

**Subsecretaría de Educación Superior  
Dirección General de Educación Superior Tecnológica  
Instituto Tecnológico de la Zona Maya**

“Crecimiento de *Leucaena leucocephala* asociada con *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* en condiciones semi-controladas”

**Informe Técnico Residencia Profesional**

**Que presenta el C.**

Joel Aldava Navarro

N° de Control

10870006

Carrera: Ingeniería en Agronomía

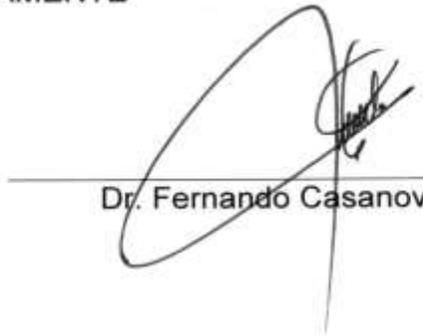
Asesor interno: Dr. Fernando Casanova Lugo

## INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA

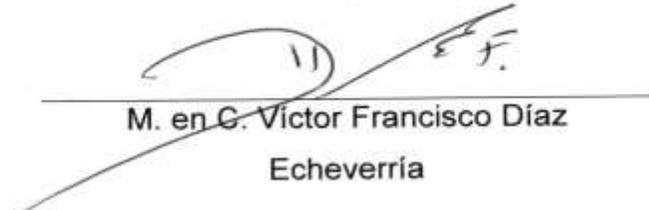
El comité de revisión para Residencia Profesional del estudiante de la carrera de INGENIERIA EN AGRONOMIA Joel Aldava Navarro: aprobado por la Academia del Instituto Tecnológico de la Zona Maya integrado por; el asesor interno Dr. Fernando Casanova Lugo, el asesor externo M. en C. Víctor Francisco Díaz Echeverría, habiéndose reunido a fin de evaluar el trabajo titulado “**Crecimiento de *Leucaena leucocephala* asociada con *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* en condiciones semi-controladas**”. Que presenta como requisito parcial para acreditar la asignatura de Residencia Profesional de acuerdo al lineamiento vigente para este plan de estudios, dan fe de la acreditación satisfactoria del mismo y firman de conformidad.

ATENTAMENTE

Asesor interno:

  
Dr. Fernando Casanova Lugo

Asesor externo:

  
M. en C. Víctor Francisco Díaz  
Echeverría

Juan Saravia Quintana Roo, Diciembre de 2014

## RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una forma de uso de la tierra en donde los árboles y arbustos interactúan con pastos y animales, con la finalidad de diversificar y optimizar la producción de manera sostenida. Sin embargo, estos sistemas tienen limitantes originados por una combinación inadecuada de las diferentes especies (árbol-gramínea), lo que resulta en competencia entre ellas. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento de *Leucaena leucocephala*, asociado a diferentes pastos tropicales (*Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha*) en condiciones semi-controladas. Las semillas de *L. leucocephala*, *B. brizantha*, *P. máximo* fueron obtenidas de plantaciones cercanas de esta especie. Las especies evaluadas en condiciones *in vitro* presentaron una buena germinación promedio que estuvo por encima del 80%. Previo al trasplanta a las unidades experimentales (fase de vivero), las plántulas alcanzaron alturas se encuentran en un rango que va de 30 a 60 cm, 4 a 5 cm de diámetro de tallo y entre 8 y 14 hojas por planta. En el periodo de evaluación (posterior al trasplante), la altura promedio a 30, 60 y 90 días de evaluación fue de 0.93, 1.34, y 1.66 m; la altura promedio de 7.19, 12.78 mm, y de 17.10 mm; el número de hojas promedio fue de 26, 62, y de 102; el número de ramas fue de 0.17, 8.41, y de 11.65, respectivamente. Para *P. maximum* la altura promedio a los 60 y 90 días de evaluación fue de 10.56 cm y de 19.26 cm; el diámetro promedio de 1.97 mm y 3.88 mm; el número de hojas de 3.3 y de 4.7. En el caso de *B. brizantha* la altura promedio a los 60 y 90 días de evaluación fue de 9.78 cm y de 28.4 cm; el diámetro promedio fue de 2.68 mm y 3.84 mm; y el número de hojas de 3.48 y 5.11. Se concluye que el crecimiento de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham no fue afectada por los pastos asociados. Sólo el pasto *Brachiaria brizantha* mostró una respuesta deletérea al ser asociada, a diferencia de *Panicum maximum* cv. Tanzania.

**Palabras clave:** competencia, forrajes tropicales, interacciones, sistemas silvopastoriles

## ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo general .....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
III. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Los sistemas silvopastoriles.....	4
3.2. Interacciones entre componentes en SSP .....	5
3.2.1. Factores espaciales .....	7
3.2.2. Factores temporales .....	8
3.3. Interacciones aéreas (biomasa foliar) .....	10
3.4. Descripción de las especies.....	12
IV.METODOLOGÍA .....	18
4.1. Lugar de estudio .....	18
4.2. Sitio experimental.....	19
4.3. Material vegetal.....	19
4.4. Diseño del experimento .....	19
4.5. Variables de respuesta .....	21
4.6. Análisis estadístico.....	21
V. RESULTADOS.....	22
5.1. Viabilidad de las semillas (germinación) .....	22
5.2. Crecimiento de Leucaena previo al trasplante (en vivero) .....	22
5.3. Crecimiento de Leucaena posterior al trasplante (contenedores).....	24
VI. CONCLUSIONES .....	31
VII. APORTE AL PERFIL PROFESIONAL.....	32
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
IX. ANEXOS .....	37

## ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1.** Altura total (m) de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones con pastos tropicales en condiciones semi-controladas..... 25
- Cuadro 2.** Diámetro del tallo (mm) de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones con pastos tropicales en condiciones semi-controladas..... 25
- Cuadro 3.** El número de hojas de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones con pastos tropicales en condiciones semi-controladas..... 26
- Cuadro 4.** El número de hojas de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones con pastos tropicales en condiciones semi-controladas..... 27
- Cuadro 5.** Altura total (cm) de *P. maximum* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas.. 27
- Cuadro 6.** El diámetro (mm) de *P. maximum* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas.. 28
- Cuadro 7.** El número de hojas de *P. maximum* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas.. 28
- Cuadro 8.** Altura total (cm) de *B. brizantha* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas.. 29

**Cuadro 9.** El diámetro (mm) de *B. brizantha* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas.. 29

**Cuadro 10.** El número de hojas de *P. maximum* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas..... 30

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Representación morfológica de la leguminosa *L. leucocephala* cv. Cunningham. **a)** Semilla de Leucaena, **b)** vainas de la planta, **c)** desarrollo de la flor, **d)** rebrotes de ramas, hojas y flores. .... 14
- Figura 2.** Representación morfológica del pasto *P. maximum* cv. Tanzania. **a)** Macollo del pasto Tanzania, **b)** densidad del pasto, tallos del pasto y hojas. .... 16
- Figura 3.** Representación morfológica del pasto *Brachiaria brizantha*. Cv *brizantha* **a)** Macollo del pasto brizantha, **b)** densidad del pasto, tallo del pasto y hojas. .... 17
- Figura 4.** Representación esquemática del lugar de estudio. .... 18
- Figura 5.** Distribución de los contenedores en el sitio experimental para el estudio de las interacciones aéreas entre *Leucaena eucocephala*, *Panicum maximum* y *Bachiaria brizantha*. .... 20
- Figura 6.** Porcentaje de germinación (viabilidad) de las semillas de *Leucaena leucocephala*, *Panicum maximum*, y *Brachiaria brizantha* en condiciones *in vitro*. R1, R2, R3, son el número de réplicas con total de 10 semillas cada una. .... 222
- Figura 7.** Altura total de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham en condiciones de vivero a los 60 días de germinación. .... 23
- Figura 8.** Diámetro del tallo de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham en condiciones de vivero a los 60 días de germinación. .... 23
- Figura 9.** Número de hojas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham en condiciones de vivero a los 60 días de germinación. .... 24

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la ganadería en las zonas tropicales de México enfrenta serios problemas relacionados con el cambio climático y la degradación del ambiente (SEMARNAT, 2013). El modelo imperante de producción extensiva se caracteriza por la transformación de ecosistemas naturales (selvas y bosques), hacia grandes extensiones de gramíneas en monocultivo (FAO, 2011). No obstante, dichos sistemas extensivos presentan bajos niveles de eficiencia y rentabilidad, debido a la baja disponibilidad y calidad de las pasturas durante la estación seca, lo que limita la productividad animal (Piñeiro-Vázquez et al., 2013). Además, se ha demostrado que estos sistemas son más vulnerables a condiciones climáticas extremas, tales como sequías o inundaciones (Murgueitio et al., 2011).

