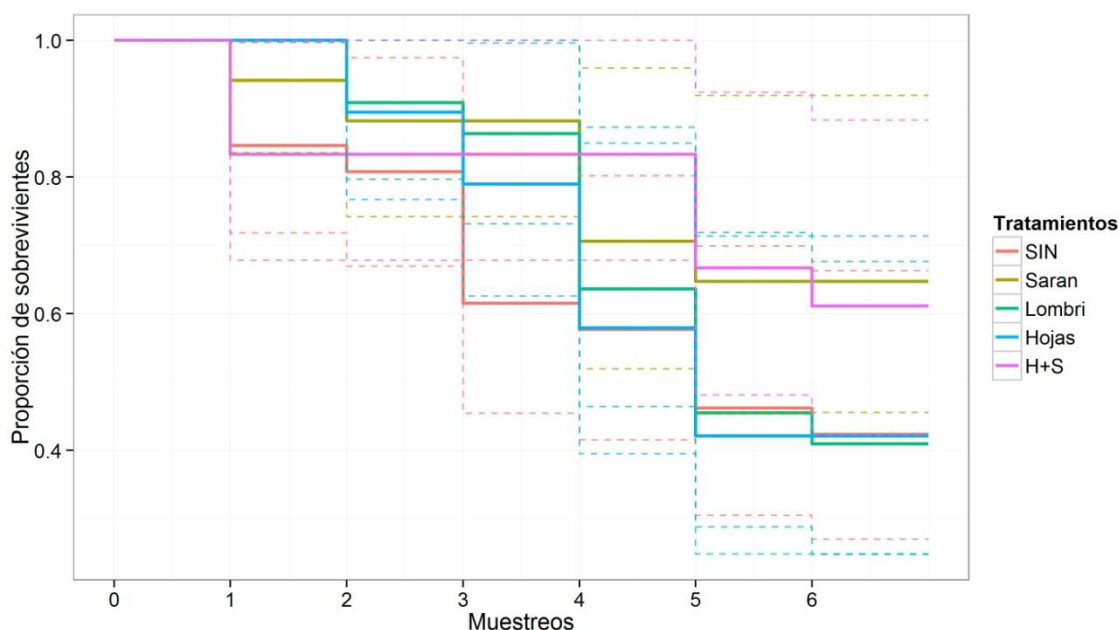


Figura 4: Curvas de sobrevivencia del guachipelín (*Diphysa americana*) durante los muestreos separadas por tratamiento. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de Junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

El árbol de guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) presentó una sobrevivencia del 4.2% de los árboles. Los tratamientos Saran 17% (95% CI = 6-49) y Hojas 5% (95% CI = 0.7-36) fueron los únicos que contaron con sobrevivientes en el último muestreo. El tratamiento H+S presentó una sobrevivencia muy baja en el muestro 2, al cual sobreviven solo el 38% (95% CI =14-69) de los plantones. El tratamiento que presentó sobrevivencias más altas en todos los muestreos fue Saran. Puede observarse visualmente en la Figura 5.

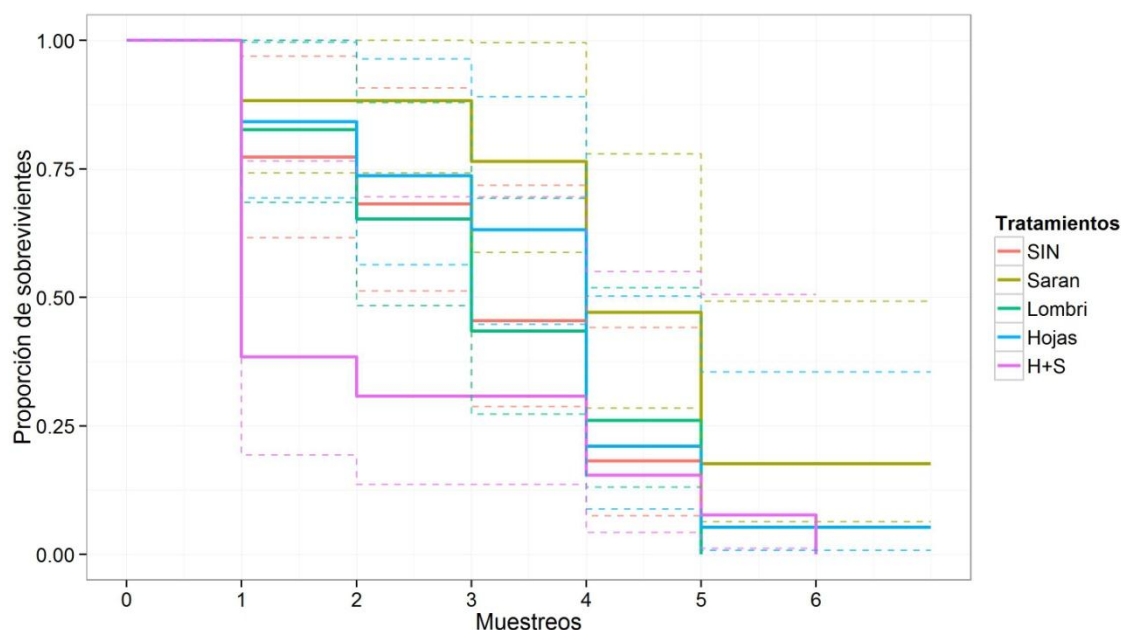


Figura 5: Curvas de supervivencia del guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) durante los muestreos separadas por tratamiento. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de Junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Los ejemplares de la especie de leucaena (*Leucaena leucocephala*) tuvieron una sobrevivencia total de 24.5% (Figura 6). El tratamiento que presentó mayor sobrevivencia fue Hojas 41% (95% CI = 23, 72) el cual presentó la menor mortalidad en los muestreos 2, 4, 5 y 7. El tratamiento que presentó menor sobrevivencia fue H+S 16% (95% CI = 6-46), presentó una proporción de supervivientes menor en los muestros 3, 4, 5 y 7.

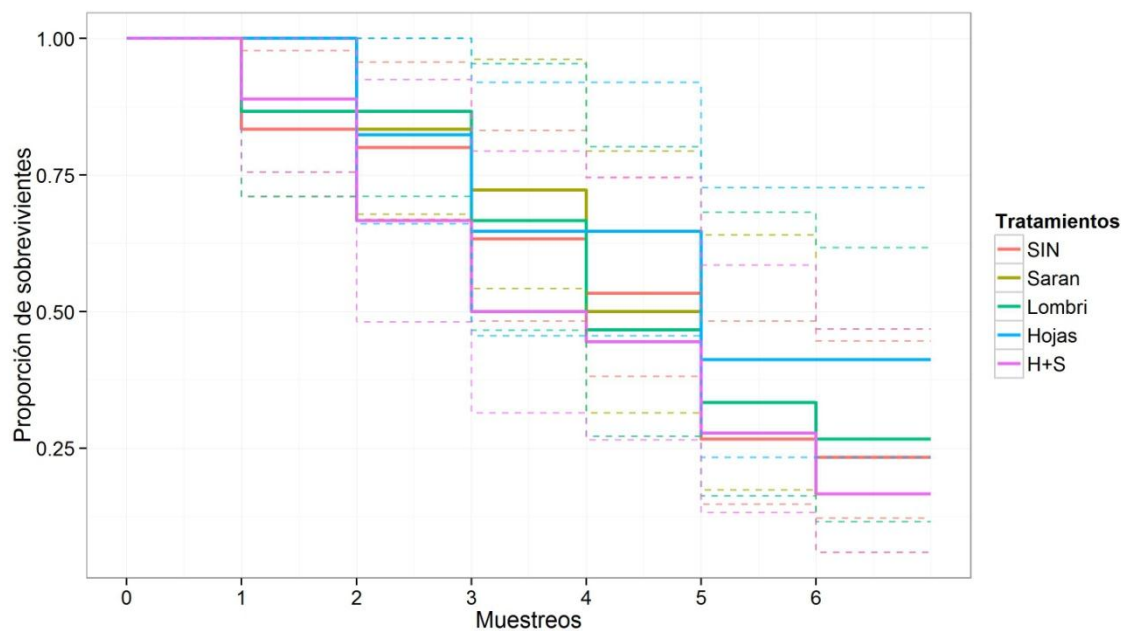


Figura 6: Curvas de supervivencia del leucaena (*leucaena leucocephala*) durante los muestreos separadas por tratamiento. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Cuadro 4: Porcentajes de sobrevivencia de los plantones por especie en cada tratamiento cuando finalizó este estudio, 21 de julio de 2014. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada. Sembrados en el sector La Esperanza por la EEFH los días 20 y 21 de junio de 2013, Guanacaste, Costa Rica.

| Especie | H+S | Hojas | Saran | Lombri | SIN | Total |
|--|-------|-------|-------|--------|-----|-------|
| Carboncillo (<i>Acosmium panamense</i>) | 26.7% | 33% | 20% | 24% | 18% | 24.4% |
| Cocobolo (<i>Dalbergia retusa</i>) | 57% | 60% | 50% | 55% | 46% | 55.2% |
| Guachipelín (<i>Diphysa americana</i>) | 61% | 42% | 65% | 41% | 42% | 48.5% |
| Guanacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>) | 0% | 5% | 17% | 0% | 0% | 4.2% |
| Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>) | 16% | 41% | 17% | 26% | 23% | 24.5% |

Crecimiento

Altura

Carboncillo: Los plantones sobrevivientes del tratamiento H+S (Hojas y sarán) tuvieron un promedio total de altura de 61 cm (DE \pm 21.2 cm). El tratamiento SIN (control) presentó el peor desarrollo durante el estudio, al final del muestreo los plantones midieron 38.9 cm (DE \pm 18.3 cm) (Figura 7). En el resto de tratamientos, se observa un desarrollo similar excepto para el muestro 7, donde el tratamiento H+S sigue siendo el de mayor crecimiento y, el crecimiento promedio del tratamiento Saran, fue mayor al Hojas, que a su vez fue mayor que el tratamiento con lombricompost, siendo el tratamiento SIN el que presentó un crecimiento menor.

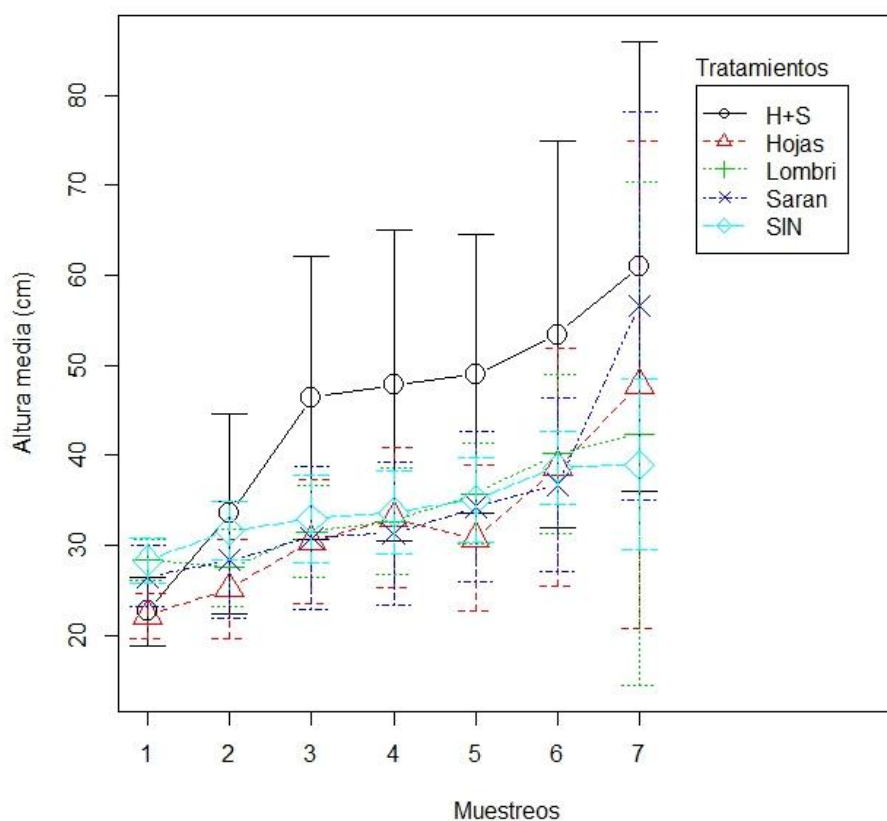


Figura 7: Alturas medias en centímetros por muestreo y tratamiento del carboncillo (*Acosmium panamense*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Cocobolo: El tratamiento que presentó un mayor crecimiento fue H+S con 37.5 cm en promedio ($DE \pm 21$ cm) y el de menor fue Saran con 29.94 cm ($DE \pm 10.6$ cm). Si observamos las alturas por tratamiento en cada muestreo (Figura 8), podemos observar que el tratamiento H+S presenta una altura mayor en casi todos los muestreos seguido por el tratamiento Hojas, pero en el último muestreo el tratamiento Hojas presentó la mayor altura promedio 37.08 cm mientras que el tratamiento H+S paso a tener 33.5 cm de altura. Durante los diferentes muestreos los dos tratamientos que presentaron menor altura fueron Saran y SIN, presentando en el 7º muestro alturas promedios de 23.27 y

30.6 cm respectivamente. En el cuarto muestreo, se puede apreciar una disminución en la altura del tratamiento Hojas y SIN mientras que los tratamientos Lombricompost y Saran no presentaron variación en el crecimiento de la altura. El único tratamiento que aumento la altura promedio en el cuarto muestreo fue H+S.

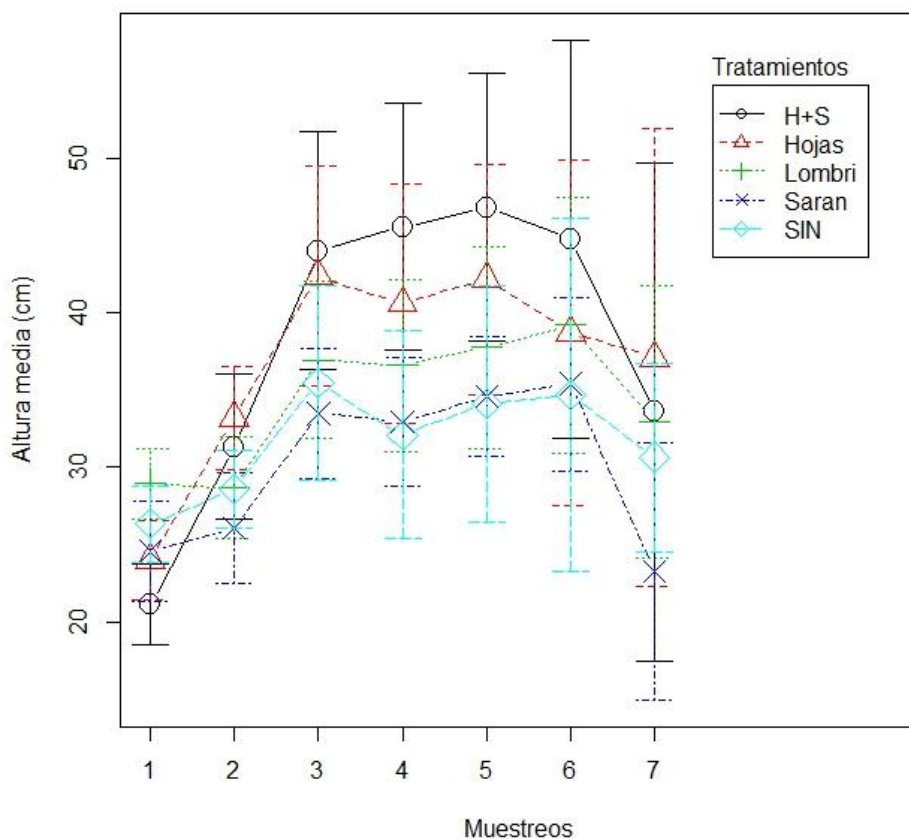


Figura 8: Alturas medias en centímetros por muestreo y tratamiento del cocobolo (*Dalbergia retusa*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Guachipelín: El tratamiento que presentó el mayor desarrollo durante todos los muestreos fue Saran con una altura promedio de 35.1 cm pero con mucha variabilidad (DE ± 30.5 cm). Los que presentaron menor altura fueron Lombricompost con 29.2 cm (DE ± 17.8 cm) y SIN una altura promedio de 29.9 cm (DE ± 16 cm). Se observa en las alturas de los diferentes tratamientos por muestreo (Figura 9) que el guachipelín no

mostró un aumento importante en la altura a lo largo del año. Entre el muestreo 1 y el 7 solamente los tratamientos Hojas y Saran presentaron un crecimiento promedio positivo 0.2 cm para el primero y 11 cm para el segundo, mientras que los tratamientos H+S y SIN redujeron su altura promedio en 4 cm y 9 cm respectivamente. El mayor aumento en la altura se presentó en el muestreo 5 en el tratamiento Saran con un aumento, de 13 cm frente al muestreo 4 en dos meses.