Lo anterior ha ocasionado la búsqueda de diversas estrategias que ayuden a minimizar los impactos de la ganadería sobre el ambiente y los recursos naturales (FAO, 2011; Shibu, 2012). Una de las estrategias con mejores resultados que han surgido en la ganadería tropical es la reconversión de los sistemas tradicionales de monocultivos a SSP (Murgueitio et al., 2011; Bacab et al., 2013; Solorio et al., 2013). Lo anterior implica la integración de leguminosas arbustivas con gramíneas forrajeras, y permiten incrementar el rendimiento y calidad de forraje (Casanova-Lugo et al., 2014; Piñeiro-Vázquez et al., 2013), la fijación y reciclaje de nitrógeno atmosférico (Sarabia-Salgado et al., 2013), protegen al suelo de la erosión y a la vez adicionan materia orgánica para mejorar las propiedades del mismo (Petit-Aldana, 2011), entre otros beneficios ambientales (Shibu, 2012).

A pesar de lo anterior, se desconoce la magnitud de las interacciones que se presentan en estos sistemas debido a que los componentes se encuentran dentro de la misma interfaz del suelo (Casanova-Lugo et al., 2010). De hecho, las características deseables de los árboles en para el diseño y manejo de SSP es una tarea complicada, ya que se requiere de un conocimiento detallado y comprensión de las características morfológicas y mecanismos de adaptación de las plantas a las

diferentes estrategias de manejo (e.g. frecuencia de poda, riego, fertilización, etc.), así como de las posibles interacciones entre las diferentes especies ([Tamayo-Chim et al., 2012](#); [Sarabia-Salgado et al., 2013](#)).

La mayoría de los reportes se basan principalmente en una planta en particular y no contemplan la influencia de otra especie asociada sobre dichos mecanismos de respuesta y adaptación al medio ([Tamayo-Chim et al., 2012](#)). Algunos reportes sostienen que el estudio de las interacciones entre plantas es la base para establecer mejoras en los sistemas de manejo y diseños existentes, así como para desarrollar nuevos esquemas sostenibles de producción, como los SSP ([Bacab et al., 2013](#); [Casanova-Lugo et al., 2014](#)). Por lo tanto, el propósito del presente estudio será evaluar el crecimiento y rendimiento de *L. leucocephala* asociado con diferentes pastos (*P. maximum* y *B. brizantha*), en condiciones semi-controladas.

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Evaluar el crecimiento de *Leucaena leucocephala*, asociado a diferentes pastos tropicales (*Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha*) en condiciones semi-controladas.

### 2.2. Objetivos específicos

- Determinar la viabilidad de las semillas de *L. leucocephala*, *Panicum maximum*, y *Brachiaria brizantha*.
- Monitorear el crecimiento aéreo de *L. leucocephala*, *Panicum maximum*, y *Brachiaria brizantha*, en diferentes combinaciones (asociadas y puras).

### III. MARCO TEÓRICO

En los sistemas pecuarios tradicionales, el uso de prácticas inadecuadas, como el sobrepastoreo y la quema, han conducido a la degradación de los recursos naturales (degradación de pasturas y suelos, contaminación de fuentes de agua, pérdida de biodiversidad) (Caamal-Maldonado et al., 2013). Por ello, cada año la vegetación natural o secundaria se convierte en zonas altamente perturbadas, principalmente en las zonas del sureste mexicano donde se practica la agricultura itinerante (Gallegos-Pérez et al., 2013).

Por todo ello, una de las estrategias para la recuperación y mejoramiento de los sistemas ganaderos es el establecimiento de sistemas silvopastoriles (SSP), los cuales constituyen un tipo de agroforestería donde los árboles y/o arbustos interactúan con las forrajeras herbáceas y los animales (Mahecha, 2002; Karki y Goodman, 2010).

#### 3.1. Los sistemas silvopastoriles

Los SSP se proponen como una transformación tecnológica que implique mejoras en los sistemas y que a la vez genere servicios ambientales, mediante el uso y adaptación de prácticas agrícolas mejoradas capaces de almacenar carbono en el suelo y la biomasa aérea; disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso; incremento en la biodiversidad (flora, fauna y hongos y microorganismos); y mantenimiento de fuentes de agua (Bacab et al., 2013).

Aunque los SSP no son de uso generalizado, cada día se están difundiendo más por los beneficios probados que representan para el productor (Murgueitio et al., 2011; Bacab et al., 2013; Solorio et al., 2013). Los agricultores y ganaderos se han

interesado en el manejo de árboles en pasturas debido a su valor para proveer de alimento de alto valor nutritivo para el ganado, especialmente durante la época seca, y por su valor económico como productores de leña y fuente de servicios ambientales ([Martínez-Encino et al., 2013](#)).

El objetivo principal de los SSP es contribuir a mejorar la calidad de los alimentos que consume el ganado durante la época de sequía y reducir los costos de producción, así como conservar el ambiente ([Bacab et al., 2013](#)). En efecto, la fertilización de pasturas en monocultivo es una práctica que eleva los costos de producción y puede tener efectos perjudiciales en el ambiente debido a la contaminación de las fuentes de agua. Idealmente, el SSP ofrece beneficios, como la fijación biológica de nitrógeno y en consecuencia, una mayor producción y calidad de forraje, debido al uso eficiente de los recursos ([Sarabia-Salgado et al., 2013](#)).

Cuando hablamos de SSP, debemos tener en cuenta que conocemos los niveles de competencia que puedan tener las especies del sistema tanto por nutrientes, agua y luz ([Casanova-Lugo et al., 2010](#)). Las interacciones entre especies son reguladas a través del ambiente mediante el principio de “respuesta y efecto”, el cual establece que la planta y su ambiente se modifican el uno al otro ([Ong et al., 2004](#)). De esta manera la morfología y vida de la planta son presididas por el ambiente, pero al mismo tiempo; la planta puede cambiar su ambiente. La naturaleza de las interacciones *inter* e *intraespecies* se refiere entonces a los medios por los cuales una planta puede influir sobre sus vecinas, en forma directa por adición o sustracción (*p.e.* nutrientes), o indirectamente (*p.e.* estimulando especies insectívoras) ([Tamayo-Chim et al., 2012](#)).

### **3.2. Interacciones entre componentes en SSP**

En los SSP las leñosas incorporadas en las pasturas conllevan a interferencias que pueden tener efectos benéficos, neutrales o perjudiciales ([Ong et al., 2004](#)). La leñosa puede afectar el entorno en forma negativa con respecto a la gramínea, o

también de manera positiva. Al implementar un nuevo SSP debería considerarse que las raíces de los diferentes componentes interactúen positivamente. En la práctica siempre van a existir ventajas y desventajas para cada diseño de árbol-gramínea. Toda mejora en la fertilidad y estructura del suelo, bombeo de nutrientes y reducción de pérdidas de recursos por lixiviación estará acompañada por algún grado de competencia en los recursos. [Casanova-Lugo et al. \(2007\)](#) plantean dos escenarios para disminuir la competencia:

- i) Selección de especies leñosas con baja competitividad, y
- ii) Selección de especies leñosas con una distribución de raíces complementaria a la gramínea.

La fertilización con agroquímicos, el riego y pastoreo, y otras prácticas de manejo en potreros son comunes en la ganadería extensiva. Sin embargo, no sabemos el efecto en las interacciones árbol-gramínea en los SSP ([Tamayo-Chim et al., 2012](#)).

Diversos estudios realizados con plantas tropicales han mostrado que cuando la disponibilidad de nutrientes en el suelo es heterogénea, algunas plantas presentan un crecimiento diferencial de raíces hacia parches del suelo que tienen mayor disponibilidad de nutrientes que favorecen la adquisición de los mismos ([Casanova-Lugo et al., 2007](#)). No obstante, cuando las plantas llegan a experimentar un déficit de nutrientes, se habla de un cambio en la asignación de biomasa donde se favorece el crecimiento de las raíces y un incremento en su actividad en cuanto a la exploración y captación de recursos a expensas del crecimiento de la parte aérea. Sin embargo, las plantas difieren en sus requerimientos nutricionales y en la tasa de crecimiento máxima que puede expresar ([Casanova-Lugo et al., 2010](#)).

Si bien es cierto que la cantidad de nutrientes y agua absorbida por las raíces de las plantas dependen de la extensión, distribución y actividad de las mismas. Estas características del sistema radical son influenciadas por las condiciones físicas y químicas del suelo, así como también por las características genéticas de las

variedades (Ong et al., 2004; Casanova-Lugo et al., 2007). En este sentido, se ha comprobado que la competencia entre raíces de la misma especie es mayor que la competencia entre plantas vecinas de otras especies (Casanova-Lugo et al., 2010). De hecho se ha demostrado que en algunas especies, la competencia entre las raíces de varios individuos es tres veces mayor que la competencia entre raíces de diferentes especies cercanas (vecinas). Por ejemplo, la variación genética del frijol (*Phaseolus vulgaris*) y la arquitectura radical en común puede estar relacionada con la adaptación a diversos entornos competitivos (Ong et al., 2004).

La modelación de las interacciones entre plantas tiene varios objetivos, pero tal vez dos enfoques han predominado durante los últimos años; el primero procura relacionar la arquitectura y distribución espacial de las plantas con la presencia o ausencia de diferentes factores y recursos ambientales, especialmente nutrimentos y agua; este es un enfoque fisiológico. En cambio el segundo enfoque, se centra en reconstruir los patrones morfológicos, estructurales y arquitectónicos, sin relacionarlas necesariamente con los factores del medio ambiente, éste se puede llamar un enfoque morfológico (Ong et al., 2004).

### **3.2.1. Factores espaciales**

La mayoría de los estudios de las reacciones de las plantas en cuanto a la densidad han sido con una sola especie. Una medida en cuanto a la competitividad de una especie con relación a otra puede determinarse por experimentos sustitutivos y es denominado “coeficiente relativo de proximidad” (Ong et al., 2004). El concepto de “rendimiento relativo” es, sin embargo, preferido cuando los rendimientos combinados de las especies de las especies A y B en la mezcla no pueden predecirse de los rendimientos de las parcelas puras. El rendimiento relativo de la especie A es su rendimiento de una mezcla de especies A y B, comparando con su rendimiento en una siembra pura.

Es poca la información que se tiene sobre la competencia entre plantas a nivel subterráneo, la mayoría de los ensayos realizados como la absorción de nutrimentos, agua y arquitectura radical, han sido con un solo individuo, sin tomar en cuenta el factor de competencia que puede existir en una comunidad agroforestal. A todo esto si queremos entender mejor estos mecanismos es necesario conocer algunos atributos de las plantas como podría ser la capacidad de absorción de las plantas, que está en función de la densidad radical (longitud y diámetro de las raíces). En un sistema también tenemos que tomar en cuenta la distribución de las raíces de las especies en una superficie de suelo (arquitectura radical), para tener un punto inicial de estudio y poder observar las modificaciones que puedan existir en una planta asociada con otra. En un trabajo de investigación previo se concluyó que altas densidades radicales promueven la competencia por nutrimentos debido a la disminución de las distancias entre raíces ([Casanova-Lugo et al., 2007](#)).

La competencia intra-específica y los efectos dependientes de la densidad han sido poco estudiados en el contexto de la productividad y prácticas agroforestales. Han sido sugeridos diseños sistemáticos para cuantificar las relaciones entre el rendimiento y la densidad de población de los cultivos ([Casanova-Lugo et al., 2014](#)) y las densidades de población han sido estudiadas particularmente los efectos de la densidad en la eficiencia del uso del agua.

### **3.2.2. Factores temporales**

La agroforestería involucra plantas de larga vida y/o habilidad para sostener una productividad creciente. La dimensión del tiempo es entonces importante, particularmente en lo concerniente a la dinámica a largo plazo de la disponibilidad de recursos. El sobre-rendimiento involucra una mayor tasa de consumo de recursos y por consiguiente ocurrirá un incremento de la tasa de declinación de la fertilidad del suelo, a menos que la tasa de suministro de recursos sea también incrementada (p.e. el reemplazo de nutrimentos). La producción solamente puede ser sostenida a

altos niveles si el consumo y el suministro están balanceados y esto probablemente involucrará una intervención de manejo ([Murgueitio et al., 2011](#)).

Los árboles desarrollados por semilla, antes de emerger en un dosel, tienen que pasar por etapas de crecimiento comparables a, primero la capa vegetal del suelo (sotobosque), luego en la capa del campo y finalmente, la capa de los arbustos. Así la naturaleza de las interacciones leñosa-cultivo en los sistemas agroforestales cambiaría con el estado de vida del componente arbóreo ([Casanova-Lugo et al., 2007](#)).

La selección de árboles con patrones de crecimiento estacional que evitan la competencia por los recursos con el cultivo, será importante en el incremento de los rendimientos del cultivo. Adicionalmente, para los árboles leguminosos en la agroforestería, la interacción entre el árbol y el cultivo cambia con el tiempo, de una reducida competencia a una facilitación. En un año dado, cualquier beneficio de fijación de nitrógeno por el árbol leguminoso es conferido al cultivo asociado para evitar la competencia por el nitrógeno, mientras que en años subsiguientes, los árboles facilitan la adaptación del cultivo por la liberación de nitrógeno fijados en los años previos por la descomposición de la materia orgánica ([Tamayo-Chim et al., 2012](#)).

Las etapas del desarrollo en sistemas agroforestales son análogas, en algunos aspectos, a las etapas de la sucesión en los ecosistemas. La sucesión es el proceso mediante el cual una comunidad de plantas cambia a otra ([Martínez-Encino et al., 2013](#)). Está representada la dinámica de la comunidad que ocurre en una escala de tiempo en el orden de las etapas de vida de las plantas dominantes y ocurre porque la probabilidad de establecimiento cambia a través del tiempo y del espacio para cada especie, conforme se alteran ambos en el ambiente abiótico (p.e. las condiciones del suelo) y en el ambiente biótico (e.g. la naturaleza y la habilidad competitiva de las plantas vecinas) ([Sarabia-Salgado et al., 2013](#)).

La mayoría de las sucesiones primarias están asociadas con la acumulación de nitrógeno en el suelo ([Martínez-Encino et al., 2013](#)). Muchas de las plantas vasculares pioneras tempranas son leguminosas u otras especies fijadoras de nitrógeno que adicionan sustancialmente el nitrógeno a la reserva del suelo ([Sarabia-Salgado et al., 2013](#)).

Las sucesiones secundarias se inician con un suelo más o menos maduro que contiene un banco de semillas y propágulos vegetativos de un tamaño apreciable. La sucesión observada de especies simples involucra el reemplazo de las pequeñas plantas de corta vida por otras grandes de larga vida ([Martínez-Encino et al., 2013](#)), alterando cada una de las especies invasoras, las condiciones ambientales para la siguiente.

### **3.3. Interacciones aéreas (biomasa foliar)**

Las gramíneas forrajeras tropicales con vía fotosintética C4 (plantas C4), alcanzan su máxima producción con niveles altos de intensidad lumínica, baja foto-respiración y tasas fotosintéticas mayores ([Sage y Pearcy, 2000](#)). En consecuencia, se espera que la sombra resulte en una reducción de la tasa de producción de biomasa, debido a la mayor interceptación de los rayos solares, por ejemplo las copas de los árboles y/o arbustivas del sistema, comparada con las pasturas establecidas en monocultivo o en áreas abiertas.

La modificación de la intensidad y calidad de la radiación solar que llega al componente herbáceo debido a la presencia del dosel arbóreo genera cambios en la morfología, anatomía y la composición química del forraje ([Hernández y Guenni, 2008](#)). Estos cambios, ejercen consecuencias en la productividad y valor nutritivo del forraje con impactos en la productividad animal ([Sousa et al., 2010](#); [Bacab et al., 2013](#)).