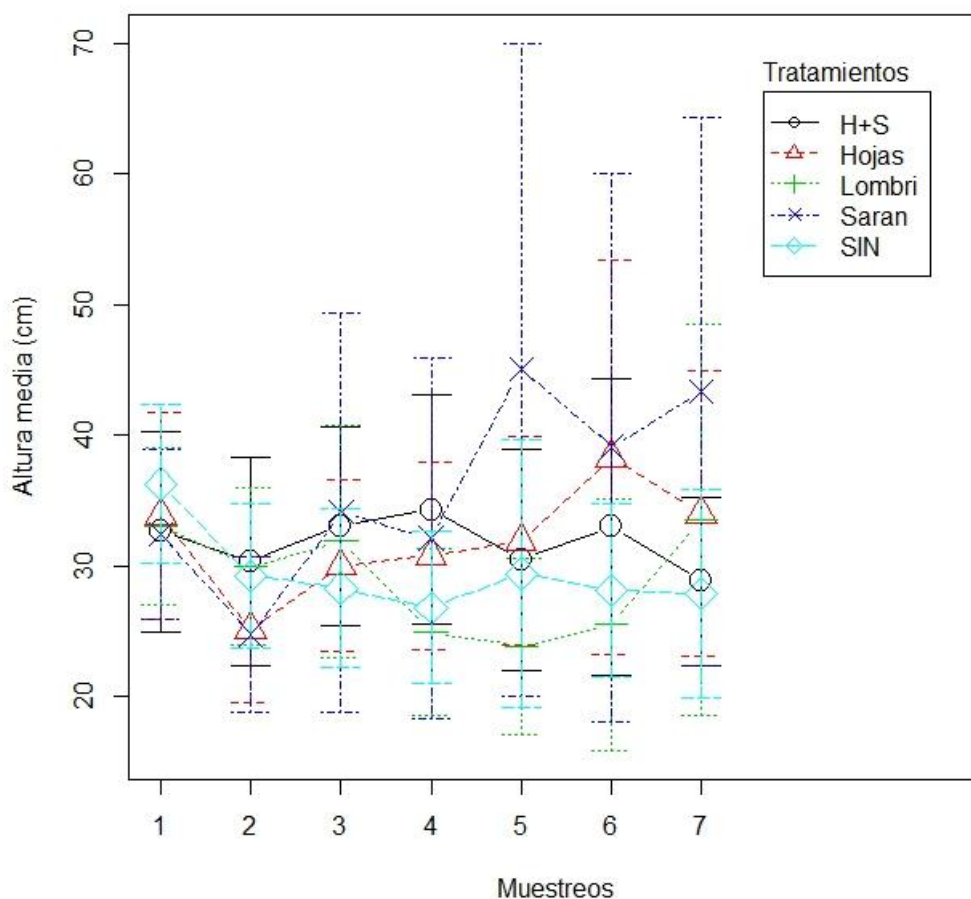


Figura 9: Alturas medias en centímetros por muestreo y tratamiento del guachipelín (*Diphysa americana*), intervalos de confianza al 90%. Muestréos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Guanacaste: El crecimiento promedio total para todos los tratamientos fue negativo debido a la alta mortalidad que presentó esta especie se consideró que analizar los resultados utilizando los promedios no sería lo más adecuado. Si se observa la Figura 10, podemos ver que el tratamiento Hojas mantuvo una altura mayor al resto de tratamientos durante los muestreos 2, 3 y 4, mientras que el resto de tratamientos presentan un aumento en la altura media en el muestreo 5.

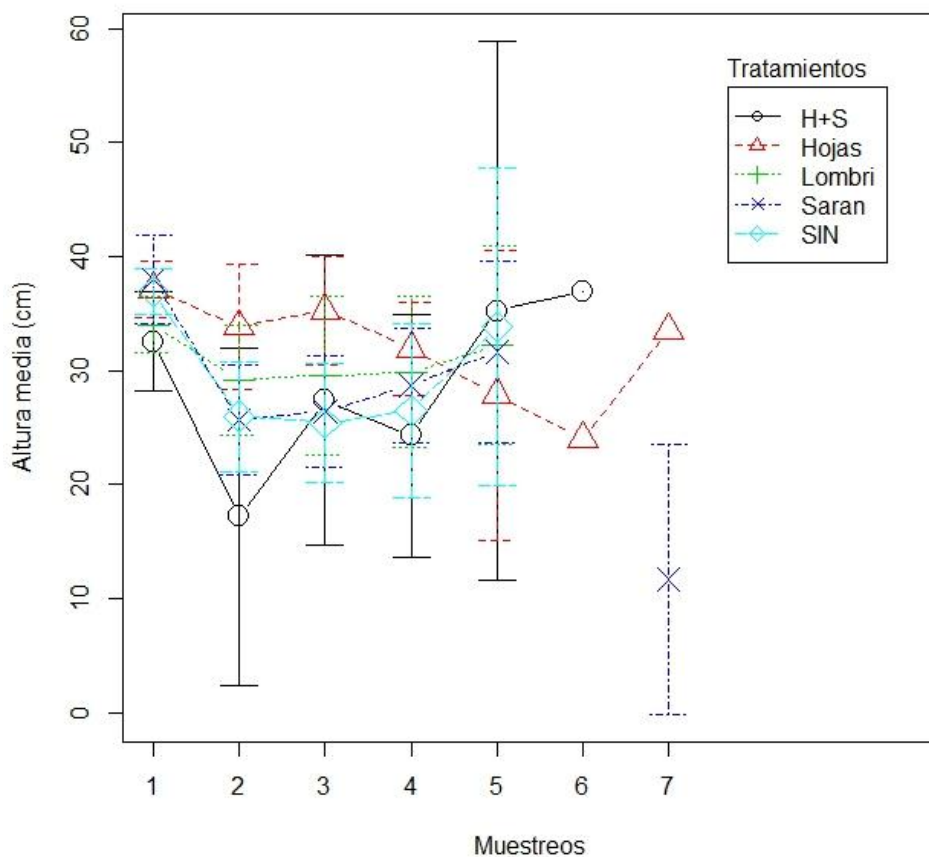


Figura 10: Alturas medias en centímetros por muestreo y tratamiento del guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plántones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Leucaena: El tratamiento que presentó una altura mayor total fue el tratamiento Lombricompost con 32.36 cm (DE \pm 13.6 cm) seguido del tratamiento Hojas con 27 cm (DE \pm 11 cm). Entre el primer muestreo y el último, el tratamiento Hojas presentó un crecimiento promedio de 8 cm seguido del Lombricompost con un aumento promedio de la altura de 7.5 cm. El tratamiento H+S presentó un aumento neto de la altura de 4,5 cm. Los tratamiento que presentaron menores aumentos fueron SIN con 0.3 cm de crecimiento y H+S con 3.4 cm de crecimiento medio (Figura 11).

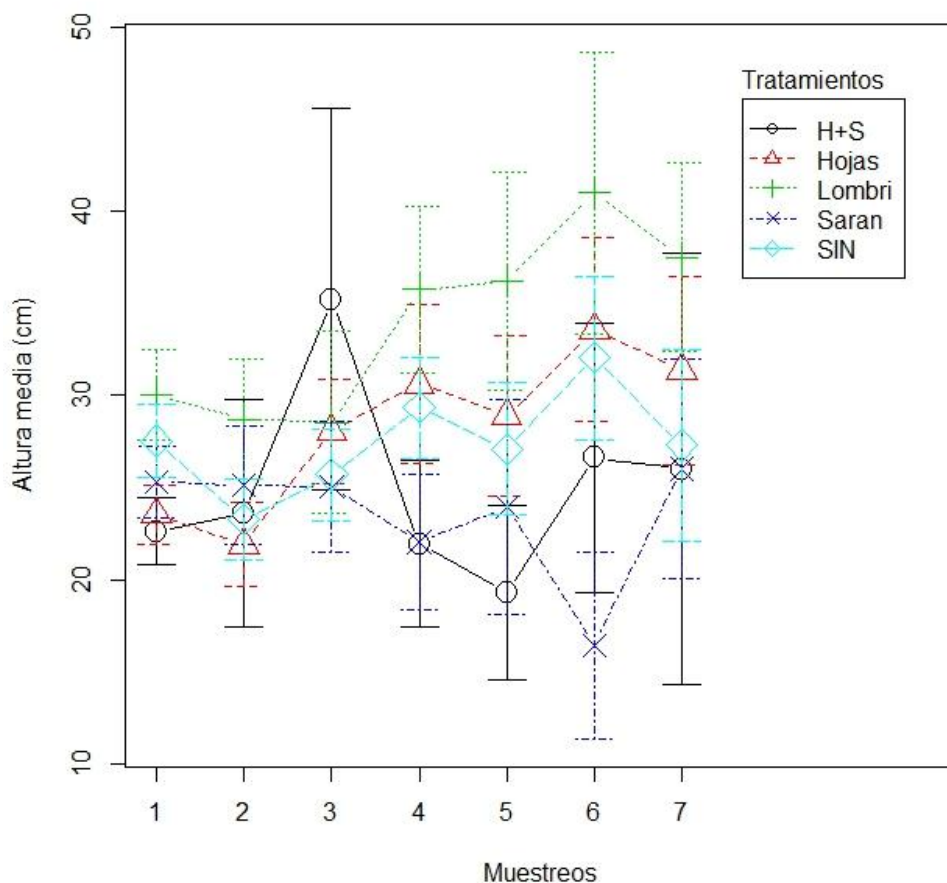


Figura 11: Alturas medias en centímetros por muestreo y tratamiento del leucaena (*leucaena leucocephala*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Diámetro

Carboncillo: El tratamiento con mayor diámetro de desarrollo fue H+S con 0.83 cm (DE ± 0.36 cm) en el muestreo 7. Seguido del tratamiento Hojas con 0.73 cm (DE ± 0.53 cm). El tratamiento con Sarán presentó un diámetro en el último muestreo de 0.63 cm (DE ± 0.25 cm). Los tratamientos que presentaron menor diámetro medio en el muestreo 7 fueron Lombricompost, 0.53 cm (DE ± 0.28 cm), y SIN con 0.51 cm (DE ± 0.25 cm). Entre el muestreo 4 y 5 todos los tratamientos presentaron una reducción en el diámetro medio. (Figura 12).

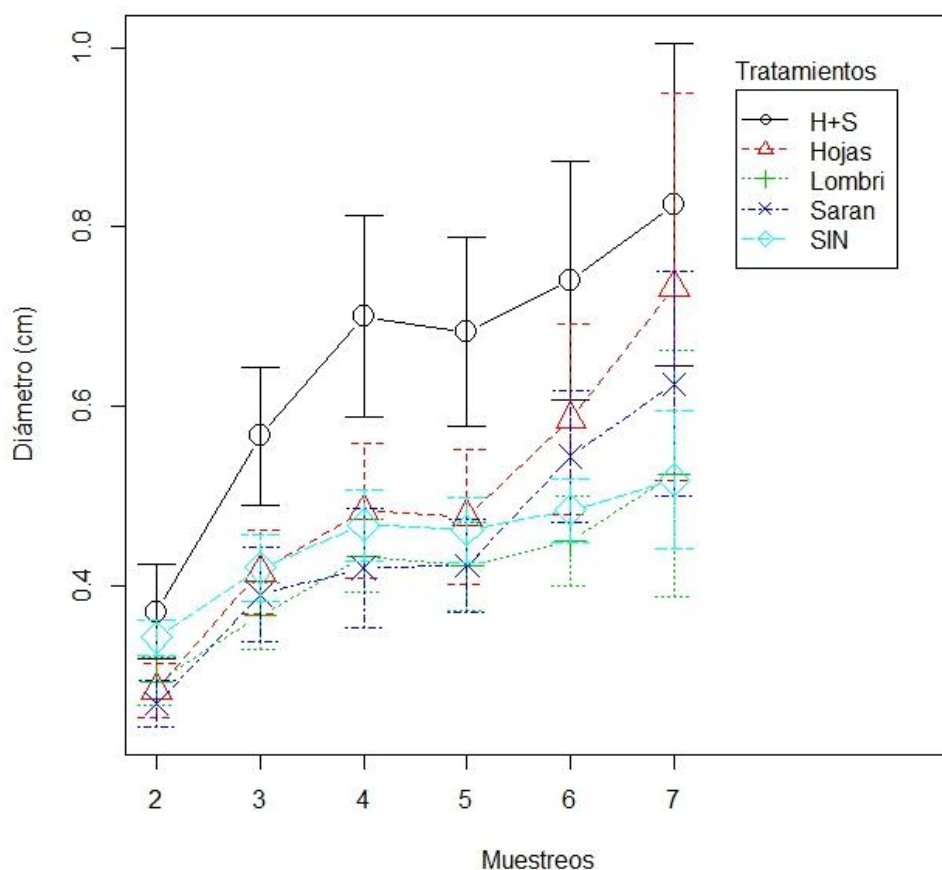


Figura 12: Diámetros medios en centímetros por muestreo y tratamiento del carboncillo (*Acosmium panamense*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Cocobolo: presentó unos intervalos de confianza al 90% muy amplios (Figura 13), los cuales se solapan sobre todo en el muestro 7. Se encontró que al final del estudio los tratamientos H+S y Hojas presentaron diámetros promedio mayores de 0.63 cm (DE ± 0.60 cm) y 0.62 cm (DE ± 0.43 cm), mientras que los tratamientos presentaron menor diámetro fueron Saran (0.53 cm DE ± 0.50 cm), Lombricompost (0.51 cm DE ± 0.30 cm) y SIN (0.51 cm DE ± 0.28 cm). La figura 2 muestra los diámetros medios por muestreo y tratamiento del cocobolo.

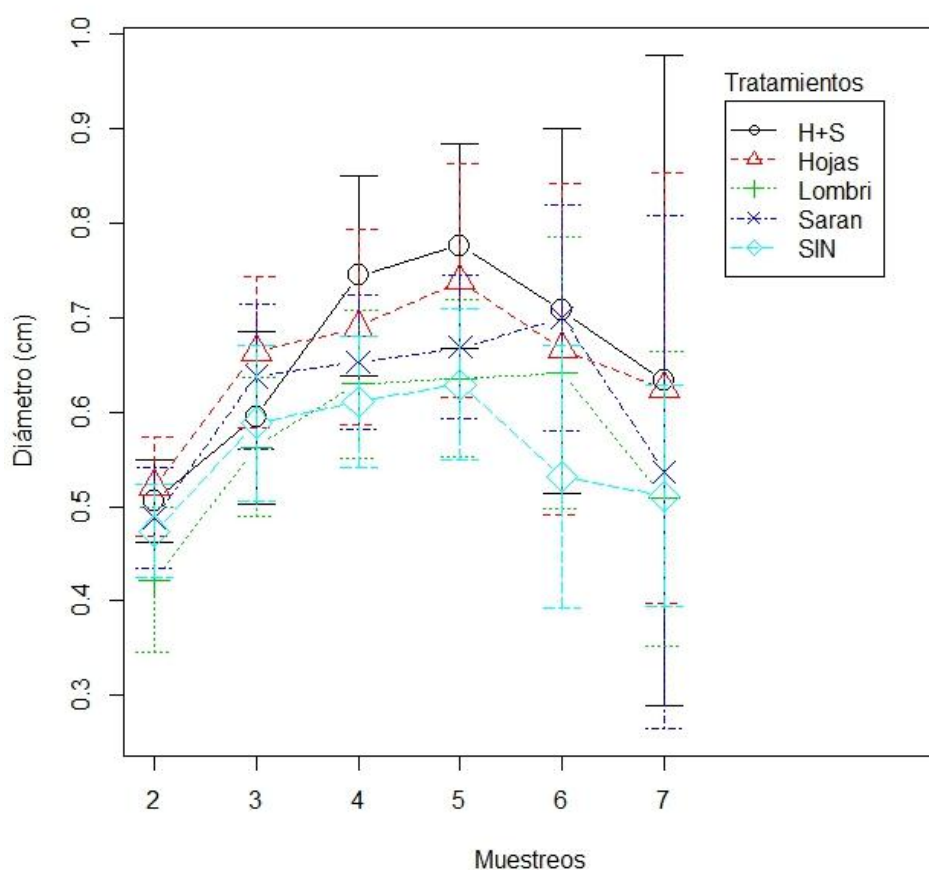


Figura 13: Diámetros medios en centímetros por muestreo y tratamiento del cocobolo (*Dalbergia retusa*), intervalos de confianza al 90%. Muestréos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Guachipelín: el tratamiento H+S alcanzó diámetros mayores en todos los muestreos, después de un año en campo, presentó un promedio de 0.82 cm (DE ± 0.4 cm). El segundo tratamiento en crecimiento de diámetro fue el Saran con un promedio final de 0.76 cm (DE ± 0.48 cm). Los tratamientos que menor desarrollo en diámetro presentaron fueron SIN con 0.41 cm (DE ± 0.18 cm) y Lombricompost 0.51 cm (DE ± 0.31 cm) (Figura 14).

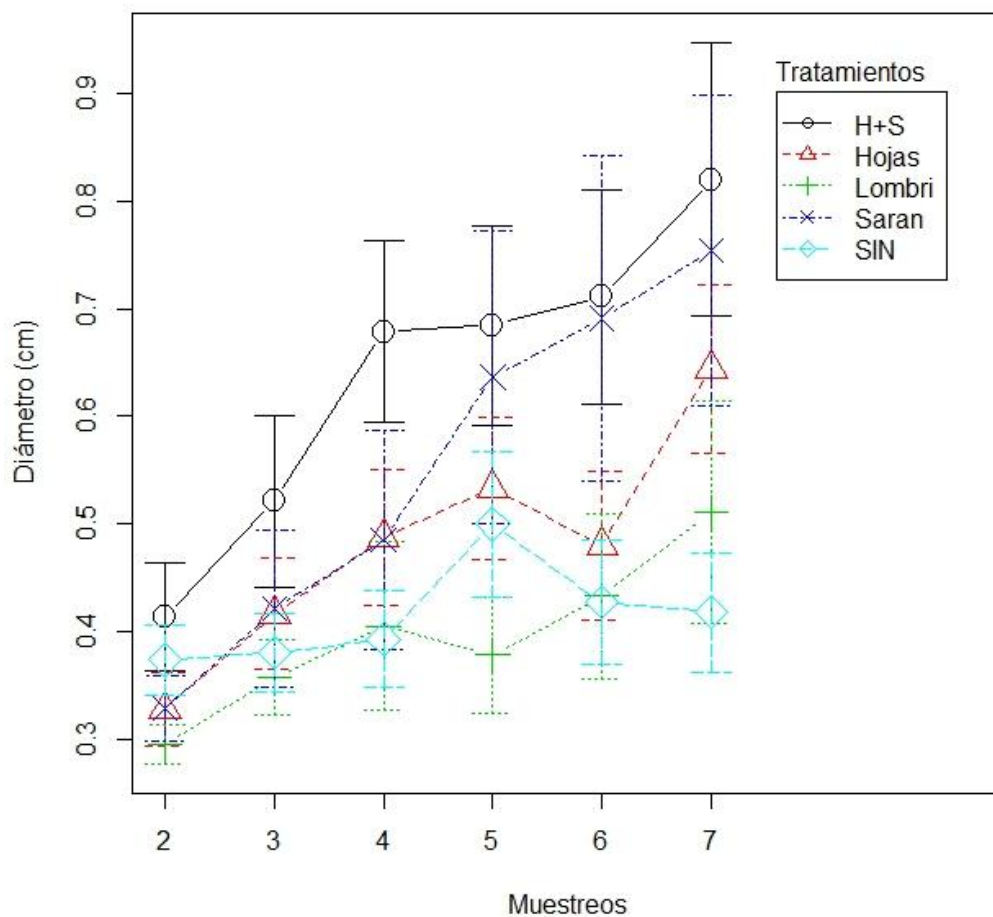


Figura 14: Diámetros medios en centímetros por muestreo y tratamiento del guachipelín (*Diphysa americana*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Guanacaste: Solamente tres árboles sobrevivieron a todos los muestreos (Figura 10). Los árboles sobrevivientes fueron un Hojas con 0.5 cm de diámetro y dos Saran 0.13 cm (DE ± 0.06 cm) de diámetro. El resto de tratamientos desaparecen por completo en el muestreo 5.