Al respecto, la tolerancia a la sombra de las gramíneas asociadas con leñosas supone una capacidad para crecer en condiciones de menor cantidad de luz respecto al crecimiento a pleno sol y con la influencia de defoliaciones regulares de pastoreo (Silva, 2007). Se sabe que la tolerancia a la sombra de especies adaptadas a hábitats abiertos (pleno sol) dependerá de la capacidad de estas plantas para realizar ajustes morfológicos, fisiológicos y fotosintéticos (Dias-Filho, 2002) debido al nivel de radiación.

La mayoría de las especies de vegetales tienen la capacidad para modificar o ajustar sus características morfológicas y fisiológicas en respuesta a diferentes condiciones climáticas (Lin et al., 2001). Los ajustes de la planta, con relación a la disponibilidad de luz, incluyen un incremento del área foliar específica y el índice de área foliar, mejor distribución del área foliar con la altura, coeficientes de extinción de luz menores y una reducción en la tasa respiratoria (Silva, 2007), lo que trae consigo una modificación en la calidad de las gramíneas. No obstante, algunas especies pueden aclimatarse a la disminución de la cantidad de luz con mayor eficacia que otras (Dias-Filho, 2002). En este sentido, se han reportado valores de rendimiento de materia seca (MS) comparables o inclusive aumentos en la disponibilidad del forraje cuando los pastos están asociados con árboles. Estos aumentos, en la mayoría de los casos, se han obtenido en condiciones de reducción moderada de luz (30-40%), donde el nivel de nitrógeno (N) en el suelo es bajo (Sousa et al., 2010).

Las pasturas tropicales y los árboles pueden estar sujetas a una considerable reducción de la cantidad de luz que reciben al integrarse en SSP. Este fenómeno ocurre, debido a la deliberada introducción de especies arbóreas, la invasión de malezas en las pasturas o por el establecimiento de estas en áreas de plantaciones de frutales, de bosques y forestales para aprovecharlas bajo pastoreo con distintas especies animales (Dias-Filho, 2000). En este sentido, las pasturas del género *Brachiaria* representan una importante fuente de forraje para las zonas tropicales, destacando *Brachiaria brizantha* y *B. humidicola*, al igual modo que *Panicum maximum*, son tolerantes a la media sombra (Andrade et al., 2004). Por lo tanto,

pueden mantener una razonable productividad cuando al asociarse con especies leñosas en SSP (Andrade et al., 2004; Sousa et al., 2010). No obstante, la competencia por luz influye en el crecimiento y el desarrollo morfológico tanto en las gramíneas como en los árboles forrajeros. Este efecto se aprecia en la formación de hojas más delgadas, mayor contenido de agua y un área foliar específica mayor (Dias-Filho, 2000). La producción de vástagos, hojas, tallos, rastrojo y raíces son afectados por la reducción de la radiación solar.

En este sentido, la tasa de crecimiento de *B. brizanta* y *B. humidicola* disminuyó al cultivarse en condiciones de baja intensidad de luz. El crecimiento de la parte aérea se redujo en 75% para ambas especies. Asimismo, el crecimiento radical mermó en un 90% en ambas especies por efecto de la sombra Dias-Filho (2000). De igual forma, la formación de vástagos disminuyó en un 70% para ambas especies; mientras que, el pobre desarrollo radical en condiciones de sombra podría tener un efecto sobre la capacidad de rebrote después de una defoliación a través de la poda o pastoreo, debido a la disminución de la biomasa radical, principal almacén de reservas para promover el rebrote después de la defoliación.

### **3.4. Descripción de las especies**

#### **3.4.1. *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham**

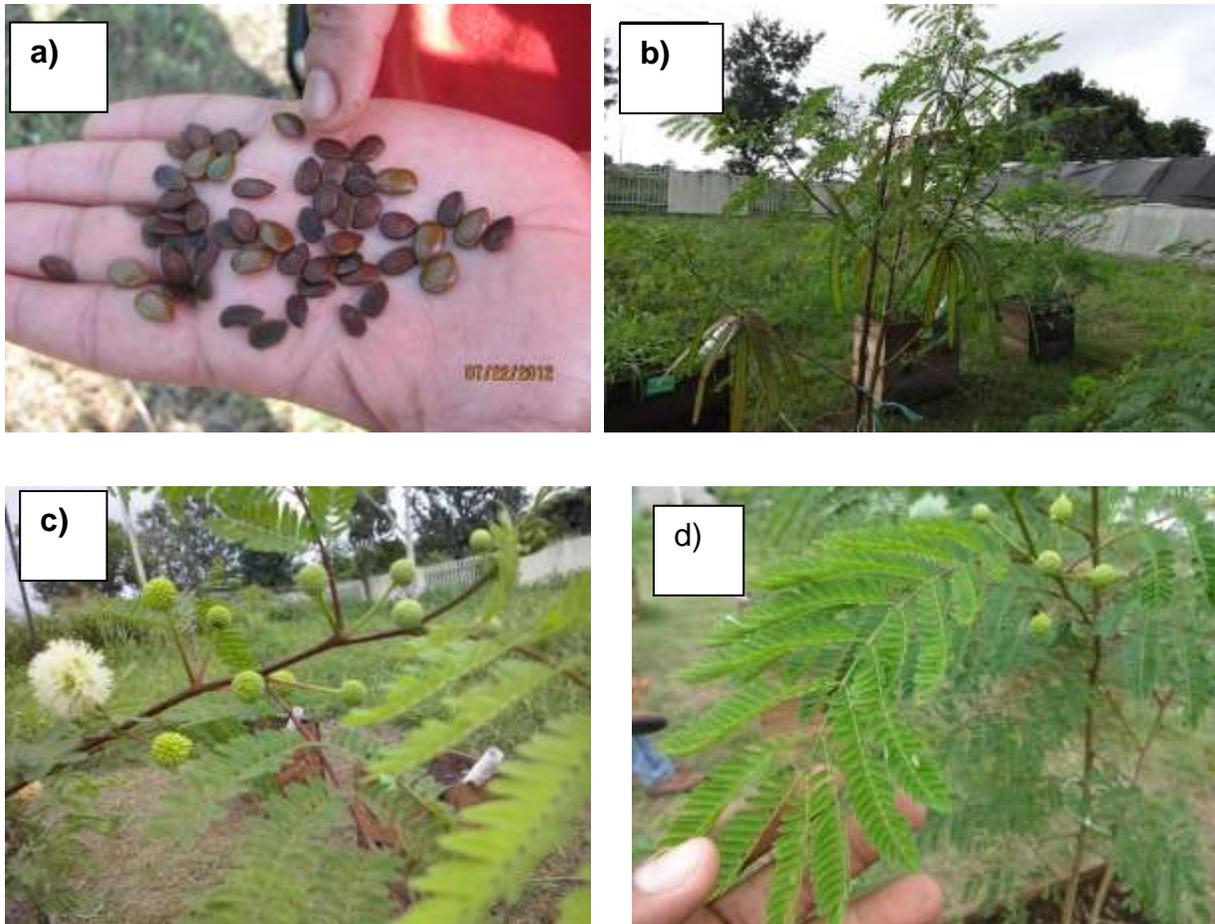
La *Leucaena leucocephala* es una especie que ha sido ampliamente investigada y utilizada en los sistemas agroforestales a nivel mundial. Ha sido introducida a considerables distancias de su origen y es más conocida en el Sureste de Asia y en África que en Mesoamérica (Bacabet et al., 2012).

**Categorías taxonómicas superiores.** Reino: Plantae; División: Magnoliophyta; Clase: Magnoliopsida; Orden: Fabales; Familia: Fabaceae; Subfamilia: Mimosoideae; Tribu: Mimoseae; Género: *Leucaena*.

**Nombres comunes.** Peladera, Liliaque, Huaje o Guaje.

**Distribución en México.** Originaria de América tropical, aparentemente del sur de México (Yucatán). Se extiende de México hasta Nicaragua, incluyendo Guatemala, Honduras y El Salvador. Los españoles la llevaron a Filipinas y desde ahí fue introducida a Indonesia, Malasia, Papua Nueva Guinea y sureste de Asia. Naturalizada pantropical ([tropical forages](#)).

**Forma.** Árbol o arbusto caducifolio o perennifolio, de 3 a 6 m (hasta 12 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de hasta 25 cm. La copa es redondeada, ligeramente abierta y rala. Sus hojas alternas, bi-pinnadas, de 9 a 25 cm de largo, verde grisáceas y glabras; folíolos 11 a 24 pares, de 8 a 15 mm de largo, elípticos y algo oblicuos. El tronco es usualmente torcido y se bifurca a diferentes alturas. Las ramas son cilíndricas ascendentes. Desarrolla muchas ramas finas cuando crece aislado. La corteza externa es lisa a ligeramente fisurada, grisnegruzca, con abundantes lenticelas longitudinales protuberantes. La corteza interna es de color crema-amarillento, fibroso, amargo, con olor a ajo. Las Flores son cabezuelas con 100 a 180 flores blancas, de 1.2 a 2.5 cm de diámetro; flor de 4.1 a 5.3 mm de largo; pétalos libres; cáliz de 2.3 a 3.1 mm. Los Frutos son vainas oblongas, estipitadas, en capítulos florales de 30 o más vainas, de 11 a 25 cm de largo por 1.2 a 2.3 cm de ancho, verdes cuando tiernas y cafés cuando maduras; conteniendo de 15 a 30 semillas. Las semillas son ligeramente elípticas de 0.5 a 1 cm de largo por 3 a 6 mm de ancho, aplanadas, color café brillante, dispuestas transversalmente en la vaina. Las semillas están cubiertas por una cera que retarda la absorción de agua durante la germinación. Su raíz es profunda y extendida. La raíz primaria penetra en las capas profundas del suelo y aprovecha el agua y los minerales por debajo de la zona a la que llegan las raíces de muchas plantas agrícolas ([Casanova-Lugo et al., 2010](#)) (Figura 1).



**Figura 1.** Representación morfológica de la leguminosa *L. leucocephala* cv. Cunningham. **a)** Semilla de Leucaena, **b)** vainas de la planta, **c)** desarrollo de la flor, **d)** rebrotes de ramas, hojas y flores.

### 3.4.2. *Panicum maximum* cv. Tanzania

El pasto guinea es una de las especies más comunes en el paisaje cultural del trópico mexicano. Es una planta forrajera muy importante, pero también se puede portar como maleza ([Heikevibranset al., 2009](#)).

**Categorías taxonómicas superiores.** Reino: Plantae; División: Magnoliophyta; Clase: Liliopsida; Orden: Poales; Familia: Poaceae; Subfamilia: Panicoideae; Tribu: Paniceae; Género: Panicumsp.

**Nombres comunes.** Colonial, Guineo, Hoja fina, Pasto guineo, Privilegio, Rabo de mula, Zacatón, Panizo de guinea, Pasto Tanzania ([Martínez, 1979](#)).

**Distribución en México.** Se ha registrado en Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán.

**Forma.** Hierba perenne, amacollada, robusta de tamaño de 1.0 a 2.5 m de alto. Posee tallos generalmente con pelos largos y erectos en los nudos. Sus hojas son alternas, dispuestas en 2 hileras sobre el tallo, con las venas paralelas, divididas en 2 porciones, la inferior llamada vaina que envuelve al tallo, es más corta que el entrenudo del tallo y que presenta pelos erectos con su base engrosada, y la parte superior de la hoja llamada lámina que es muy larga, angosta, plana, áspera al tacto en los márgenes y con pelos erectos principalmente hacia la base; entre la vaina y la lámina, por la cara interna, se presenta una pequeña prolongación membranácea terminada en pelos, llamada lígula. La inflorescencia es una panícula grande (de hasta 50 cm de largo), con numerosos racimos rígidos y ascendentes. Los racimos de la parte inferior de la inflorescencia están dispuestos en verticilos. Cada racimo con numerosas espiguillas. Los ejes de la inflorescencia a veces ondulados. La espiguilla se une a la rama que la sostiene formando un pedúnculo. Las flores son muy pequeñas y se encuentran cubiertas por una serie de brácteas, sin aristas. Las semillas están fusionadas a la pared del fruto. Posee una raíz en forma de rizoma y rastrera ([Heikevibranset al., 2009](#); Figura 2).



**Figura 2.** Representación morfológica del pasto *P. maximum* cv. Tanzania. **a)** Macollo del pasto Tanzania, **b)** densidad del pasto, tallos del pasto y hojas.

### 3.4.3. *Brachiaria brizantha* cv. *Brizantha*

Es una especie forrajera perenne de crecimiento semirrecto, forma macollas de hojas erectas y largas, alcanza alturas de 1,5 m. Buena persistencia. El pasto Brizantha pertenece a un grupo pequeño de géneros que incluye a *Urochloa*, *Eriochloa* y *Panicum* (Lazcano et al., 2002)

**Categorías taxonómicas superiores.** Reino: Plantae; División: Magnoliophyta; Clase: Magnoliopsida; Orden: Poales; Familia: Poaceae; Subfamilia: Panicoideae; Tribu: Paniceae; Género: Brizantha.

**Nombre común:** Marandú, Diamantes, Brizantha, Insurgente, Gigante, La Libertad, Toledo.

**Distribución en México.** Se ha registrado en Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán.

Forma: Es una especie perenne, que presenta macollos vigorosos, de hábito erecto o semirrecto, con tallos que alcanzan hasta 2,0 m de altura. Los rizomas horizontales son cortos, duros y curvos, cubiertos por escamas glabras de color amarillo a púrpura. Las raíces son profundas, lo que le permite sobrevivir bien durante períodos prolongados de sequía. Estas son de color blanco-amarillento y de consistencia blanda. Los limbos son verdes y largos de 20 a 75 cm de longitud y de 0,8 a 2,4 cm en la parte más ancha; estos pueden ser lineales o lanceolados, adelgazando hacia el ápice, con los bordes de color blanco a morado y fuertemente dentados. La vaina, de 10 a 23 cm. de longitud, es más corta que los internodios y de color verde, ocasionalmente con tonalidades moradas hacia los bordes, desde glabra hasta glabrescente. La inflorescencia, una de las de mayor longitud de las especies de este género, es en forma de panícula racemosa de 34 a 87 cm. de longitud, con el eje principal estriado, glabro o piloso con 1 a 17 racimos solitarios, unilaterales y rectos, de 8 a 22 cm de longitud (Figura 3).



**Figura 3.** Representación morfológica del pasto *Brachiaria brizantha*. Cv *brizantha* **a)** Macollo del pasto brizantha, **b)** densidad del pasto, tallo del pasto y hojas.

## IV.METODOLOGÍA

### 4.1. Lugar de estudio

El estudio se realizó en el área de invernaderos del Instituto Tecnológico de la Zona Maya localizado a 21.5 kilómetros de la carretera Chetumal a Escárcega, en el municipio de Othón P. Blanco. Está ubicado en las coordenadas geográficas 21° 51' latitud norte y 89° 41' longitud oeste con un clima cálido subhúmedo tipo Aw<sub>1</sub>, (cálido húmedo con lluvias en verano y parte del invierno). La temperatura media anual fluctúa entre los 24.5 y 25.8 °C (García, 1973). Se encuentra casi a nivel del mar y su topografía es plana (Figura 4).

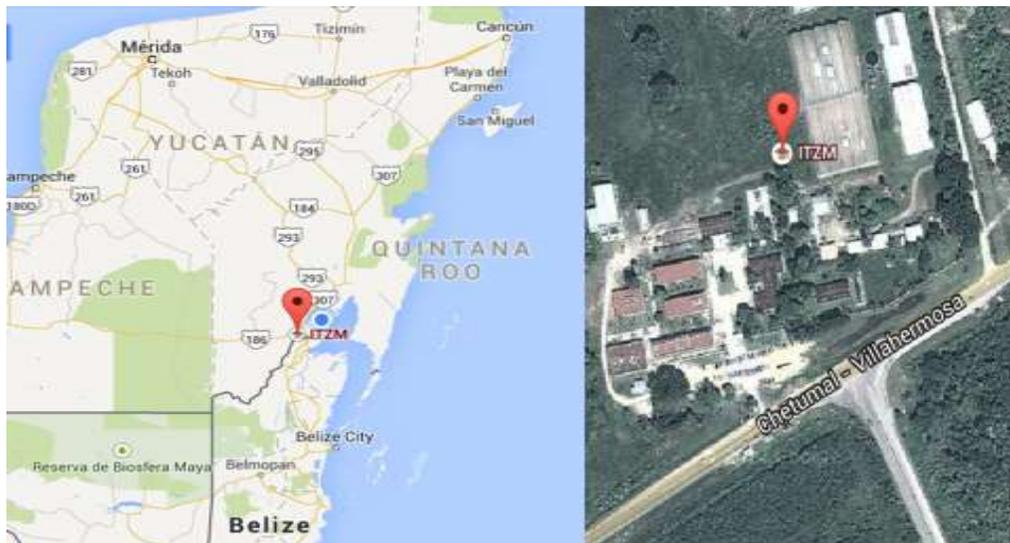


Figura 4. Representación esquemática del lugar de estudio.