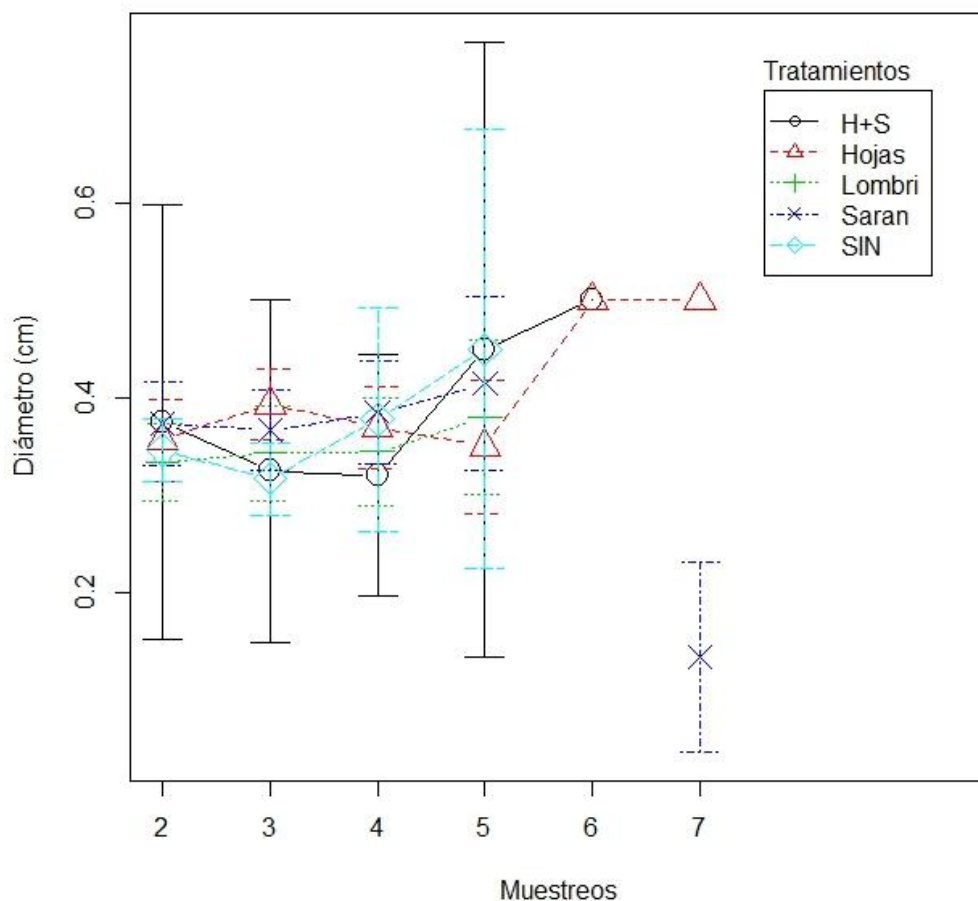


Figura 15: Diámetros medios en centímetros por muestreo y tratamiento del guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Leucaena: El tratamiento H+S presentó el mayor desarrollo en diámetro 0.48 cm (DE ± 0.47 cm) pero con mucha mayor variación que todos los demás tratamientos (Figura 16). El segundo tratamiento fue Hojas con 0.43 cm (DE ± 0.11 cm) al finalizar el primer año. El tratamiento Lombricompost tuvo 0.40 cm (DE ± 0.14 cm). Los tratamientos que menos influyeron en el crecimiento del diámetro fueron Saran 0.37 cm (DE ± 0.11 cm) y SIN con 0.31 cm (DE ± 0.13 cm).

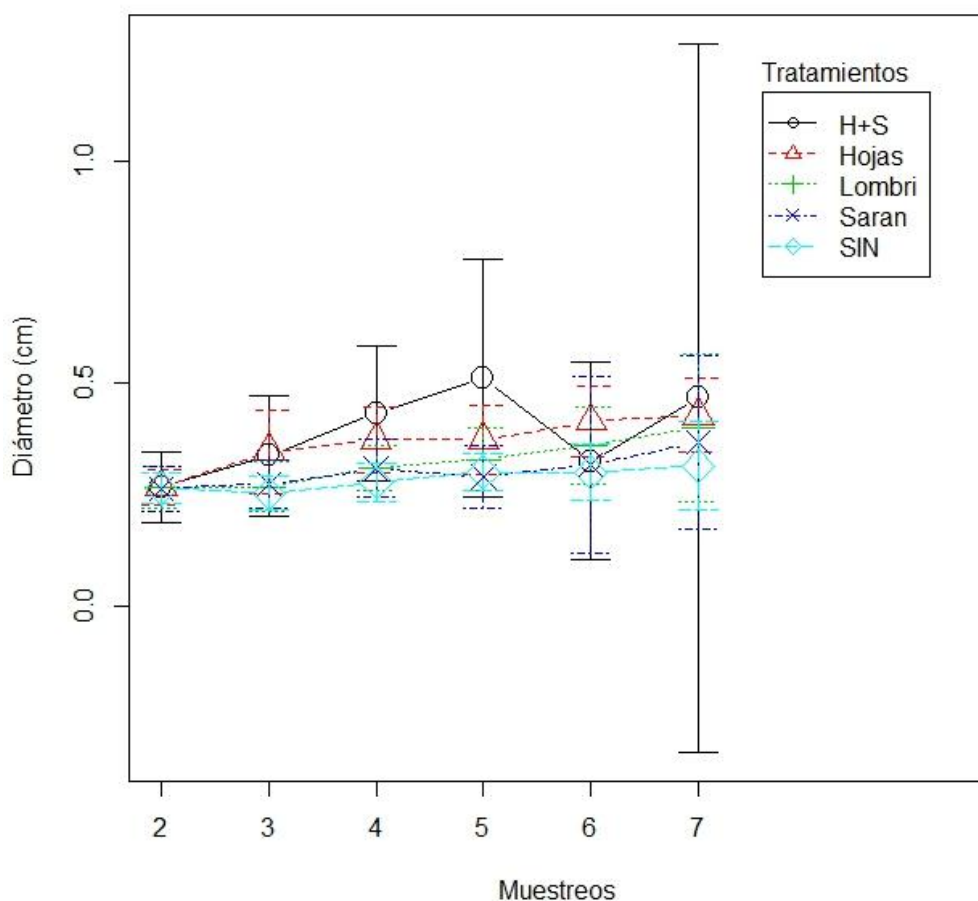


Figura 16: Diámetros medios en centímetros por muestreo y tratamiento leucaena (*leucaena leucocephala*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de Junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Número de hojas

Carboncillo: no se observaron diferencias importantes entre los diferentes tratamientos (Figura 17), aunque en el muestreo final el tratamiento Saran presentó 16 hojas (DE ± 8) y el de H+S contaba con 14 hojas (DE ± 11) mientras que el tratamiento Hojas presentó 8 (DE ± 6), SIN tenía 8 hojas (DE ± 7) y el tratamiento de Lombricompost presentó 7 hojas (DE ± 3). Observando los muestreos es importante destacar que todos los tratamientos presentaron una disminución en el número de hojas en los muestreos 4, 5 y 6.

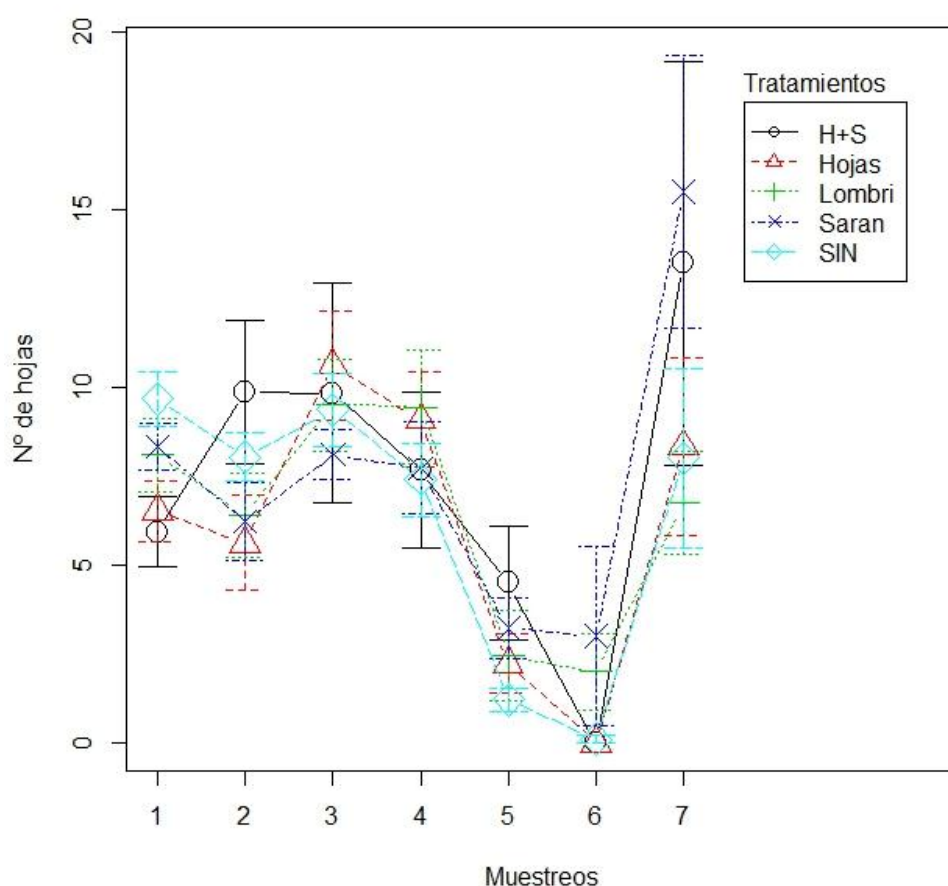


Figura 17: Número de hojas por muestreo y tratamiento del carboncillo (*Acosmium panamense*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Cocobolo: el número de hojas fue mayor para el tratamiento de H+S (11 hojas DE ± 10) seguido del tratamiento Saran (9 hojas DE ± 9). El tratamiento que presentó menos hojas fue el SIN con 7 hojas (DE ± 7). En la figura 13, se puede observar que en los muestreos 5 y 6 casi todos los individuos de cocobolo perdieron sus hojas aunque el tratamiento H+S presentó en el muestreo 5, un promedio de una hoja por individuo. Los tratamientos que presentaron mayor número de hojas en los muestreos 2, 3 y 4 fueron H+S y Saran. El tratamiento Hojas presentó en el muestreo 7 en número más bajo de hojas en comparación a los otros tratamientos.

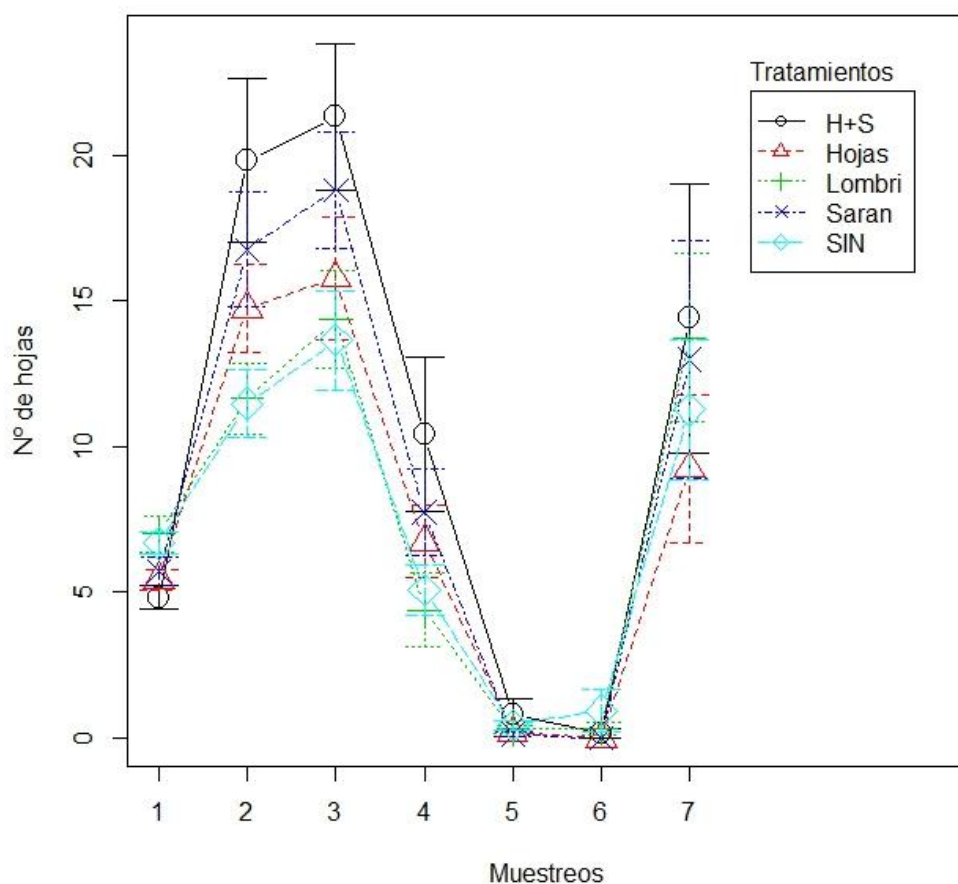


Figura 18: Número de hojas por muestreo y tratamiento del cocobolo (*Dalbergia retusa*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de Junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Guachipelín: El tratamiento Saran presentó el mayor número de hojas durante los muestreos 2, 3, 6 y 7 mientras que el tratamiento Hojas contó con mayor número de hojas en los muestreos 4 y 5 pero fue junto al tratamiento SIN el que presentó menos hojas en el muestreo 7 (Figura 19).

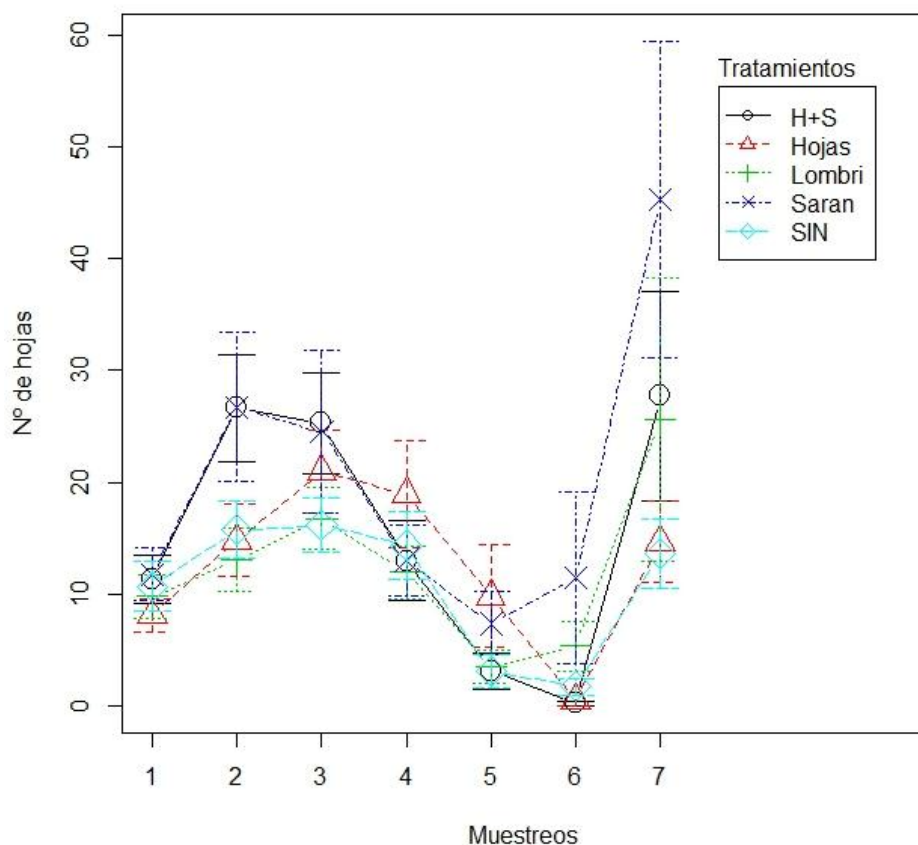


Figura 19: Número de hojas por muestreo y tratamiento del guachipelín (*Diphysa americana*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Guanacaste: H+S presentó la mejor tendencia en el número de hojas, llegando en el tercer muestreo a 10 hojas ($DE \pm 5$) hojas por árbol, mientras que el resto de tratamientos no superaba las 5 hojas por árbol. Los muestreos 4 en adelante, el número de hojas disminuye drásticamente y solo un árbol consigue mantenerse vivo durante todos los muestreos (Figura 20).