## 4.2. Sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en el área de invernaderos que se encuentra dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Tiene una extensión de 30 metros de ancho por 20 metros de largo, haciendo un total de 600 metros cuadrados.

## 4.3. Material vegetal

Las semillas de *L. leucocephala*, *B. brizantha*, *P. máximum* fueron obtenidas de plantaciones cercanas de esta especie. Para romper la dormancia, las semillas de *L. leucocephala* fue escarificadas en agua caliente a 80°C durante tres minutos, sumergidas en agua fría por 1 minuto y extendidas en una charola de plástico para su secado a temperatura ambiente.

Las semillas de ambas especies fueron sembradas, en forma individual, en bolsas de polietileno de 20 x 12 cm, llenas con tierra. En total, se sembraron 200 individuos de cada especie; se sembraron dos semillas de *L. leucocephala*, y tres semillas del pasto en cada bolsa. Previo a la siembra, se aplicará 1.0 L de agua para humedecer el sustrato. Una vez realizada la siembra, cada maceta será regada con 500 ml dos veces por semana. A los 30 días de la siembra, se dejará en cada maceta el individuo visualmente más alto (o vigoroso), para evitar la competencia entre plántulas. A los 60 días de germinación, se medirá la altura de las plántulas, con base en esta información, se seleccionaron 150 plántulas de cada especie con alturas similares dentro de cada especie.

## 4.4. Diseño del experimento

Se utilizarán contenedores rectangulares de madera con dimensiones de 70 cm x 40 cm x 60 cm, que simularán las condiciones de sistema silvopastoril conformado por huaxim (*L. leucocephala*) asociado con pasto brizanta (*B. brizantha*) o con pasto

tanzania (*P. máximo*), así como sus respectivos monocultivos. Dichos contenedores serán llenados con suelo Luvisol obtenido de la zona (kan kab, en nomenclatura maya), característico de algunas regiones del estado de Quintana Roo, el cual será previamente tamizado con una malla alambre de apertura de aproximadamente 6.0 mm, para eliminar materiales no deseados (e.g. piedras, raíces, corteza, malezas, etc.).

Los contenedores fueron distribuidos de acuerdo a un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones (Figura 5), cada contenedor será considerado como una unidad experimental, los cuales serán distribuidos aleatoriamente en el vivero del instituto a plena luz y se asignaron los tratamientos que se describen a continuación:

1. *L. leucocephala*
2. *B. brizantha*
3. *P. máximo*
4. *L. leucocephala* asociado con *B. brizantha*
5. *L. leucocephala* asociado con *P. máximo*
6. *L. leucocephala* asociado con *B. brizantha* y *P. máximo*.



**Figura 5.** Distribución de los contenedores en el sitio experimental para el estudio de las interacciones aéreas entre *Leucaena eucocephala*, *Panicum maximum* y *Bachiaria brizantha*.

En cada contenedor, se trasplantaron 2 individuos de *L. leucocephala* y 4 de cada pasto, *P. maximum* y *B. brizantha*, de acuerdo a los tratamientos mencionados anteriormente. Cabe señalar que el sustrato en cada contenedor se mantuvo a una humedad constante, mediante la aplicación de 15 litros agua en cada tercer día.

El experimento tendrá una duración de 3 meses, los datos serán colectados a los 30, 60 y 90 días después del trasplante de las plantas a los contenedores, con la finalidad de observar la dinámica de crecimiento y la interacción entre las especies.

#### **4.5. Variables de respuesta**

En cada fecha de muestreo las plantas fueron monitoreadas y se registró la altura de la planta con ayuda de un flexómetro, el diámetro del tallo tomada con un vernier digital marca Mitotuyo modelo 500-197-20, con una precisión de  $\pm 0.001$ ", el número de hojas y el número de ramas en el caso de la leguminosa, a través del conteo de las mismas.

Al final del periodo experimental (90 días) se cuantificó la producción de biomasa foliar, únicamente para la leguminosa, a través de la cosecha de la biomasa a una altura de poda de 50 cm de la base del tallo. Dicha biomasa fue separada y pesada en fresco por diversos componentes: hojas, tallos, y ramas, con una balanza electrónica OHAUS modelo Scout Pro (SP601) con una variación de  $\pm 0.1$  g.

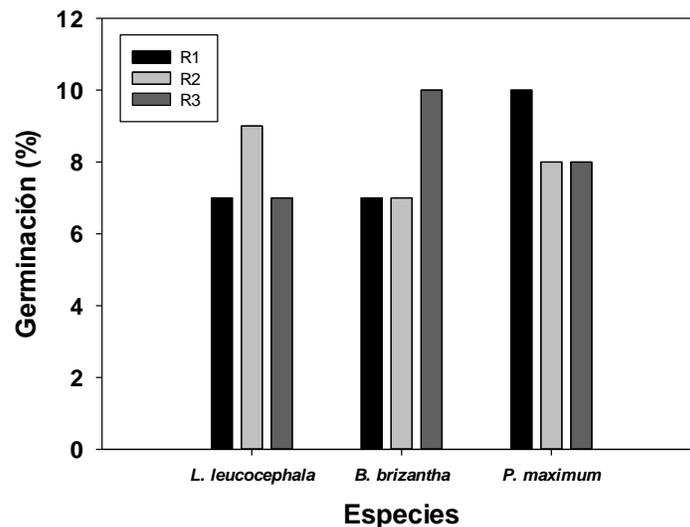
#### **4.6. Análisis estadístico**

Los datos colectados para cada especie fueron sometidos a un análisis multivariado de varianza (MANOVA) para detectar diferencias entre los tratamientos de estudio. Cuando se encontraron diferencias entre los tratamientos se procedió a realizar una prueba de tukey al 95% de confiabilidad.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Viabilidad de las semillas (germinación)

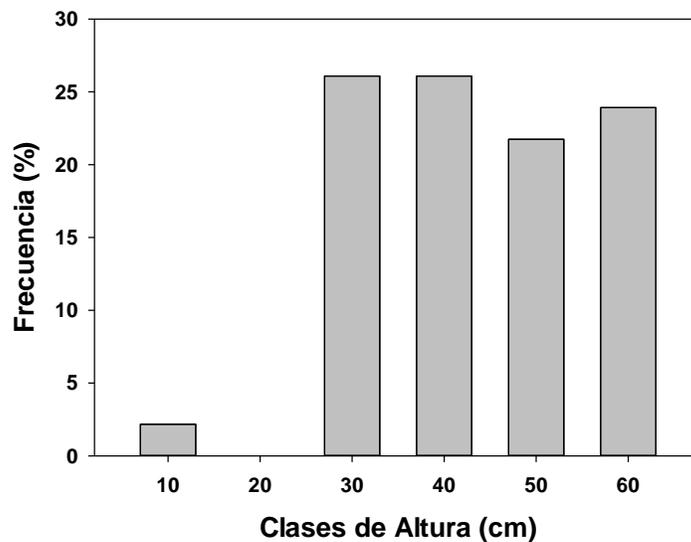
En general las especies evaluadas en condiciones *in vitro* presentaron una buena germinación promedio que estuvo por encima del 80%. No obstante, en el caso particular de *Leucaena leucocephala*, se observó una menor germinación (76.6%) en comparación con *P. maximum* y *B. brizantha*, con valores de 86% y 80%, respectivamente (Figura 6).