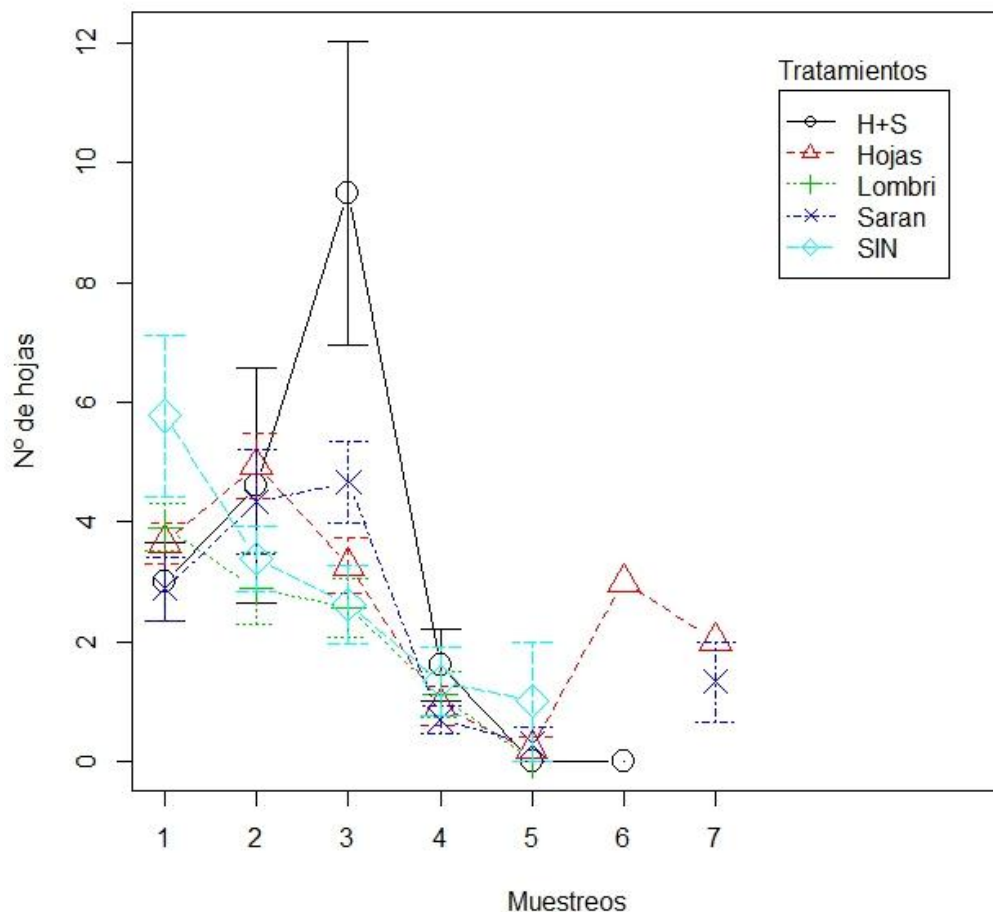


Figura 20: Número de hojas por muestreo y tratamiento del guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plántones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Leucaena: No se observan diferencias claras entre los diferentes tratamientos por muestreo (Figura 21). Los intervalos de confianza de todos los muestreos se engloban los unos en los otros, por lo que no existió una diferencia entre los diferentes muestreos. El tratamiento SIN presentó la media más baja en los muestreos 2 y 3.

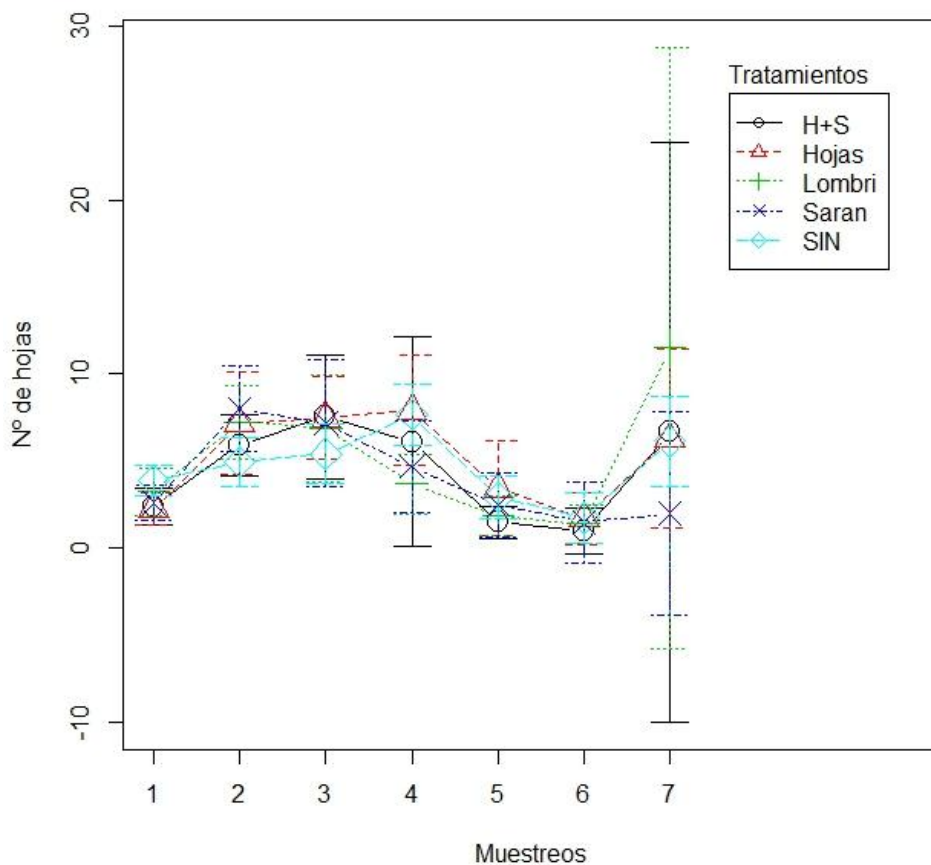


Figura 21: Número de hojas por muestreo y tratamiento del leucaena (*leucaena leucocephala*), intervalos de confianza al 90%. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plántones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. H+S: Hojas con sarán y Lombricompost. Hojas= Hojas y lombricompost. Saran: Sarán y Lombricompost. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

Incidencia de daño causado por la fauna

En la Figura 25 se puede observar que la menor incidencia de daño causado por la fauna en todos los árboles sucedió durante el muestreo 5 y 6. En el cuarto muestreo se registró un aumento en la depredación para todas las especies.

Carboncillo: la incidencia de daño promedio del número de plantones durante todo el estudio fue de 19.4%. El muestreo que presentó mayor porcentaje de daño fue el muestreo 4 con un 33.3% de los plantones con presencia de depredación. Por el contrario, el muestreo en que se encontró menores daños fue en el muestreo 6. En él, no se encontró ningún árbol con muestras de depredación.

Cocobolo: la media de la incidencia de daño fue de 35.3%. El mayor daño registrado fue durante el muestreo 4, llegando a un 85% de los individuos. La menor incidencia de daño fue registrada en los muestreos 5 (11.1%) y 6 (6.5%), volviendo a aumentar en el 7 (43.8%). Se observó que una larva de mariposa fue el animal que más daños causó al cocobolo, esta fue identificada como una larva de lepidóptero de la familia Hesperiiidae.

Guachipelín: sufrió una incidencia de daño de 24.1 %. El máximo daño fue registrado en el muestreo 2 con un 55.43 % de ejemplares con presencia de daños causados por la fauna. Los menores daños se produjeron en el muestreo 6 con 2.04 % de los árboles afectados. En dos ocasiones se observó, durante los muestreos, conejos (*Sylvilagus sp.*) alimentándose de las hojas de este árbol, así como heces en la cercanía a los plantones. También se tuvo la oportunidad de observar huellas y algunos daños causados por venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y esta fue la especie más dañada por el garrobo (*Ctenosaura similis*).

Guanacaste: el momento de la siembra se detectó que el 89.58% de los individuos sembrados presentaban síntomas de la infección por un hongo del tipo Mildiu (*Oidio sp*) y que el 89.6% de los plantones presentó insectos del Orden hemíptera de la familia Psyllidae, estos insectos fueron el único depredador observado para esta especie, con excepción del séptimo muestreo donde el daño no pudo ser relacionado con ninguna especie, (figura 22, figura 23 y figura 24). En el segundo muestreo, la presencia de los insectos se redujo al 22.86 % de los árboles. Pero la afectación del hongo continuó siendo muy fuerte, para el cuarto muestreo el 87.8% de los árboles sobrevivientes estaba infectado.



Figura 22: Insecto perteneciente a la familia Psyllidae. Encontrado en los plantones de guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica.



Figura 23: Insecto perteneciente a la familia Psyllidae. Encontrado en los guanacastes (*Enterolobium cyclocarpum*) sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica.



Figura 24: Insecto perteneciente a la familia Psyllidae. Encontrado en los guanacastes (*Enterolobium cyclocarpum*) sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica.

Leucaena: la incidencia del daño causado por la fauna fue del 12.6%, siendo el segundo (39.2%) y el cuarto (19.4%) muestreo los que presentaron mayores porcentajes de árboles dañados. Durante el trabajo se observó hormigas, del género *Atta*, atacando algunos de los ejemplares de este árbol.

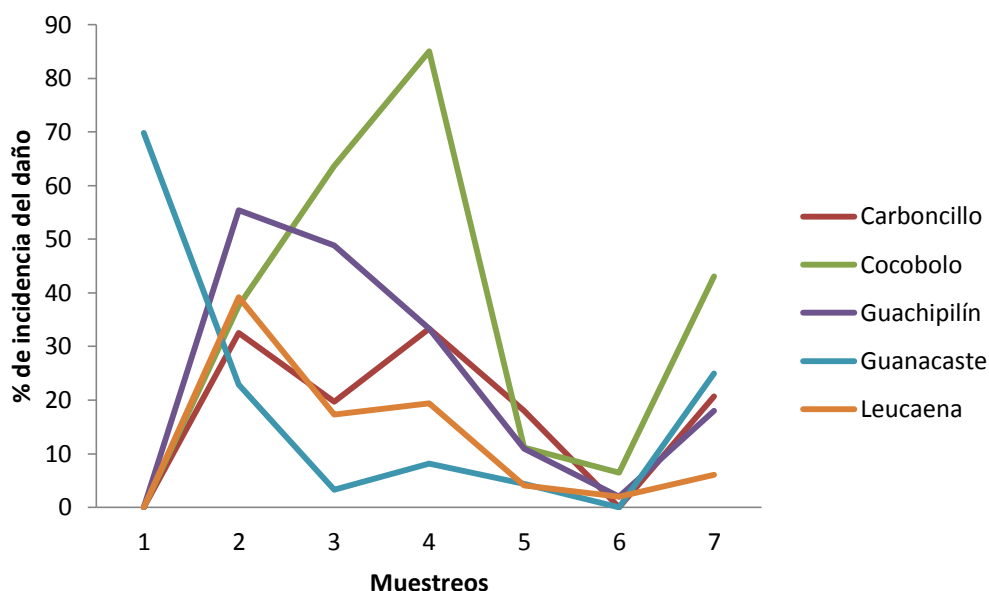


Figura 25: Porcentajes de árboles con presencia de depredación en cada uno de los muestreos separados por especie. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de Junio 2013, Guanacaste, Costa Rica.

Distancia a la vegetación

La distancia a la vegetación circundante a los plantones evolucionó desde el momento de la siembra de los árboles, se comenzó en el primer muestreo con 1 m (DE ± 0.1 m) libre de vegetación en todas las direcciones, esta fue la distancia promedio más grande. El muestreo que presentó menor distancia a la vegetación circundante fue el tres con una distancia promedio de 32.9 cm (DE ± 12.9 cm), pero esta presentó variaciones importantes entre tratamientos. Los dos tratamientos con sarán en la base del árbol presentaron distancias mayores, Saran presentó 41.1 cm (DE ± 11.20 cm) y H+S de 42.4 cm (DE ± 9.7 cm). El resto de tratamientos presentaron distancias mucho menores, el tratamiento Hojas tenía 31.3 cm (DE ± 9.5 cm) mientras que los tratamientos Lombricompost y SIN solo presentaron distancias de 28.5 cm (DE ± 11.6 cm) y 27.6 cm (DE ± 13.5 cm).

En el muestreo cuatro se observó un aumento en la distancia a la vegetación circundante hasta 45.9 cm (DE ± 12.5 cm), esta tendencia se mantuvo en el quinto muestreo llegando la distancia media a la vegetación a 50.9 cm (DE ± 12.3 cm). En los muestreos sexto y séptimo la distancia se mantuvo en los 48.9 cm (DE ± 14.2 cm) y 49.8 cm (DE ± 15.2 cm).

Uso de Lombricompost

La Estación Experimental Horizontes realizó una única fertilización en la base del plantón el mismo día que estos fueron plantados, se aplicó un puñado de Lombricompost por plantón con un promedio de 72.4 g (DE ± 14.5 g) por plantón. Para el conjunto de todas las especies, se encontró que el aporte de Lombricompost aumentó la altura promedio en todos los muestreos (Figura 26), al finalizar este estudio los plantones tratados con Lombricompost crecieron en promedio 35.1 cm (DE ± 19 cm) mientras que los que no recibieron la fertilización contaban con una altura de 31.4 cm (DE ± 15.4 cm).

Si observamos las alturas promedios por especie en el muestreo 7, entre el tratamiento con Lombricompost y el que no lo recibió, podemos ver que la especie más beneficiada por el aporte de fertilizante fue la *Leucaena*, seguida del Guachipelín. Las menos beneficiadas fueron el Carboncillo y el Cocobolo. La leucaena presentó una altura promedio al final de este estudio de 37.5 cm (DE ± 10.2 cm) para los plantones con Lombricompost y una altura de 27.2 cm (DE ± 13.7 cm) para los que no recibieron fertilización. El Guachipelín tuvo alturas de 33.6 cm (DE ± 24.2 cm) y 27.9 cm (DE ± 14.6 cm), con fertilización y sin ella respectivamente. Los que presentaron menores diferencias fueron carboncillo, con fertilización 42.4 cm (DE ± 23.7 cm) y sin ella 38.9 cm (DE ± 17.4 cm).

cm), y el cocobolo con alturas finales para los dos tratamientos de 32.9 cm (DE \pm 24.2 cm) con Lombricompost y 30.6 cm (DE \pm 14.5 cm) sin él (Figura 27).

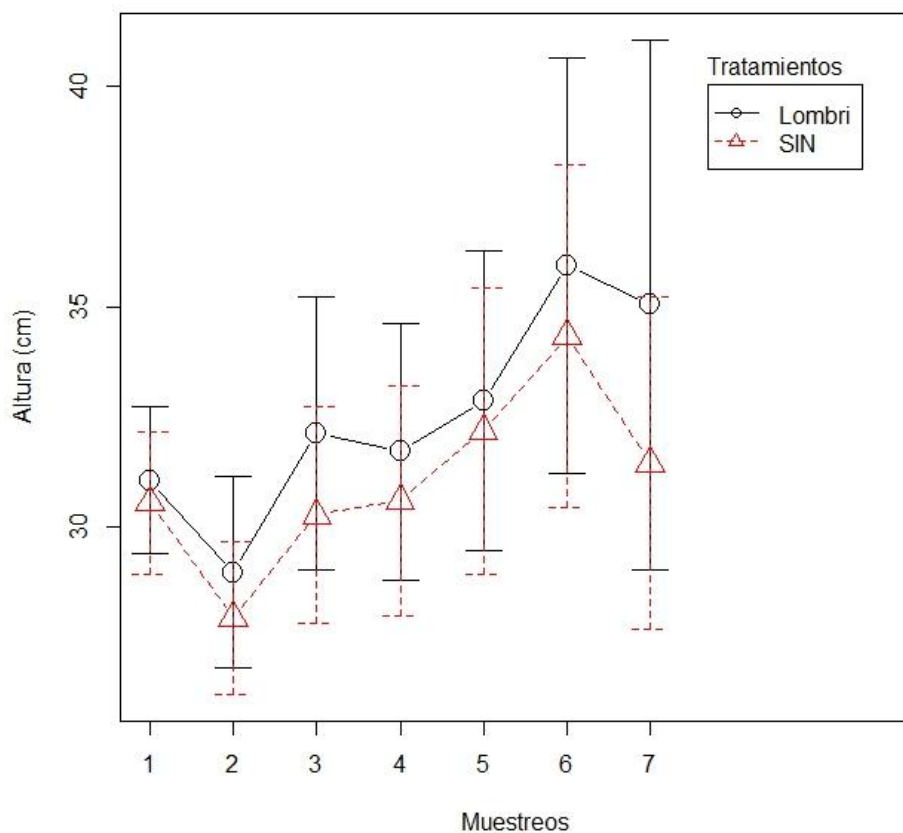


Figura 26: Alturas promedio por muestreo de los tratamientos SIN y Lombricompost. Muestreos realizados cada 60 días, iniciando el 7 de julio de 2013. Plantones sembrados por EEFH en el sector La Esperanza el 22 de junio 2013, Guanacaste, Costa Rica. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

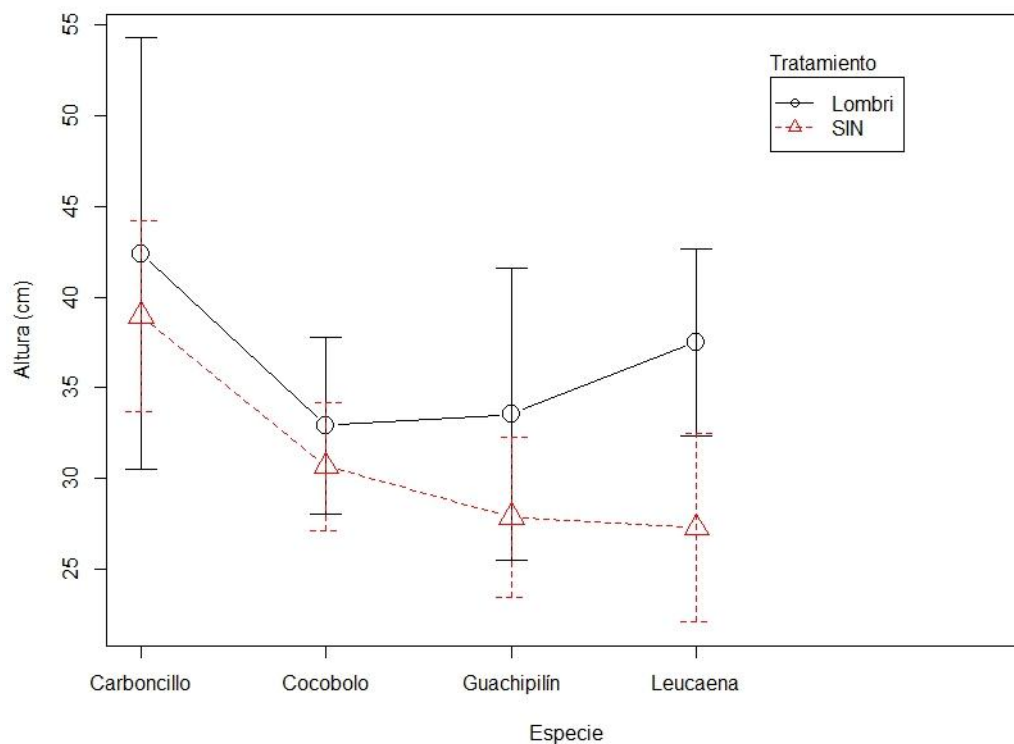


Figura 27: Altura promedio en centímetros por especie en el séptimo muestreo (21 julio 2014) entre el tratamiento SIN y Lombricompost. Intervalos de confianza al 90%. De los plántones plantados en la EEFH en el sector La Esperanza, Guanacaste, Costa Rica. Lombri: Lombricompost. SIN: Control no se aplica nada.