**Figura 6.** Porcentaje de germinación (viabilidad) de las semillas de *Leucaena leucocephala*, *Panicum maximum*, y *Brachiaria brizantha* en condiciones *in vitro*. R1, R2, R3, son el número de réplicas con total de 10 semillas cada una.

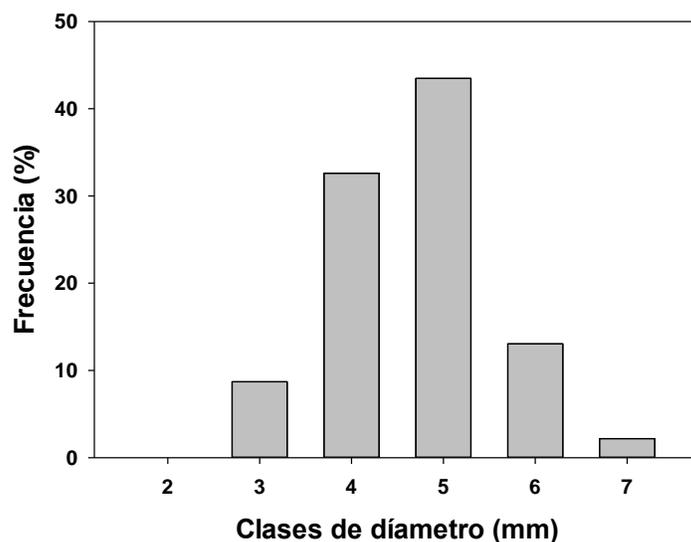
### 5.2. Crecimiento de *Leucaena* previo al trasplante (en vivero)

A los 30 días de germinación, las plántulas alcanzaron alturas se encuentran en un rango que va de 30 a 60 cm (Figura 7).



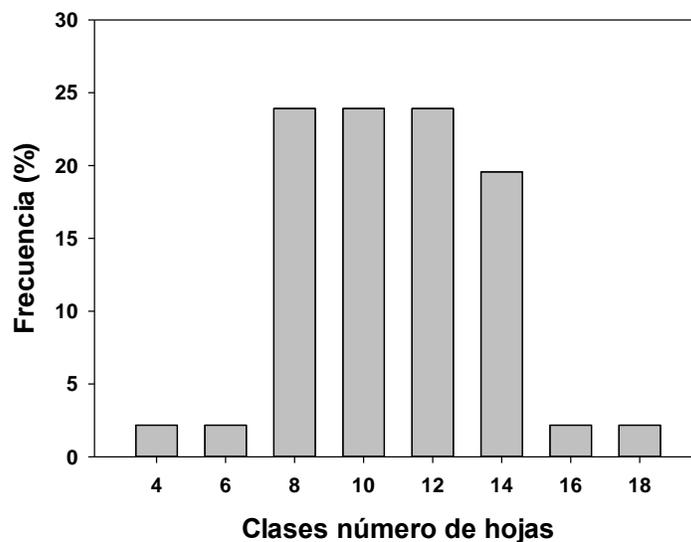
**Figura 7.** Altura total de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham en condiciones de vivero a los 60 días de germinación.

El diámetro del total de las plantas germinadas de 30 días de germinación previo al trasplante el 76.1 % de las plantas presentaron un diámetro de tallo que va de 4 a 5 mm (Figura 8).



**Figura 8.** Diámetro del tallo de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham en condiciones de vivero a los 60 días de germinación.

Se observó que el 91.3 % de las plantas germinadas previo al trasplante presentaron de 8 a 14 hojas por planta previo al trasplante (Figura 9).



**Figura 9.** Número de hojas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham en condiciones de vivero a los 60 días de germinación.

### 5.3. Crecimiento de *Leucaena* posterior al trasplante (contenedores)

Los resultados muestran que la altura total de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación no fue afectado por las diferentes combinaciones de pastos tropicales. A los 30 días de evaluación, la altura promedio fue de 0.93 m, a 60 días de 1.34 m, y a 90 días de 1.66 m (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Altura total (m) de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones con pastos tropicales en condiciones semi-controladas.

Tratamientos	Altura total (m)					
	30 días		60 días		90 días	
	Media	(EEM)	Media	(EEM)	Media	(EEM)
<i>LI</i>	0.93	0.07	1.31	0.03	1.707	0.05
<i>LI + Pm</i>	0.95	0.07	1.36	0.02	1.699	0.06
<i>LI + Bb</i>	0.97	0.11	1.32	0.04	1.674	0.09
<i>LI + Pm + Bb</i>	0.88	0.05	1.36	0.05	1.568	0.06

*LI*, *L. leucocephala*; *LI + Pm*, *L. leucocephala* + *P. maximum*; *LI + Bb*, *L. leucocephala* + *B. brizantha*; *LI + Pm + Bb*, *L. leucocephala* + *P. maximum* + *B. brizantha*; EEM, error estándar de la media.

Los resultados muestran que el diámetro del tallo de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación no fue afectado por las diferentes combinaciones de pastos tropicales. A los 30 días de evaluación, la altura promedio fue de 7.19 mm, a 60 días de 12.78 mm, y a 90 días de 17.10 mm (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Diámetro del tallo (mm) de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones con pastos tropicales en condiciones semi-controladas.

Tratamientos	Diámetro Tallo (mm)					
	30 días		60 días		90 días	
	Media	(EEM)	Media	(EEM)	Media	(EEM)
<i>LI</i>	7.40	0.22	12.87	0.334	16.60	0.68
<i>LI + Pm</i>	7.31	0.41	12.95	0.407	17.15	0.87
<i>LI + Bb</i>	7.02	0.26	12.37	0.389	17.13	0.89
<i>LI + Pm + Bb</i>	7.02	0.25	12.93	0.37	17.54	0.76

*LI*, *L. leucocephala*; *LI + Pm*, *L. leucocephala* + *P. maximum*; *LI + Bb*, *L. leucocephala* + *B. brizantha*; *LI + Pm + Bb*, *L. leucocephala* + *P. maximum* + *B. brizantha*; EEM, error estándar de la media.

Los resultados muestran que la numero de hojas de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación no fue afectado por las diferentes combinaciones de pastos tropicales. A los 30 días de evaluación, el número de hojas promedio fue de 26, a 60 días de 62, y a 90 días de 102 (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** El número de hojas de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones con pastos tropicales en condiciones semi-controladas.

Tratamientos	Número de hojas					
	30 días		60 días		90 días	
	Media	(EEM)	Media	(EEM)	Media	(EEM)
<i>LI</i>	25.10	2.01	64.10	5.18	112.3	10.45
<i>LI + Pm</i>	29.90	3.30	63.50	5.58	103.9	10.27
<i>LI + Bb</i>	25.40	1.85	56.50	5.49	105.12	10.19
<i>LI + Pm + Bb</i>	23.70	2.24	62.40	5.44	85.00	9.82

*LI*, *L. leucocephala*; *LI + Pm*, *L. leucocephala* + *P. maximum*; *LI + Bb*, *L. leucocephala* + *B. brizantha*; *LI + Pm + Bb*, *L. leucocephala* + *P. maximum* + *B. brizantha*; EEM, error estándar de la media.

Los resultados muestran que la numero de ramas de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación no fue afectado por las diferentes combinaciones de pastos tropicales. A los 30 días de evaluación, el número de ramas promedio fue de 0.17, a 60 días de 8.41, y a 90 días de 11.65 (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** El número de hojas de *L. leucocephala* a 30, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones con pastos tropicales en condiciones semi-controladas.

Tratamientos	Número de ramas					
	30 días		60 días		90 días	
	Media	(EEM)	Media	(EEM)	Media	(EEM)
<i>LI</i>	0.20	0.13	7.80	0.51	13.90	1.46
<i>LI + Pm</i>	0.30	0.30	9.80	1.07	12.30	1.26
<i>LI + Bb</i>	0.00	0.00	8.37	1.18	11.12	1.31
<i>LI + Pm + Bb</i>	0.20	0.20	7.70	1.09	9.30	1.10

*LI*, *L. leucocephala*; *LI + Pm*, *L. leucocephala* + *P. maximum*; *LI + Bb*, *L. leucocephala* + *B. brizantha*; *LI + Pm + Bb*, *L. leucocephala* + *P. maximum* + *B. brizantha*; EEM, error estándar de la media

Los resultados muestran que la altura de *P. maximum* a, 60 y 90 días de evaluación no fue afectado por las diferentes combinaciones de *L. leucocephala*. A los 60 días de evaluación, la altura promedio a los 60 días fue de 10.56 cm, a 90 días 19.26 cm, (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Altura total (cm) de *P. maximum* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas.