DISCUSIÓN

Sobrevivencia

En términos generales, la sobrevivencia de las cinco especies puede considerarse como baja o muy baja. La sobrevivencia promedio total fue del 31.9%, muy por debajo para lo esperado, o deseado, en estas especies. Si lo analizamos especie por especie, podemos notar que los diferentes plantones presentaron variaciones importantes en la sobrevivencia.

El carboncillo presentó una sobrevivencia promedio para todos los tratamientos, 24.4%, que es ligeramente inferior a la reportada para las repoblaciones realizadas en la estación de Santa Rosa (Honduras) donde se encontró una sobrevivencia promedio a los 12 meses de la siembra en campo del 28% (Barrance *et al.*, 2003). Teniendo en cuenta el estado de los suelos en la Esperanza, una diferencia del 4% en la sobrevivencia fue muy pequeña. Por otro lado, el tratamiento Hojas presentó sobrevivencias del 33%, posiblemente por un mayor aporte de nutrientes o por la presencia de hongos y bacterias beneficiosas en dichas hojas (Montagnini *et al.*, 1993, Caamal-Maldonado *et al.*, 2001). La sobrevivencia en este tratamiento fue ligeramente mayor a la reportada para esta especie, el aporte de materia orgánica como cobertura de suelo puede ser una técnica importante de evaluar para mejorar las repoblaciones realizadas con esta especie. La protección del suelo también parece de gran importancia debido al comportamiento del tratamiento Saran, pero el sarán presentó algún problema con las lluvias, la mitad de los plantones vivos en el muestreo 6, no sobrevivieron en el muestreo 7. Para el tratamiento H+S, se observó que algunos plantones se dañaron por la acción del viento, porque el sarán se encontraba tenso debido a la presencia de hojas, lo que pudo causar que el viento raspara el plantón contra la tela de sarán cuando graves daños.

Si observamos las diferencias de sobrevivencia entre el tratamiento SIN y el tratamiento Lombricompost, estas podrían deberse a que durante el inicio de la época de lluvias el plantón del tratamiento Lombricompost contaría con mayor disponibilidad de nutrientes debido al aporte del fertilizante, lo que podría haber causado una menor formación de micorrizas (las micorrizas favorecen tanto la obtención de nutrientes como la obtención de agua en periodos de sequía (Martínez-García, 2011, Garzón, 2010) y nódulos de fijación de nitrógeno (Gei, 2014). Esto permitiría una mejor sobrevivencia durante los meses más secos para el tratamiento SIN, que al poseer micorrizas presentaría un menor estrés hídrico, pero con la vuelta de las lluvias el tratamiento Lombricompost presentó un menor número de muertes ya que en ese momento las

micorrizas son de menor importancia para el árbol debido al aumento de la disponibilidad de agua (Gei, 2014).

El cocobolo en plantaciones mixtas de bosque seco en Costa Rica, reporta sobrevivencias del 88.7% (Piotto *et al.*, 2004). En este estudio, todos los tratamientos presentaron sobrevivencias menores, lo que puede ser atribuido al estado degradado del suelo en La Esperanza. Además, no se encontró relación entre la depredación y la sobrevivencia. Aunque los tratamientos con hojas, que cuentan con un mayor aporte de nutrientes y protección contra la deshidratación (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001), presentaron sobrevivencias mayores que el resto de tratamientos. Esto, aunado a la alta mortalidad registrada para el tratamiento SIN, después de la limpia realizada parece indicar que el cocobolo en La Esperanza presenta un problema con el balance hídrico y/o nutricional que podría corregirse con un manejo diferente del terreno.

Para el Guachipelín, se reportan supervivencias en Panamá y Costa Rica superiores al 90 % de los árboles (Condit *et al.*, 2010; Barrance *et al.*, 2003), pero es considerada una especie muy sensible a la competencia con la vegetación, los tratamientos con sarán presentaron sobrevivencias mayores al resto debido a la menor competencia con herbáceas, ya que la tela de sarán imposibilita físicamente el desarrollo de malezas (Dantas *et al.*, 2013). Los tratamientos de hojas y Lombricompost presentaron una brusca disminución de la sobrevivencia entre los muestreos 4 y 5 llegando a igualarse con el tratamiento SIN. Esto, se debió a que la limpia de vegetación se realizó al inicio de la época seca, lo que eliminó la protección a la que dichos ejemplares se habrían aclimatado, dejándolos expuestos justo al inicio de la época de mayor estrés hídrico para las plantas (Janzen, 1981).

Las sobrevivencias reportadas para el guanacaste variaron mucho en relación al lugar, estado del suelo y manejo realizado, oscilando entre 70% y el 50%. Las variables encontradas en la bibliografía que afectaron de forma negativa la sobrevivencia fueron la presencia de sombra y el tamaño de los plántones a la hora de la siembra (Francis, 2000; Stejano y Fournier, 1999; Hughes y Stewart, 1990). En el caso de este estudio, la alta mortalidad registrada pudo deberse, seguramente, a la infección por parte de un hongo tipo mildiu (*oïdium sp.*), pero debe tenerse en cuenta que los árboles llegaron al campo de siembra midiendo menos de 50 cm, tamaño mínimo recomendado para su siembra en campo (Francis 2000), lo que puede haber influido negativamente en su supervivencia.

Se han reportado supervivencias promedios del 90% para la leucaena en Costa Rica, de las en 22 parcelas estudiadas solo dos de ellas, en San Isidro y Liberia, presentaron supervivencias del 58% (Salazar *et al.*, 1987). La sobrevivencia registrada en este estudio

fue inferior a las reportadas, pero las variaciones entre los diferentes tratamientos parecen indicar que la deficiencia en nutrientes sería la hipótesis más probable. Los suelos tropicales, sobre todo los degradados por uso agrícola, presentan como macronutriente limitante al fósforo debido a que se trata de un nutriente soluble, las formas insolubles no son asimilables, e imposible de fijar por las plantas (Navarro y Navarro, 2000; Alfonso-Linares, 2004; Casanova, 2005). En relación al fósforo, Miyasaka y Habte (2001) encontraron que era el nutriente más limitante en la sobrevivencia de la *Leucaena leucocephala*, como en este estudio se realizó una sola fertilización y no se utilizó microorganismos eficientes para mejorar la solubilización y absorción de fósforo los problemas relacionados con la deficiencia de este nutriente serían la causa de la baja sobrevivencia en La Esperanza.

Crecimiento

Altura

El mayor crecimiento para el carboncillo fue registrado para el tratamiento de H+S, el cual presentó alturas promedios mayores durante todo el estudio, la combinación de protección contra la erosión y el lavado de nutrientes de las hojas y el sarán explicaría la diferencia con el resto de tratamientos coincidiendo con lo reportado en un estudio de protección de suelos en piñeras utilizando sarán (Montagnini *et al.*, 1993) y de estudios de aporte de hojas secas (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; García Ramírez, 2008).

El carboncillo presentó un crecimiento promedio más bajos que las reportadas por Barrance *et al.* (2003). Barrance *et al.* (2003) encontró que en plantaciones realizadas en Costa Rica y Nicaragua el incremento promedio anual del carboncillo fue de 70 cm anuales, pero en este estudio ningún tratamiento supero los 40 cm de media. Esto puede ser debido a que los terrenos utilizados en Nicaragua fueron de tipo agrícola y presentaron unas condiciones nutricionales mejores que el sector La Esperanza, con suelos considerados como muy contaminados y pobres debido al cultivo intensivo de algodón en el pasado (Gutiérrez-Leitón, 2010). Además, en el estudio de Barrance *et al.* (2003) se realizaron varias fertilizaciones al año. El déficit de nutrientes en suelo explicaría, porqué el tratamiento SIN, fue el que presentó el menor desarrollo, seguido del Lombricompost, mientras que los tratamientos que más desarrollo mostraron fueron aquellos que presentaron protección del suelo y del lavado de nutrientes. Es importante destacar, que la mayor dispersión entre tratamientos se da en el muestreo 7, justo a inicios de la nueva época de lluvias momento que el lavado de nutrientes por la lluvia se vuelve más intenso (García Ramírez, 2008).

El crecimiento anual reportado para en cocobolo en el Pacífico Seco de Costa Rica fue de 0.6 m (Barrance *et al.*, 2003). Pero durante los primeros 16 meses de crecimiento, en el campo después de un año en el vivero, Tilke y Fisher (1998) reportaron que el cocobolo registró una altura promedio de 1 m. Todos los tratamientos registraron un crecimiento menor a los reportados en la literatura, pero las condiciones de nutrientes y características fisicoquímicas del suelo en el sector la Esperanza explicarían este menor desarrollo, aunque se carece de un análisis de suelos el estado ecológico y la historia del lugar indica que se trata de un suelo pobre y contaminado (Gutiérrez-Leitón, 2010). Los tratamientos que contaron con mayor aporte de materia orgánica, H+S y Hojas, presentaron mejores crecimientos durante el año debido a que el aporte de materia orgánica seca al suelo como cobertura, ha sido utilizado como técnica de mejoramiento de las características del suelo desde hace muchos años (Montagnini *et al.*, 1993; Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Barbazán *et al.*, 2002; Bunch, 2004).

La disminución en la altura en el muestreo 4 de todos los tratamientos de cocobolo menos los dos con sarán puede deberse a la limpia realizada por la estación, del 10 al 15 de enero al inicio de la época seca. Los tratamientos con sarán presentaron una distancia mayor a la vegetación, debido a la dificultad física de las plantas para desarrollarse sobre el sarán (Alcántara *et al.*, 2007), los individuos de estos tratamientos estarían mejor preparados para resistir el estrés hídrico producido por la pérdida de la vegetación. La disminución brusca en la altura entre el muestro 6 y el 7 de los tratamientos con sarán frente al resto de tratamientos, principalmente Hojas, parece indicar que el sarán tiene algún efecto negativo en el momento en que vuelven las lluvias a la EEFH, esto podría deberse a algún cambio producido en el suelo por el aumento de temperatura que favorece el sarán (Zribi *et al.*, 2011) o en una mejor detección por parte de la fauna aunque no se registró aumento en la depredación. .

El guachipelín ha sido estudiado en ensayos en Guatemala y Costa Rica, donde se reporta en términos generales para los dos países, un incremento promedio anual en altura de 1.0 m a 2.2 m (Condit *et al.*, 2010). El guachipelín es una especie que crece mejor en bosques húmedos y que presenta un mejor desarrollo y supervivencia con presencia de sombra (Barrance *et al.*, 2003). En la Esperanza el terreno presentó condiciones de bosque seco tropical y el porcentaje de sombra fue muy bajo, por lo que su poco desarrollo se debe, entre otros factores, al estado ecológico del área. Debería esperarse, que alguna de las especies plantadas tuviera porte para producir cierta sombra y sea más fácil para el guachipelín establecerse. Barrance *et al.* (2003) también lo considera una especie muy sensible a la competencia con herbáceas, lo que explicaría que los tratamientos con sarán presentaran crecimientos mayores, pero con mucha

variación. Además fue la especie que presentó mayor variedad de depredadores y el más afectado por el garrobo que se encontró antes del inicio de este trabajo.

El guanacaste presentó un crecimiento negativo durante la duración del estudio, la presencia del hongo mildiu (*oïdium sp.*) el cual atacó los ápices de crecimiento y las hojas jóvenes (Hilje *et al.*, 1991; Gallegos 2005), explica este desarrollo tan reducido. Durante los primeros muestreos el tratamiento hojas presentó mejor crecimiento, seguido el tratamiento Lombricompost, por lo que un aporte adicional de nutrientes parece importante para que este árbol crezca en la zona de la Esperanza. Por otro lado, parece que la presencia de sarán tuvo un efecto perjudicial para el guanacaste producido seguramente por la acción del viento sobre el plantón que causó que se raspara contra el sarán dañando la corteza de la base del tallo.

En repoblaciones para áreas degradadas en América Central con leucaenas producidas en viveros, durante un año, en bolsa y seis meses en campo varió de 0.5 a 1.5 m, al año la altura media es de 2.3 m (Hughell, 1990; Francis y Lowe, 2000). Los individuos plantados en este estudio presentaron crecimientos promedios muy inferiores a lo señalado por los autores anteriores, Lo anterior se puede deber, a que la Leucaena es una especie muy sensible a la disponibilidad de ciertos nutrientes en el suelo, sobre todo de fósforo, y muy dependiente de los microorganismos presentes en el campo (Sanginga *et al.*, 1984; Knudson *et al.*, 1988; CATIE, 1991; Miyasaka y Habte, 2001) lo que explicaría el poco desarrollo en la Esperanza, debido al suelo degradado (Gutiérrez-Leitón, 2010). Del muestreo 4 en adelante, todos los tratamientos, menos H+S presentaron un aumento en la altura promedio, lo que estaría relacionado con la limpia que unos días antes realizó la EEFH, coincidiendo con lo encontrado por Sandoval, *et al.* (1989), sobre la respuesta de la altura en leucaenas frente a las limpias de vegetación.

Diámetro

El crecimiento en diámetro promedio anual reportado para el carboncillo es de 0.7 cm según Barrance *et al.* (2003), en este estudio los tratamientos H+S y Hojas presentaron crecimientos mayores a los reportados por lo que estos tratamientos beneficiaron el desarrollo en diámetro del carboncillo. El mayor aporte de nutrientes y la protección del suelo que ofrecen las hojas y el sarán son la mejor explicación de este desarrollo mayor (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Montagnini *et al.*, 1993). En los muestreos 4 y 5 se pudo observar una disminución en el diámetro de todos los tratamientos. Esto, parece encontrarse directamente relacionado con la limpia realizada una semana antes del cuarto muestreo, en la bibliografía se encuentran múltiples referencias al aumento del estrés hídrico sufrido por la eliminación de la vegetación en otras siembras de árboles,

causado por la pérdida de la función protectora que las malezas ofrecen al árbol en un momento tan crítico como el inicio de la época seca (Paredes, 2010).

Para los primeros años de crecimiento en el campo, el cocobolo presenta crecimientos entre 1.7 cm y 0.72 cm anuales (Tapia *et al.*, 2010, Corrales Solís 2012). En los muestreos del 1 al 5 se observó que los tratamientos que tuvieron protección de la base de la planta, alcanzaron diámetros mayores, probablemente debido a una reducción en el lavado de nutrientes (Anzalone *et al.*, 2010). Se encontró que el diámetro promedio del tratamiento con sarán en el último muestreo fue muy similar a los tratamientos SIN y Lombricompost, posiblemente porque ya los nutrientes habían terminado de lavarse o ya habían sido asimilados por la planta, mientras que los tratamientos con hojas aun contaban con un aporte adicional de nutrientes (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Anzalone *et al.*, 2010). Para los dos muestreos finales las variaciones en el crecimiento diametral fue muy grande, pero la tendencia promedio fue clara, los tratamientos con aporte de hojas tuvieron crecimientos diamétricos mayores, estas diferencias observadas podrían deberse a los beneficios que las hojas aportan, como la mayor disponibilidad de nutrientes y protección del suelo (Montagnini *et al.*, 1993; Celentano, 2011).

El diámetro del guachipelín fue menor del reportado por Condit *et al.* (2010), de 2.0 cm anuales. Pero si observamos los diferentes tratamientos, los que contaron con sarán, presentaron diámetros medios mayores, esto concuerda con lo encontrado en la bibliografía, que considera al guachipelín como un árbol muy sensible a la competencia con herbáceas en sus primeros años de desarrollo (Barrance *et al.*, 2003).

Para la leucaena en Costa Rica, el diámetro a cinco centímetros del suelo el primer año en campo es 1.8 cm (Francis y Lowe, 2000). En la Esperanza se encontró un desarrollo menor al esperado, pero el diferente desarrollo de los tratamientos muestra que la leucaena puede presentar un problema de déficit de nutrientes en este terreno. La Leucaena es una especie muy sensible a la ausencia o a su baja disponibilidad de nutrientes en el suelo, sobre todo de fósforo, presentando gran importancia los microorganismos presentes en él, ya que estos permiten la fijación de nitrógeno y la absorción más eficiente de fósforo (Miyasaka y Habte, 2001).

Número de hojas

El carboncillo es un árbol caducifolio que pierde las hojas durante los meses más secos del año, la pérdida casi total de las hojas en todos los tratamientos durante los muestreos 5 y 6 coincide con la fenología del árbol en EEFH, tal como lo señala Meza-Leandro (2013). Para el muestreo 4, realizado los primeros días de enero, es importante tener en cuenta que 7 días antes del muestreo la estación realizó una limpieza de

vegetación circundante, que pudo adelantar la pérdida de hojas por estrés hídrico (Paredes, 2010).

La pérdida de las hojas durante los muestreos 4, 5 y 6 coincidió con lo reportado para la fenología del cocobolo por Frankie *et al.* (1974), quienes encontraron que el cocobolo en Guanacaste pierde sus hojas durante los meses de marzo a abril, iniciándose en enero. Los tratamientos que perdieron más tarde las hojas y presentaron un mayor número de hojas cuando volvieron las lluvias fueron el tratamiento H+S y Sarán, esto podría deberse a la menor competencia que presentaron los individuos por la presencia de un sarán, tanto nutricional como lumínica, que dificultó el desarrollo de la maleza en los 50 cm alrededor del plantón y la mayor disponibilidad de agua (Anzalone *et al.*, 2010). El tratamiento Hojas presentó un menor número de hojas en el muestreo 7, el cual podría deberse a que este tratamiento presentó un mayor aumento en la altura, en ese mismo muestreo, pudiendo haber invertido la energía necesaria para la producción de hojas en la producción de segmentos de tallo.

El número de hojas del guachipelín parece estar relacionado con la competencia con herbáceas y malezas, ya que en los tratamientos con sarán contaron con más hojas en todos los muestreos, excepto para los muestreos 4 y 5 en los que la incidencia de la limpieza realizada por la EEFH podría ser el causante directo de la pérdida de las hojas. Esto concuerda con lo descrito por Barrance *et al.* (2003).

El guanacaste también parece estar influenciado por la competencia con malezas. Durante los primeros muestreos pudo observarse que los tratamientos con sarán presentaron un promedio mayor de hojas, el Guanacaste es un árbol, que en estado de plántula es muy sensible a la competencia por la luz y que solo se beneficia de la sombra en casos de estrés hídrico muy severo (Francis y Lowe, 2000). En el muestreo cuatro, el bajo número de árboles sobrevivientes volvió muy difícil analizar los resultados.

La *Leucaena* presentó durante todo el estudio una variación en el número de hojas que no presentó diferencias entre los tratamientos, la pérdida general de hojas en los muestreos 5 y 6 concuerda con la fenología de la especie para Costa Rica, la cual pierde las hojas durante los meses de febrero a mayo. (Montagnini *et al.*, 1997)

Incidencia de daño causado por la fauna

El mayor daño producido al carboncillo por la fauna fue en el muestreo 4, dicha depredación se debió a la combinación de dos factores. Por un lado la época de lluvias ya estaba finalizando, momento de máxima depredación en el bosque seco guanacasteco (Janzen, 1981), empezando a observarse el "amarilleo" de la vegetación y

el final de fructificación de los pastos o zacates. El otro factor pudo ser la limpia realizada por la EEFH, ya que al eliminar la vegetación que cumplía la función de protección de los plantones éstos quedaron expuestos a sus depredadores. (Paredes, 2010; Maestre *et al.*, 2003; García-Ferré *et al.*, 2001).

Los daños registrados para el cocobolo están muy relacionados con la dinámica fenológica del árbol (Barrance *et al.*, 2003; Tilki y Fisher, 1998), durante los muestreos más secos, cuando el árbol presentó menor número de hojas, la depredación fue menor. Por otro lado la limpia de vegetación realizada pudo haber favorecido el pico de depredación registrado en el muestreo 4.

El guachipelín fue la segunda especie que más daños sufrió por la fauna, entre las especies evaluadas. En la bibliografía se encuentran comentarios de que el guachipelín es considerada una especie muy apreciada por la fauna silvestre (Barrance *et al.*, 2003), durante este estudio se pudieron identificar dos herbívoros que se alimentan de ella, el venado cola blanca, los conejos y el garrobo. Para este estudio los daños causados por los venados y conejos no pueden ser considerados como graves, pero considerando que un solo garrobo causó la muerte de 32 árboles en 48 horas, se trata de una gran amenaza que requiere consideración para futuros estudios y repoblaciones en la zona.

Sobre el guanacaste, al detectarse en el momento de la siembra la infección de la mayoría de árboles por parte de un hongo tipo mildiú (*oïdium sp.*) y la presencia de un insecto de la familia psyllidae traído del vivero, se hace imposible evaluar los daños que causaría la fauna local. La presencia del hongo mildiú (*oïdium sp.*) se relaciona a problemas de humedad y ventilación en el vivero (Castaño-Zapata y del Rio, 1994), aunque no hay información específica para el Guanacaste, pero podría haber sido contagiado o favorecido por el insecto, más información sobre el manejo de vivero es necesaria para conocer los motivos de la infección tanto del hongo como del insecto.

Por otro lado, la leucaena presentó menos daños que el resto de especies incluidas en este estudio, se trata de una especie muy apreciada por la fauna silvestre, sobre todo de vertebrados (Bacab *et al.*, 2013; Parrotta, 2000), pero en la Esperanza se encontró que no sufre graves daños por la fauna. Aunque se registró el ataque por parte de hormigas del género *Atta*, lo que supone una grave amenaza dependiendo de las poblaciones de *Atta sp* en el lugar de la siembra, en esta zona de la Esperanza no se observaron grandes hormigueros.

Distancia a la vegetación

Se realizaron únicamente dos limpiezas de malezas, antes de la siembra y a los 8 meses después, esto fue insuficiente, ya que en el sector de Horizontes se recomiendan de 6 a 7 rodajeras por año los primeros tres años (Gutiérrez-Leitón, 2010). Para varias de las especies estudiadas en este trabajo los tratamientos con sarán presentaron mejores resultados, esto parece indicar que la competencia con malezas influyó negativamente el desarrollo y sobrevivencia de los árboles en la repoblación de La Esperanza (Anzalone *et al.*, 2010). El uso de sarán en la base del árbol imposibilita físicamente el desarrollo de malezas reduciendo de forma directa la competencia. Por otro lado, la rodajera que se realizó, una vez que los árboles estaban sembrados, fue en el mes de enero, momento en que la época seca ya ha iniciado lo que favorece un aumento en la depredación y reduce las probabilidades de sobrevivencia de los árboles (Janzen 1981, Zamora y Castro 2001).

Utilización de Lombricompost

Se pudo registrar una diferencia en el crecimiento medio general de todas las especies, por lo que el aporte de Lombricompost por sí mismo está influenciando el crecimiento medio de los árboles plantados. Pero aun así, el crecimiento de los plantones tratados con Lombricompost no alcanzaron las alturas reportadas para dichas especies en el primer año de siembra, esto se podría deberse, a que el aporte de lombricompost no fue suficiente para suplir las necesidades nutricionales de los árboles. En la mayoría de trabajos realizados con Lombricompost, en muy diferentes cultivos y suelos, se utilizaron entre 4 a 12 toneladas por hectárea al año, en varias aplicaciones que varían entre 2 a 6 por año (Peralta-Antonio *et al.*, 2015; Peralta Antonio, 2013; Sánchez *et al.*, 2011).

En el caso de su aplicación en plantaciones forestales se utilizan 150-250 g por árbol por año, en dos aplicaciones repartidas en el año dependiendo de las lluvias, para árboles jóvenes y estacas recién plantados (Díaz, 2002). En esta repoblación se utilizó casi la mitad de la cantidad recomendada y es de esperar un desarrollo menor al encontrado en trabajos con fertilizaciones más fuertes. La forma de aplicación, no fue la recomendada para este tipo de proyectos, ya que fue aplicado en la superficie del suelo permitiendo que esté disponible para malezas y que pueda ser lavado por la lluvia (MAG, 2010).

CONCLUSIONES

Los resultados muestran crecimientos y sobrevivencias inferiores a lo reportado en otros estudios realizados con estas especies

La especie que presentó mejor desarrollo, mayor crecimiento en altura y diámetro, en La Esperanza fue el carboncillo (*Acosmium panamense*) seguido del cocobolo (*Dalbergia retusa*).

El guachipelín (*Diphysa americana*) es muy sensible a la competencia con herbáceas ya que todos los tratamientos que reducen la competencia presentaron mejores resultados en todas las métricas. Además fue la especie con más daños producidos por vertebrados.

La leucaena (*Leucaena leucocephala*) fue la especie que mejor respondió a la fertilización y los tratamientos que presentaron un mayor aporte de nutrientes.

El carboncillo (*Acosmium panamense*) con tratamiento de hojas secas presentó sobrevivencias más altas que las reportadas en la bibliografía.

La fauna causó mayores daños durante el mes de enero, al inicio de la época seca y posterior a la limpia de maleza realizada.

La limpia realizada en enero causó una disminución en casi todas las métricas y aumento la mortalidad de todas las especies.

El aporte de lombricompost beneficia el crecimiento pero la cantidad y momentos de aplicación fueron insuficientes para conseguir un desarrollo similar al reportado en la bibliografía para estas especies. La forma de aplicación en el momento de la siembra no fue la correcta.

RECOMENDACIONES

Se recomienda reevaluar los siguientes aspectos de este proyecto:

Elección de especies: debe sustituirse el guachipelín porque el estado ecológico en el que se encuentra la Esperanza hace difícil su supervivencia y además presenta muchas amenazas de depredación difícilmente controlables, como conejos y venados, contando además con el problema de ser una especie muy apetecible para los garrobos. Podría sustituirse por otra o eliminarse para no gastar recursos y esfuerzo de forma innecesaria. Entre las especies que podrían utilizarse se ha encontrado durante la revisión de literatura para este trabajo que el cenízaro (*Samanea saman*) puede ser de gran interés, es considerada una de las especies forestales que fortalecen la estructura ecológica del bosque seco tropical y crece bien sin sombra (Prieto 2008).

Fertilizaciones: Debe realizarse un análisis de suelos y del lombricompost a utilizar, para poder calcular con más precisión la cantidad de fertilizante a utilizar. Una fertilización en el momento de la siembra con Lombricompost no es suficiente, se recomienda realizar al menos dos. La primera en el momento de la siembra, pero la aplicación del lombricompost debe realizarse en el fondo del hoyo antes de la colocación del plantón, para reducir su disponibilidad para las malas hierbas y reducir su lavado por las lluvias (Peralta-Antonio *et al.*, 2015; Díaz, 2002). La segunda aplicación debería hacerse entre un mes y dos antes de que inicie la época seca. Debería valorarse la factibilidad de realizar una tercera cuando comience la época de lluvias otra vez. Una buena fertilización es de especial importancia, en este área, para la Leucaena (*Leucaena leucocephala*).

Limpias de vegetación: Los pastos en Horizontes son muy agresivos por lo que deben limpiarse regularmente, además debe evitarse realizar las limpiezas durante los meses de la época seca o el mes anterior a que esta comience. Debido al estrés hídrico al que se expone a las plantas y que se trata del momento de máxima depredación del año (Janzen, 1981). Se recomienda realizar al menos tres limpiezas durante el primer año, una justo antes de la siembra, la segunda entre los 2 y los 4 meses después y finalmente unos 20 días después de la vuelta de las lluvias. Esto con el fin de reducir la competencia con herbáceas.

Monitoreos: se recomienda realizar un monitoreo exhaustivo unos siete días después de la siembra, con el objetivo de localizar amenazas de depredación propias del área a repoblar, como la presencia de garrobos que pongan en riesgo la plantación.

Uso de sarán protector: Si se utiliza sarán para reducir la competencia debe tenerse mucho cuidado que el agujero central sea lo suficientemente amplio para que el viento, al mover el plantón, no lo corte contra la tela de sarán. Se recomienda al menos 10 cm de diámetro.

Manejo de vivero: Debe asegurarse que el material a utilizar, plantones, este sano por ello se recomienda revisar el manejo realizado en vivero. Por un lado se tiene que evitar que árboles infestados por enfermedades y plagas sean plantados, ya que esto no solo pone en riesgo el trabajo realizado sino que además puede conllevar problemas con la regeneración natural. Por otro lado se recomienda investigar el uso de microorganismos eficientes que favorezcan la sobrevivencia y crecimiento de los árboles, por ejemplo *Glomus fasciculatum* ha sido utilizado para mejorar los rendimientos de siembras de *Leucaena leucocephala* en suelos pobres en fosforo con muy buenos resultados (Miyasaka y Habte, 2001). Varias universidades y centros públicos costarricenses están realizando investigaciones en el uso de microorganismos eficientes en Costa Rica, podrían realizarse alianzas con dichos centros.

Investigación: sería de gran utilidad recopilar información sobre las interrelaciones positivas con matorrales y árboles autóctonos en la regeneración forestal, los llamados árboles o matorrales nodriza (Paredes, 2010), en otros ecosistemas secos del mundo se ha encontrado que existen especies generalistas de nodrizas que benefician a un gran grupo de árboles (Zamora y Castro, 2001). Esta información permitiría tomar decisiones de manejo muy importantes sobre los matorrales y su manejo en futuras repoblaciones.

Debería plantearse estudiar el uso de estacas de gran tamaño, esto reduciría los gastos tanto económicos como logísticos, así como reduciría el impacto de la fauna silvestre. En el área existen gran número de maderos negros (*Gliricidia sepium*) y Indios desnudos (*Bursera simaruba*) utilizados como postes en algunas zonas de la valla perimetral, lo cuales han enraizado sin problemas. Ambas especies son consideradas muy resistentes a suelos pobres y compactados. Se trata de especies con tasas muy altas de producción de biomasa y muy resistentes a la poda, consideradas muy buenas opciones para la restauración ecológica de suelos (Zahawi 2008, Zahawi y Augspurger 2006, García-Orth 2002). Se recomienda investigar la siembra de varios ejemplares mediante estacas los cuales pueden ser podados durante los primeros meses de la época de lluvias, para aportar materia orgánica al suelo, y dejar que produzcan ramas los últimos meses de lluvia para que estas ofrezcan algo de sombra durante los meses más áridos del año.

LITERATURA CITADA

- Albizu, J. A. 2009. Modelo de manejo para plantaciones forestales con especies de alto valor económico en El Petén, Guatemala. Tesis de licenciatura en agronomía, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Alcántara, C., A. Jiménez, A. Balsera. 2007. Manejo ecológico de hierbas. Influencia sobre la producción de tomate y pimiento. *Phytoma* 194:44–48.
- Alfaro, E. A., A. Alvarado y A. Chaverri. 2001. Cambios edáficos asociados a tres etapas sucesionales de bosque tropical seco en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 25(1):7-19.
- Alfonso-Linares, C. A. 2004. Uso, Manejo y Conservación de los Suelos. Asociación Cubana de técnicos Agrícolas y Forestales Conill y Avenida de Independencia Piso 6 Nuevo Vedado, Plaza, La Habana, Cuba.
- Altieri, M. A. 1999. Agroecología, bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan-Comunidad, Montevideo, Uruguay.
- Amestoy, J. 2013. El planeta tierra en peligro (Calentamiento Global, Cambio Climático, Soluciones). Editorial Club Universitario. San Vicente, Alicante, España.
- Andrade-Cetto, A. y H. Wiedenfeld. 2004. Hypoglycemic effect of *Acosmium* panamense bark on Streptozotocin diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology* 90:217–220.
- Anzalone, A., A. Cirujeda, J. Aibar, G. Pardo y C. Zaragoza. 2010. Effect of biodegradable mulch materials on weed control in processing tomatoes. *Weed Technology* 24(3):369-3.
- Atiyeh, R.M., S. Subler, C.A. Edwards, G. Bachman, J.D. Metzger y W. Shuster. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44:579-590.
- Bacab, H. M., N. B. Madera, F. Solorio, F. Vera y D.F. Marrufo. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17:67-81.
- Barbazán, M., M. Ferrando y J.P. Zamalvide. 2002. Acumulación de materia seca y nitrógeno en gramíneas anuales invernales usadas como cobertura vegetal en viñedos. *Agrociencia* 6:10-19.
- Barrance, A., J. Beer, D.H. Boshier, J. Chamberlain, J. Cordero, G. Detlefsen, B. Finegan, G. Galloway, M. Gómez, J. Gordon, M. Hands, J. Hellin, C. Hughes, M. Ibrahim, D. Kass, R. Leakey, F. Mesén, M. Montero, C. Rivas, E. Somarriba, J. Stewart, y T. Pennington. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. J. Cordero, y D. Boshier (Eds.) CATIE. Turrialba, Costa Rica.

- Becerril, J. M., O. Barrutia, J.G. Plazaola, A. Hernández, J.M. Olano y C. Garbisu. 2007. Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Revista Ecosistemas* 16(2):50-55.
- Bitar, S. 2014. Las tendencias mundiales y el futuro de América Latina. Comisión Económica para América Latina (CEPAL). Santiago de Chile, Chile.
- Bradshaw, A. D. 1996. Underlying principles of restoration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53:3-9.
- Brady, S. 2001. The function of Guachipilin, *Diphysa robinoides*, in the Lenca landscape. *Journal Ethnobiology* 21:39-52.
- Castaño-Zapata, J. y L. del Río. 1994. Guía para el diagnóstico y control de enfermedades en cultivos de importancia económica. 3ra. Edición. Zamorano Academic Press, Zamorano, Honduras.
- Condit, R., R. Pérez y D. Daguerre. 2010. *Trees of Panama and Costa Rica*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, EE. UU.
- Dantas, M. S., L. C. Grangeiro, J. F. D. Medeiros, C. A. Cruz y A. Cunha. 2013. Yield and quality of watermelon grown under nonwoven textile protection combined with plastic mulching. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(8):824-829.
- De Araujo, J. L., Cunha y D. C. Moya. 2011. Bienestar animal en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 4:80-87.
- Bunch, R. 2004. Adopción de abonos verdes y cultivos de cobertura. *LEISA Revista de Agroecología* 19:11-13.
- Caamal-Maldonado, J. A., J. J. Jiménez-Osornio, A. Torres-Barragán y A. L. Anaya. 2001. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agronomy Journal*, 93(1):27-36.
- Calvo-Alvarado, J., B. McLennan, A. Sánchez-Azofeifa y T. Garvin. 2009. Deforestation and forest restoration in Guanacaste, Costa Rica: Putting conservation policies in context. *Forest Ecology and Management* 258:931-940.
- Cardona, A. M. A., C. V. Ardila y P.C. de Ulloa, P. 2012. Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana* 13:86.
- Casanova, E. 2005. *Introducción a la Ciencia del Suelo*. CDCH. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Ceccon, E. 2014. *Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. Ediciones Díaz de Santos. México.

- Celentano, D., R. A. Zahawi, B. Finegan, F. Casanoves, R. Ostertag, R.J. Cole y K.D. Holl. 2011. Restauración ecológica de bosques tropicales en Costa Rica: efecto de varios modelos en la producción, acumulación y descomposición de hojarasca. *Revista de Biología Tropical* 59:1323-1336.
- Chavarriga, E. y H. Ochoa. 1940. Apuntes sobre el Cultivo del Cacao. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 2(7):721-736.
- Chenhall, R. H. y K. Langfield-Smith. 1998. The relationship between strategic priorities, management techniques and management accounting: an empirical investigation using a systems approach. *Accounting, Organizations and Society* 23:243-264.
- CITES. 2010. Estado poblacional y comercio de *Cedrela odorata* L. y de *Dalbergia retusa* Hemsl. En Costa Rica. Disponible en la página web: <https://cites.org/common/com/pc/19/S19i-04.pdf>. Consultado el 23/03/2017.
- Clements, F.E., 1916. *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*. Carnegie Institute, Publication 242, Washington D.C, EE. UU.
- Clewell, A.F. y J. Aronson. 2007. *Ecological restoration. Principles, values and structure of an emerging profession*. Segunda edición. Island Press, Washington, DC, EE. UU.
- Connell, J. H., y R.O. Slatyer. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *Ecology* 73:1119-1144.
- Corrales, J. A. 2012. Determinación de ecuaciones de volumen y coeficiente mórfico para la especie *Dalbergia retusa*, en la zona de Parrita, Puntarenas, Costa Rica. Tesis. Tesis, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Díaz, E. 2002. *Guía de lombricultura. Lombricultura una alternativa de producción*. Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior Municipio Capital de la Rioja. Buenos Aires, Argentina.
- Di Stejano, J. F. y L. A. Fournier. 1999. Crecimiento de la parte aérea y radicular de plántulas de *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste). Ciudad Colon, Costa Rica
- Ewel, J. J. 1987. *Restoration is the ultimate test of ecological theory. Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research*, Cambridge University Press, New York, NY, EE. UU.
- Ferrari, A. E. y L. G. Wall. 2004. Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, Méjico*. 105(2):63-87.

- Francis, J. K. 2000. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb (Guanacaste). Departamento de Agricultura de los EE. UU, Servicio Forestal, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. Reporte técnico IITF-15. Río Piedras, Puerto Rico.
- Francis, J. K. y C. A. Lowe. 2000. Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. Departamento de Agricultura de los EE. UU, Servicio Forestal, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. Reporte técnico IITF-15. Río Piedras, Puerto Rico.
- Gallegos, L. 2005. Descripción y manejo de plagas y enfermedades en el árbolado urbano de la Comuna de la Reina. Memoria de Título. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- García, R. F. 2008. Evaluación de siete coberturas para el control de erosión de suelo en el cultivo de piña, bajo las condiciones de Montecristo, Departamento de Atlántida, Honduras. Tesis, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- García-Ferré, D., J. A. Hódar, L. Gómez, J. M. Gómez, E. Baraza, R. Zamora y J. Castro. 2001. El papel de los matorrales en la regeneración forestal. Una nueva técnica de reforestación para ambientes mediterráneos. *Quercus* 187:40-47.
- García-Orth, X. 2002. Efecto del ácido indolbutírico en la formación de callos y de raíces en estacas de *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. y *Omphalea oleífera* Hemsl., tres especies potencialmente útiles para restauración ecológica. Thesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F, México.
- Gerhardt, K. 1993. Tree seedling development in tropical dry abandoned pasture and secondary forest in Costa Rica. *Journal of vegetation science* 4(1):95-102.
- Gil, F. M. 2003. La restauración de la cubierta vegetal en zonas semiáridas en función del patrón espacial de los factores bióticos y abióticos. *Revista Ecosistemas*. 12:1-6.
- Gleason, H. A. 1927. Further views on the succession-concept. *Ecology* 8(3):299-326.
- González-Chávez, M. C. 2005. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. *Terra Latinoamericana* 23(1):29-37.
- Gordon, F., G. Baker y P. Opler. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* 62:881-919.

- Griscom, H. P. y M.S. Ashton. 2011. Restoration of dry tropical forests in Central America: a review of pattern and process. *Forest Ecology and Management* 261(10):1564-1579
- Gutiérrez-Leitón, M. 2010. Restauración de Bosques en el Área de Conservación Guanacaste, mediante la ejecución del Plan de Gestión Ambiental de la Empresa Propietaria de la Red S.A. Respecto al desarrollo del Proyecto SIEPAC. Fundación de Parques Nacionales, Área de Conservación Guanacaste, Estación Experimental Forestal Horizontes. Liberia. Guanacaste. Costa Rica.
- Gutiérrez-Leitón, M. 2013. II reporte anual de labores y resultados, período 2012: proyectos de restauración de bosques. CYMI-EPR. SIEPAC. Fundación de Parques Nacionales, Área de Conservación Guanacaste, Estación Experimental Forestal Horizontes. Liberia. Guanacaste. Costa Rica
- Harrington, D. P. y T. R. Fleming. 1982. A class of rank test procedures for censored survival data. *Biometrika* 69:553-566.
- Hernández- Rodríguez, O. A., D. L. Ojeda-Barríos, J. C. López-Díaz y A.M. Arras-Vota. 2010. Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Tecnociencia Chihuahua*. 4(1):1-6.
- Hilje, L., C. Araya, F. Scorz y M. Víquez. 1991. Plagas y enfermedades forestales en América Central: manual de consulta. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba. Costa Rica
- Holdridge, Leslie. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: IIAC. 216 p.
- Holdridge, L.R. y L.J. Poveda. 1975. *Árboles de Costa Rica. Volumen I*. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica.
- Holl, K.D. 2002. Tropical moist forest restoration, p. 539-558. In M.R. Perrow & A.J. Davy (eds.). *Handbook of ecological restoration*. Cambridge, Cambridge, Reino Unido.
- Honu, Y. A. K. y Q. L. Dang. 2000. Responses of tree seedlings to the removal of *Chromolaena odorata* Linn in a degraded forest in China. *Forest Ecology and Management* 137:75-82.
- Honu, Y. A. K. y Q. L. Dang. 2002. Spatial distribution and species composition of tree seeds and seedlings under the canopy of the shrub, *Chromolaena odorata* Linn., in Ghana. *Forest Ecology and Management* 164:185–196.
- Horn, H. S. 1976. Succession, in "Theoretical Ecology: Principles and Applications" (R. . May, Ed.), pp. 187-204, Saunders, Philadelphia. EE. UU.
- Hughes, C. E. y J. L. Stewart. 1990. *Enterolobium cyclocarpum*: árbol de sombra y alimento en pasturas. *Panorama General de los Árboles Fijadores de Nitrógeno*. Waimanalo, Hawaii, EEUU. 2:90-95

- Hunter, J. R. 1989. Seed dispersal and germination of *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (Leguminosae: Mimosoideae): Are megafauna necessary?. *Journal of Biogeography* 16:369-378.
- Jiménez, Q. 1999. Árboles maderables en peligro de extinción en Costa Rica. II edición. INBio. Heredia, Costa Rica.
- Jiménez, M.Q., R.F. Rojas, Ch.V. Rojas y S.L. Rodríguez. 2002. Árboles maderables de Costa Rica. *Ecología y Silvicultura*. INBio. 1 ed. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.
- Janzen, D. H. 1981. Patterns of herbivory in a tropical deciduous forest. *Biotropica* 13: 271- 282
- Janzen, D. H. 1982. Seeds in tapir dung in Santa Rosa National Park, Costa Rica. Semillas en la boñiga de danta en el Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica. *Brenesia* 19/20:129-135.
- Janzen, D. 1988. Tropical Dry Forest: The most threatened major tropical ecosystem. Pp: 130-137. En: Wilson, E.O. y F.M. Peters. *Biodiversity*. National Academy Press, Washington. EE. UU.
- Janzen, D. H. 1988. Management of habitat fragments in a tropical dry forest: growth. *Annals of the Missouri botanical garden* 75:105-116.
- Janzen, D. H. 1986. Guanacaste National Park: Tropical ecological and cultural restoration. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. 104 p.
- Lamb, D., P.D. Erskine y J.A. Parrotta. 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science* 310:1628-1632.
- Lamb, D. y D. Gilmour. 2003. Rehabilitation and restoration of degraded forests. IUCN, Gland, Switzerland.
- Lindenmayer, D.B. y J.F. Franklin. 2002. *Conserving forest biodiversity: a comprehensive multiscaled approach*. Island Press. Washington D.C, EE.UU.
- Linkies, M. G. 2011. La importancia de las personas en la preservación de la naturaleza. *Revista Ingenierías USBmed*, 2(1):5.
- Macías, F. 2004. Recuperación de suelos degradados, reutilización de residuos y secuestro de Carbono. Una alternativa integral de mejora de la calidad ambiental. *Recursos Rurais* 1:49-56.
- Maestre, F. T., S. Bautista, J. Cortina, C. Bladé, J. Bellot y R. Vallejo. 2003. Bases ecológicas para la restauración de los espartales semiáridos degradados. *Ecosistemas*, 12:1-12.
- MAG, 2010. *Guía técnica para la difusión de tecnologías de producción agropecuaria sostenible*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José. Costa Rica. 180p.

- Mansourian, S., D. Vallauri y N. Dudley. 2005. Forest restoration in landscapes: beyond planting trees. Editorial Springer Science-WWF. New York, EE.UU.
- Marod, D., U. Kutintara, H. Tanaka, y T. Nakashizuka. 2004. Effects of drought and fire on seedling survival and growth under contrasting light conditions in a seasonal tropical forest. *Journal of Vegetation Science* 15:691–700.
- Martínez, R.E. 1996. La restauración ecológica. *Ciencias*. Mexico. 43:56-61.
- Martínez-García, L. B. 2011. Micorrizas arbusculares en ecosistemas semiáridos. Respuesta a factores de estrés ambiental. *Ecosistemas*, 20(2):117-120.
- Medina, M. G, D. E García, T. Clavero y J. M. Iglesias. 2007. Estudio comparativo de *Moringa olerifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical* 25:83-93.
- Meli, P. 2003. Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *Interciencia* 28:581-589.
- Meza, A. S. 2013. Monitoreo fenológico de árboles semilleros de diez especies forestales nativas del bosque seco tropical, estación experimental forestal horizontes, área de conservación Guanacaste, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Miles, L., A. C. Newton, R. S. DeFries, C. Ravillious, I. May, S. Blyth, V. Kapos y J. E. Gordon. 2006. A Global Overview of the conservation Status of Tropical Dry Forests. *Journal of Biogeography* 33:491-505.
- MINAE, 2002. El éxito forestal de Costa Rica: en cinco casos. Ministerio del Ambiente y Energía, San José, Costa Rica, 60 pp
- Miyasaka, S. C. y M. Habte. 2001. Plant mechanisms and mycorrhizal symbioses to increase phosphorus uptake efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32:1101-1147.
- Moline A. 1999. Tropical dry forest restoration in the Guanacaste Conservation Area, Costa Rica. *Restoration and Reclamation Review* 4(4):1-7.
- Montero, M. 1995. Guachipelín: *Diphysa americana* (Mill) M. Sousa. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Montagnini, F., K. Ramstad y F. Sancho. 1993. Litterfall, litter decomposition and the use of mulch of four indigenous tree species in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 23(1):39-61.
- Montagnini, F., F. Sancho, E. González, C. Porras, A. Moulaert, y A. Mónaco. 1997. Plantaciones forestales puras y mixtas con especies nativas para la reforestación de terrenos degradados en Costa Rica: estudio comparativo del crecimiento, daño por plagas, regeneración natural y costos de establecimiento. *Biocenosis* 12:25-34.

- Myers, N. 1984 *The primary source: Tropical forest and our future*. Norton. Nueva York, EEUU.
- Navarro, S. y G. Navarro. 2000. *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 488 pp
- Nepstad, D., C. Uhl, C.A. Pereira y J.M.C. da Silva. 1996. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos* 76:25-39.
- Newton, A.C., M. Stirling y M. Crowell. 2001. Current approaches to native woodland restoration in Scotland. *Botanical Journal of Scotland* 53:169-196.
- Newton, A.C. 2007. *Forest ecology and conservation. A handbook of techniques*. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.
- Newton, A.C. y N. Tejedor. 2011. *Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: Estudios de caso en las zonas secas de América Latina*. UICN, Gland, Suiza y Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas (FIRE), Madrid, España.
- Nogales, R., C. Cifuentes y E. Benítez. 2005. Vermicomposting of winery wastes: a laboratory study. *J. Environ. Sci. Heal.* 40(4):659–667.
- Olson, D.M., E. Dinerstein, E.D. Wikramanayake, N.D. Burgess, G.V.N. Powell, E.C. Underwood, J.A. D'amico, I. Itoua, H.E. Strand, J.C. Morrison, C.J. Loucks, T.F. Allnutt, T.H. Ricketts, Y. Kura, J.F. Lamoreux, W.W. Wettengel, P. Hedao, K.R. Kassem. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on earth. *BioScience* 51:933–938.
- Palacios-Wassenaar, O., G. Castillo-Campos y S. M. Vázquez-Torres. 2014. Flora vascular de la selva mediana subcaducifolia del centro de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:125-142.
- Paredes, A. 2010. *Identificación y distribución poblacional de las plantas nodrizas asociadas a Coryphantha Glassii Dicht & A. Lüthy en el sureste de Rioverde, S. L. P.* Tesis. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México.
- Parrotta, J. A. 2000. *Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit. Leucaena, tantan. Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales*. General Technical Report IITF-115. 308-316. USDA Forest Service International Institute of Tropical Forestry, Rio Piedras, Puerto Rico.
- Peralta-Antonio, N., A. E. Becerril-Román, A. Rebolledo-Martínez, y D. Jaén-Contreras. 2015. Estado nutricional foliar de tres cultivares de mango fertilizados con abonos orgánicos. *Idesia* 33:65-72.

- Peralta Antonio, N. 2013. Respuesta de tres cultivares de mango *Mangifera indica* L. a la aplicación de fertilizantes orgánicos. Tesis, universidad de Montecillo, Texcoco, Méjico.
- Piotto, D., E. Víquez, F. Montagnini y M. Kanninen. 2004. Pure and mixed forest plantations with native species of the dry tropics of Costa Rica: a comparison of growth and productivity. *Forest Ecology and Management* 190:359-372.
- Peláez, J. D., M. I. Hernández, y J. F. Lancho. 2009. Retranslocación y eficiencia en el uso de nutrientes en bosques del centro de Antioquia. *Revista Colombia Forestal* 12:119-140.
- Pietrzykowski, E., C. McArthur, H. Fitzgerald y A. N. Goodwin. 2003. Influence of patch characteristics on browsing of tree seedlings by mammalian herbivores. *Journal of Applied Ecology* 40:458-469.
- Prach, K., R. Marris, P. Pysek & R. van Diggelen. 2007. Manipulation of succession, p. 121-149. In L.R. Walker, J. Walker & R.J. Hobbs (eds.). *Linking restoration and ecological succession*. Springer, Nueva York, EEUU.
- Prieto, L. F. 2008. Árboles para Ibagué: Especies que fortalecen la Estructura Ecológica Principal. *Nodo* 3:71-84.
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reiche, C., D. Current, M. Gómez y T. Mckenzie 1991. Costos del cultivo de árboles de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Rey, J. M., R. Bullock y A. C. Newton. 2008. Creación de islotes forestales para reconciliar restauración ecológica, conservación y uso agrícola. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias* 28:277-282.
- Rojas-Jimenez, K. y M. V. Gutiérrez. 2011. *Enterolobium cyclocarpum*. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 8:20-40.
- Saavedra Viciano, J. M., S. P. Pérez y G. S. Peña. 2005. El cambio climático y la contabilización de los bosques como sumidero de carbono. *Foresta* 32:42-45.
- Salazar, R., W. Picado y L. Ugalde. 1987. Comportamiento de *Leucaena* en Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 115:1-42.
- Sánchez, S., M. Hernández y F. Ruz. 2011. Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. *Pastos y Forrajes* 34:375-392.
- Sánchez-Azofeifa, A.G., J.C. Calvo-Alvarado, M.M. Chong, M. Castillo, W. Jiménez. 2006. Estudio de cambios de cobertura forestal de Costa Rica 2000–2005. Alberta University, Instituto Tecnológico de Costa Rica, San José, Costa Rica.

- Savogal, C., A. Castillo, F. Carrera y A. Castañeda. 2001. Aprovechamiento forestal mejorado en bosques de producción: Estudio de caso Los Filos, Río San Juan, Nicaragua. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Schrautzer, J., A. Rinker, K. Jensen, F. Muller, P. Schwartz & C. DierBen. 2007. Succession and restoration of drained fens: perspectives from northwestern Europe, p.90-120. In L.R. Walker, J. Walker & R.J. Hobbs (eds.). Linking restoration and ecological succession. Springer, Nueva York, EEUU.
- SER (2002) The Primer on Ecological Restoration. Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group.
- Shepherd G. 2006. El Enfoque Ecosistémico: cinco pasos para su implementación. UICN. Reino Unido.
- Tapia, E., F. Reyes, K. Vindell y B. Hernández. 2010. Tratamiento silvicultural, monitoreo y repoblación con iguana (*Iguana iguana*) en bosque de galería de la unidad productiva hacienda las mercedes, Universidad Nacional Agraria. La Calera 9:21-27.
- Therneau, T. 2015. A Package for Survival Analysis in S. versión 2.38, <URL: <http://CRAN.R-project.org/package=survival>>.
- Tilki, F. y R. F. Fisher. 1998. Tropical leguminous species for acid soils: studies on plant form and growth in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 108:175-192.
- Tres, D. R. y A. Reis. 2007. La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje. In II Simposio Internacional sobre restauración ecológica. Cargill, Sao Paulo, Brasil.
- Uhl, C., R. Buschbacher & E.A.S. Serrao. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. Patterns of plant succession. *J. Ecol.* 75:663-681.
- Walker, B. y D. Salt. 2006. Resilience thinking . Sustaining ecosystems and people in a changing world. Island Press. Washington D. C., EE. UU.
- Watt, A. S. 1947. Pattern and process in the plant community. *Journal of ecology* 35:1-22.
- Whitmore, T.C. 1997. Tropical forest disturbance, disappearance, and species loss . The University of Chicago, Illinois, EEUU.
- Whittaker RH. 1975. *Communities and ecosystems*. 2nd ed. MacMillan, New York, EE. UU.
- Wickham, H. 2009. *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. Springer, New York, EE. UU.
- Van-Andel, J. y J. Aronson. 2006. *Restoration ecology: the new frontier*. Blackwell Science. Oxford. Oxfordshire, Inglaterra.

- Vieira D. L. y Scariot, A. 2006. Principles of natural regeneration of tropical dry forest for restoration. En: *Restoration Ecology* 14(1):11-20.
- Wightman, K., T. Shear, B. Goldfarb, y J. Haggard. 2001. Nursery and field establishment techniques to improve seedling growth of three Costa Rican hardwoods. *New Forests* 22(1):75-96.
- Zamora, R. (2002). La restauración ecológica: una asignatura pendiente. *Revista ecosistemas*, 11(1).
- Zamora, N., J. González y L. J. Poveda. 1999. Árboles y Arbustos del Bosque Seco de Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad, Costa Rica.
- Zamora, R., L. Gómez, J. Castro y J. A. Hód. 2001. Los matorrales facilitan la supervivencia de los brinzales en el monte mediterráneo: evaluación de una nueva técnica e repoblación forestal. III Congreso Forestal Español, Granada, España.
- Zahawi, R.A. 2008. Instant trees: using giant vegetative stakes in tropical forest restoration. *Forest Ecology and Management* 255:3013-3016.
- Zahawi, R.A., y C.K. Augspurger. 2006. Tropical forest restoration: tree islands as recruitment foci in degraded lands of Honduras. *Ecological Applications* 16:464-478.
- Zribi, W., J.M. Faci y R. Aragüés. 2011. Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *Información técnica económica agraria*, 107(2):148-162.
- Zribi, W., R. Aragüés, E. Medina y J. M. Faci. 2015. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. *Soil Tillage*, 148:40–45.

Comunicaciones personales:

- Comunicación personal con Ronald Castro Miranda, asistente del proyecto, Estación Experimental Forestal Horizontes. 2013. Guanacaste, Costa Rica.

ANEXOS

ANEXO 1

Ficha Técnica del Cocobolo (Albizu, 2009): *Dalbergia retusa*

1. SINONIMIA

- Botánica: *Dalbergia hypoleuca*, *Dalbergia lineate*, *Pittiergia retusa*, *Dalbergia retusa* var. *hypoleuca*.
- Nombre vulgar internacional: Cocobolo, cocobolo prieto, funera, granadillo, granadillo negro, ñambar, palo negro, rosul

2. DISTRIBUCIÓN NATURAL

- Latitudinal: Tierras bajas del trópico y subtropico americano.
- Países: Se extiende desde Belice, pasando por toda América Central hasta Ecuador y las Guayanas. También está presente en las Antillas
- Altitudinal: De 0 a 800 msnm
- Requerimientos climáticos: Esta especie se adapta bien a precipitaciones de 1900 a 3500 mm y a una temperatura media de 20 a 35 °C
- Suelos: Se adapta bien a suelos ácidos no muy húmedos, arcillosos y con un pH ácido

3. EXPERIENCIAS A NIVEL DE PLANTACIONES

- Espaciamiento: Se recomienda un distanciamiento de 3 x 3, 3 x 4 y 4 x 5 m
- Crecimiento: Es de crecimiento lento, 1.2 a 1.4 m por año
- Rendimiento: El rendimiento esperado a los 18 años es de 0.8m³/árbol

4. USOS DE LA ESPECIE

Madera fina usada para artesanías y ebanistería, para la elaboración de artículos deportivos, instrumentos científicos, joyeros y bastones

ANEXO 2

Ficha Técnica de la Leucaena (Medina et al., 2007; Araujo, 2011): *Leucaena leucocephala*

1. SINONIMIA

- Botánica: Acacia glauca Willd., Acacia leucocephala (Lam.) L, Leucaena blancii Ramírez Goyena, Leucaena glabrata Rose y Leucaena glauca Benth.
- Nombre vulgar internacional: Peladera, liliaque, huaje o guaje

2. DISTRIBUCIÓN NATURAL

- Latitudinal: Trópico húmedo, Trópico subhúmedo, Tropical seco, Arida y semiárida..
- Países: Se extiende desde México a Belice, pasando por toda América Central hasta Costa Rica. r. Los españoles la llevaron a Filipinas y desde ahí fue introducida a Indonesia, Malasia, Papua Nueva Guinea y sureste de Asia. Naturalizada pantropical.
- Altitudinal: De 0 a 900 msnm.
- Requerimientos climáticos: Esta especie se adapta bien a precipitaciones de 350 mm/año hasta húmedos con 2,300 mm/año y temperatura media anual de 22 a 30 °C.
- Suelos: Crece en una amplia variedad de suelos, desde neutros, hasta alcalinos, siempre y cuando sean suelos bien drenados, no compactados ni ácidos. Los mejores resultados se obtienen en suelos con pH de 6.5 a 7.5. Suelos inferiores a 5.5 pH no son recomendables

3. EXPERIENCIAS A NIVEL DE PLANTACIONES

- Espaciamiento: El espaciamiento de la plantación varía según el objetivo de la misma; para leña y varas (tutor) se planta a 2 x 2 m. Para forraje se debe plantar a 0.5 x 0.5 m ó 0.5 x 1 m.
- Crecimiento: Especie de rápido crecimiento.
- Rendimiento: Longevidad de 50 años. Muestra un incremento medio anual de 2.8 m en altura y 2.4 cm en diámetro. El crecimiento es lento en las primeras etapas de desarrollo de la planta y en sitios donde no hay estación seca bien definida y la precipitación es mayor a 2,500 mm.

4. USOS DE LA ESPECIE

Aceites esenciales aromáticos. Las semillas se utilizan como piezas de joyería en la India. Suministro de colorantes textiles. Leña y carbón de excelente calidad. Los frutos son muy apreciados por su alto contenido en vitamina A y proteínas (46%). Las semillas maduras son empleadas como sustituto de café. Construcción rural (ligera). Forraje para rumiantes. Las hojas constituyen un excelente forraje. Pulpa para papel.

ANEXO 3

Ficha Técnica del Guanacaste (Francis, 1988; Rojas-Jimenez y Gutiérrez, 2011): *Enterolobium cyclocarpum*

1. SINONIMIA

- Botánica: *Albizia longipes* Britton & Killip; *Feuilleea cyclocarpa* (Jacq.) Kuntze; *Inga cyclocarpa* (Jacq.) Willd.; *Mimosa cyclocarpum* (Jack).; *Mimosa cyclocarpa* Jacq.; *Mimosa parota* Sessé & Moc.; *Pithecellobium cyclocarpum* (Jacq.) Mart. y *Prosopis dubia* Kunth.
- Nombre vulgar internacional: Guanacaste, oreja de elefante, Huanacaxtle y corotú

2. DISTRIBUCIÓN NATURAL

- Latitudinal: Tierras bajas del trópico y subtropico americano.
- Países: Se extiende desde el oeste y sur de México a través de Centroamérica hasta el norte de Sudamérica. También se le encuentra en Jamaica, Cuba, Trinidad y Guyana.
- Altitudinal: debajo de los 900 msnm hasta elevaciones de 1,100 msnm.
- Requerimientos climáticos: Esta especie se adapta bien a precipitaciones de 750 a 2000 mm. La distribución natural se encuentra en el intervalo de 23 a 28 °C.
- Suelos: El Guanacaste tolera los suelos alcalinos y calcáreos. Los suelos profundos de una textura mediana son probablemente los mejores, pero los Ultisoles erosionados, las arcillas profundas y las arcillas arenosas poco profundas permiten también un buen desarrollo. El Guanacaste no parece tolerar los suelos pobremente drenados.

3. EXPERIENCIAS A NIVEL DE PLANTACIONES

- Espaciamiento: Se recomienda un distanciamiento de 3 x 3, 3 x 4 y 4 x 5 m
- Crecimiento: Unas pocas pruebas han resultado en una información mínima sobre la especie en las plantaciones. En Costa Rica, las parcelas de 7.5 a 8 años de edad tuvieron unas alturas de 11 a 16 m y unos DAP de 8 a 11 cm
- Rendimiento: A pesar de que el Guanacaste es común y tiene una amplia distribución, no existe información disponible sobre su tasa de crecimiento en los rodales naturales. Tiene sin embargo la reputación de crecer rápidamente.

4. USOS DE LA ESPECIE

Madera: La albura del Guanacaste es blanca y se distingue fácilmente del duramen de color de marrón a marrón rojizo. Madera aserrada, chapa y triplay, paneles, carretas, ruedas, carpintería y ebanistería, fabricación de canoas y embarcaciones ligeras, muebles, acabados de interiores, duelas. Algunas personas son alérgicas al polvo de la madera, el cual tiene un olor desagradable y algo picante

Hojas y frutos: El uso principal es la de sombra para el ganado en los pastizales. La especie es también útil para los ganaderos ya que el ganado vacuno, los caballos y las cabras se alimentan de las vainas y, hasta cierto punto, de las flores y las hojas.

ANEXO 4

Ficha Técnica del Guachipelín (Brady, 2001; Barrantce et al., 2003): *Diphysa americana*

1. SINONIMIA

- Botánica: *Colutea americana* Mill; *Diphysa carthaginensis* Benth. & Oerst; *Diphysa robinoides* Benth. & Oerst.
- Nombre vulgar internacional: Guachipeín, Guachipali, Macano, cacique y palo amarillo.

2. DISTRIBUCIÓN NATURAL

- Latitudinal: Climas secos y húmedos de zonas calientes del trópico y subtropico americano.
- Países: De México hasta Panamá.
- Altitudinal: De 0 – 1500 msnm.
- Requerimientos climáticos: Esta especie se adapta bien a precipitaciones de 1,000 a 2,500 mm anuales. La distribución del Guachipeín se encuentra en el intervalo de 22 – 26 ° C.
- Suelos: No es muy exigente con los suelos. Prefiere bosques húmedos y crece bien en laderas de zonas bajas. Ha sido encontrado principalmente en suelos del tipo feozem, este tipo de suelo se caracteriza por tener abundante materia orgánica y nutrientes, tiene un pH de ligeramente alcalino a ligeramente ácido, con textura de migajón arenoso y arcilloso.

3. EXPERIENCIAS A NIVEL DE PLANTACIONES

- Espaciamiento: Se recomienda un distanciamiento de 3 x 3 m.
- Crecimiento: Se considera una planta de crecimiento muy rápido, en vivero puede alcanzar más de 40 cm en 3 meses. No se cuenta con información de crecimiento en campo.
- Rendimiento: Para producción maderera se ha registrado un incremento medio anual en altura de 1,0 m a 2,2 m y 2,0 cm de diámetro. Se recomienda un turno para la especie de 20 a 30 años..

4. USOS DE LA ESPECIE

Su principal producto es la madera que se utiliza localmente para leña y para un sinfín más de utilidades. En algunos lugares se cultiva como árbol ornamental, cerca de casas, parques y jardines por la belleza de sus flores amarillas. También es utilizado en algunos cultivos que requieren sobra, como café o cacao. Presenta importancia en la ganadería como forrajera, por su capacidad para fijar nitrógeno.

ANEXO 5

Ficha Técnica del Carboncillo (Holdridge y Poveda, 1975; Savogal et al., 2001; Barrance et al., 2003): *Acosmium panamense*

1. SINONIMIA

- Botánica: *Sweetia panamensis Benth; Dalbergia laevigata Standl.*;
- Nombre vulgar internacional: Guayacan, Yacti, Bálsamo oloroso, corteza de Honduras, Chacté.

2. DISTRIBUCIÓN NATURAL

- Latitudinal: Climas secos y húmedos de zonas calientes del trópico y subtropico americano.
- Países: Su distribución natural es desde el sur de México y Belice a través de toda América Central hasta Venezuela y Colombia.
- Altitudinal: Se ha encontrado esta especie de modo natural desde los cero metros hasta los 1750 msnm
- Requerimientos climáticos: Esta especie se adapta bien a precipitaciones de 1,000 a 2,500 mm anuales. Temperatura media anual de 26°C con temperatura máxima de 36.7°C y mínima de 14.9°C. La precipitación promedio anual es de aproximadamente 1288 mm, con una fluctuación entre 900 y 1800 mm.
- Suelos: No es muy exigente con los suelos. Prefiere crece en suelos calcáreos y rocosos, de textura franco arenosa.

3. EXPERIENCIAS A NIVEL DE PLANTACIONES

- Espaciamiento: Se recomienda un distanciamiento de 3 x 3 m. también se ha probado 2 x 2 m o 6 x 6 m.
- Crecimiento: En general es una especie que muestra un crecimiento lento..
- Rendimiento: Una plantación de 31 años de edad en Lancetilla, Honduras, establecida a 6x6 m, registró un DAP promedio de 22.9 cm y una altura promedio de 21.6 m, para un IMA de 0.74 cm en DAP y 0.7 m en altura. Debido a su lento crecimiento, la especie fue considerada inapropiada para plantaciones puras por motivos económicos.

4. USOS DE LA ESPECIE

A pesar de que su madera es valiosa, su lento crecimiento dificulta su establecimiento en plantaciones, ya que comparativamente no sería rentable comparada con otras especies con madera de similar valor y crecimiento más rápido. Sin embargo, las oportunidades son para su aprovechamiento, conservación y manejo en bosque natural.

ANEXO 6

Descripción del manejo realizado por la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH) en la repoblación la Esperanza en el periodo 2013 2014:

El sector de la esperanza cuenta con una cerca perimetral de tres hilos de alambre espinoso, la cual es revisada y reparada antes de la siembra o cuando se observa algún daño en ella.

El suelo fue preparado con un subsolador a unos 40-50 cm de profundidad dos meses antes de la siembra. El personal de la estación realizó una limpia de maleza 15 días antes de la siembra, esta consistió en la realización de un círculo de 1 m de radio en el lugar donde sería ubicado el árbol. El mismo día que se realizó la limpia se procedió a realizar un cortafuegos de 2 m junto a la cerca perimetral, por la parte interior de esta.

Los plántones fueron trasladados el mismo día de la siembra al área en el remolque de un chapulín, por el personal de la estación. El día de la siembra se realizaron agujeros con la ayuda de un palín forestal, el marco de plantación utilizado fue de 3x3 metros. El hollado consistió en un agujero del mismo tamaño del terrón de la planta, de 25 a 30 cm. Una vez realizados los agujeros, los plántones fueron distribuidos de una manera aleatoria. Después de plantar los árboles se procedió a aplicar lombricompost sobre la superficie del suelo que rodea al plánton. Se aplicó un puñado de Lombricompost por plánton con un promedio de 72.4 g (DE \pm 14.5 g) para un N=10 puñados medidos, 5 por cada persona encargada de la fertilización.

Se realizó una segunda limpia de la vegetación circundante del 10 al 15 de enero. Consistió en la corta mediante machete de la vegetación presente en las filas con orientación norte-sur, fue de una anchura de un metro, quedando los árboles en el centro de dicho carril.

Consideraciones sobre el manejo realizado por la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH):

El marco de plantación utilizado por la estación, de 3x3 metros, es uno de los más utilizados en la bibliografía para estas especies (Rojas-Jimenez y Gutiérrez, 2011; Albizu, 2009; Barrance et al., 2003; Savogal et al., 2001; Francis, 1988) con excepción de la *Leucaena leucocephala* (Medina et al., 2007; Araujo, 2011). Pero se trata de un marco de plantación cuyo objetivo es la producción de madera para corta. Como uno de los objetivos iniciales de esta repoblación es la formación rápida de sombra, que suprima el desarrollo de gramíneas, para este fin se suelen utilizar marcos de plantación más

densos, de 2x2 m o de 0.5x1 m, han sido utilizados para este fin (Araujo, 2011; MAG, 2010; Lamb et al., 2005) pero esto aumenta mucho los costes tanto humanos como materiales (Lamb y Gilmour, 2003), por lo que deberá ser valorado por la estación.

La aplicación del fertilizante en superficie, lo deja expuesto a la lluvia y al lavado de nutrientes, así como permite que esté disponible para la mayoría de herbáceas (MAG, 2010) esto reduce su eficiencia y aumenta la cantidad necesaria para nutrir correctamente a la planta. La cantidad utilizada fue muy baja, comparada con otros trabajos realizados con lombricompost, pero esto se ha discutido específicamente en el apartado de utilización de lombricompost de este trabajo.

La realización de únicamente dos limpiezas es muy poco para el estado en que se encuentra La Esperanza ya que se recomiendan de 6 a 7 limpiezas por año (Gutiérrez-Leitón, 2010) en el apartado de esta tesis de distancia a la vegetación circundante se amplió y discutió este tema. La orientación utilizada a la hora de realizar la limpieza fue la correcta para conseguir el mejor sombreado de los plantones en la franja solar costarricense (Chavarriaga y Ochoa, 1940)