Tratamientos	Altura (cm)			
	30 días		90 días	
	Media	(EEM)	Media	(EEM)
<i>Pm</i>	13.00	2.34	23.4	2.62
<i>LI + Pm</i>	9.60	0.87	18.00	2.07
<i>LI + Pm + Bb</i>	9.00	0.63	16.40	1.50

*Pm*, *P. maximum*; *LI + Pm*, *L. leucocephala* + *P. maximum*; *LI + Pm + Bb*, *L. leucocephala* + *P. maximum* + *B. brizantha*; EEM, error estándar de la media.

Los análisis muestran que el diámetro del *P. maximum* a, 60 y 90 días de evaluación no fue afectado por las diferentes combinaciones de *L. leucocephala*. A los 60 días

de evaluación, el diámetro promedio a los 60 días fue de 1.97 mm, a 90 días 3.88 mm (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** El diámetro (mm) de *P. maximum* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas.

Tratamientos	Diámetro (mm)			
	60 días		90 días	
	Media	(EEM)	Media	(EEM)
<i>Pm</i>	2.38	0.37	4.84	0.70
<i>LI + Pm</i>	1.78	0.11	3.41	0.36
<i>LI + Pm + Bb</i>	1.77	0.19	3.40	0.29

*Pm*, *P. maximum*; *LI + Pm*, *L. leucocephala* + *P. maximum*; *LI + Pm + Bb*, *L. leucocephala* + *P. maximum* + *B. brizantha*; EEM, error estándar de la media.

Los resultados muestran que el número de hojas del *P. maximum* a, 60 y 90 días de evaluación no fue afectado por las diferentes combinaciones de *L. leucocephala*. A los 60 días de evaluación, el número de hojas promedio a los 60 días fue de 3.33, a 90 días 4.73 (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** El número de hojas de *P. maximum* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas.

Tratamientos	No. Hojas			
	60 días		90 días	
	Media	(EEM)	Media	(EEM)
<i>Pm</i>	3.40	0.24	5.60	0.40
<i>LI + Pm</i>	3.40	0.24	4.00	0.32
<i>LI + Pm + Bb</i>	3.20	0.20	4.60	0.51

*Pm*, *P. maximum*; *LI + Pm*, *L. leucocephala* + *P. maximum*; *LI + Pm + Bb*, *L. leucocephala* + *P. maximum* + *B. brizantha*; EEM, error estándar de la media.

Los resultados muestran que la altura del *B. brizantha* a, 60 y 90 días de evaluación fue afectado por las diferentes combinaciones de *L. leucocephala*. A los 60 días de evaluación, la altura promedio a los 60 días fue de 9.78 cm, a 90 días 28.4 cm (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Altura total (cm) de *B. brizantha* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas.

Tratamientos	Altura (cm)			
	60 días		90 días	
	Media	(EEM)	Media	(EEM)
<i>Bb</i>	12.80	0.86	44.00	4.36
<i>LI + Bb</i>	7.75	1.11	22.00	3.39
<i>LI + Pm+ Bb</i>	8.80	0.86	19.20	0.49

*Bb*, *B. brizantha*; *LI + Bb*, *L. leucocephala* + *B. brizantha*; *LI + Pm + Bb*, *L. leucocephala* + *P. maximum* + *B. brizantha*; EEM, error estándar de la media.

El diámetro de *B. brizantha* a, 60 y 90 días de evaluación fue afectado por las diferentes combinaciones de *L. leucocephala*. A los 60 días de evaluación, el diámetro promedio a los 60 días fue de 2.68 mm, a 90 días 3.84 mm, (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** El diámetro (mm) de *B. brizantha* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas.

Tratamientos	Diámetro (mm)			
	60 días		90 días	
	Media	(EEM)	Media	(EEM)
<i>Bb</i>	3.67	0.22	4.74	0.25
<i>LI + Bb</i>	2.28	0.28	3.22	0.60
<i>LI + Pm+ Bb</i>	2.10	0.15	3.58	0.20

*Bb*, *B. brizantha*; *LI + Bb*, *L. leucocephala* + *B. brizantha*; *LI + Pm + Bb*, *L. leucocephala* + *P. maximum* + *B. brizantha*; EEM, error estándar de la media.

El número de hojas del *B. brizantha* a, 60 y 90 días de evaluación fue afectado por las diferentes combinaciones de *L. leucocephala*. A los 60 días de evaluación, el número de hojas promedio a los 60 días fue de 3.48, a 90 días 5.11, (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** El número de hojas de *P. maximum* a, 60 y 90 días de evaluación, bajo diferentes combinaciones de *L. leucocephala* en condiciones semi-controladas.

Tratamientos	No. Hojas			
	60 días		90 días	
	Media	(EEM)	Media	(EEM)
<i>Bb</i>	3.80	0.20	6.00	0.32
<i>Ll + Bb</i>	3.25	0.25	4.75	0.47
<i>Ll + Pm+ Bb</i>	3.40	0.24	4.60	0.25

*Bb*, *B. brizantha*; *Ll + Bb*, *L. leucocephala* + *B. brizantha*; *Ll + Pm + Bb*, *L. leucocephala* + *P. maximum* + *B. brizantha*; EEM, error estándar de la media.

## VI. CONCLUSIONES

En base a los resultados anteriores se puede concluir que el crecimiento de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham no fue afectada por los pastos asociados.

El pasto *Brachiaria brizantha* mostró una respuesta deletérea cuando esta fue asociada con *L. leucocephala* cv. Cunningham y más aún con el pasto *Panicum maximum* cv. Tanzania.

El pasto *P. maximum* cv. Tanzania no mostró efectos negativos cuando fue asociado con las demás especies evaluadas (*L. leucocephala* cv. Cunningham y *Brachiaria brizantha*).

Se recomienda realizar más estudios para corroborar que la asociación de especies arbóreas forrajeras y pastos puede contribuir a mejorar la productividad y sostenibilidad de los sistemas ganaderos. Además de incrementar el valor nutricional de los forrajes tropicales.

## **VII. APORTE AL PERFIL PROFESIONAL**

El presente trabajo de investigación nos ayudó para conocer el nivel de las interacciones aéreas en un sistema silvopastoril, conformado por diversas especies tropicales. Este estudio contribuye sustancialmente en la formación del ingeniero agrónomo en producción animal sustentable dado que las necesidades actuales del campo laboral tienen una tendencia al cambio del paradigma de producción pecuaria convencional (basada en pastos en monocultivo) a sistemas de producción amigables con el ambiente, como lo son los sistemas silvopastoriles tropicales.

Este estudio nos da la oportunidad de mejorar el conocimiento en el manejo de especies forrajes tropicales para la producción ganadera en sistemas diversificados, ya que es la base fundamental para un manejo agronómico adecuado, y así incrementar la calidad forrajera en términos de proteína cruda, fibra y minerales, en comparación de pastos en monocultivo, que poseen una baja su calidad forrajera, dado que son altamente dependientes de la estación de lluvias.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SEMARNAT (2013) Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental (Edición 2012). México. DF. ISBN: 978-607-8246-61-8.
- BACAB HM, MADERA NB, SOLORIO FJ, VERA F, MARRUFO DF (2013) Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaenaleucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3): 67–81.
- ANDRADE CMS, VALENTIM JF, CARNEIRO JC, VAZ FA (2004) Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageirastrópicas sob sombreamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 263-270.
- CAAMAL-MALDONADOJA, CASANOVA-LUGO F, GONZÁLEZ-MORENOA, CAAMAL-CAAMAL J, XIU-CANCHÉ P, NAVARRO AJ, CASTILLO-CAAMAL JB (2012) Producción de alimento, forraje y servicios ambientales de sistemas agroforestales en Yucatán, México. *In: Avances de Investigación en Producción Animal en Iberoamérica*. Castelán Ortega O., Álvarez Macías A, Bernués Jal A, Ku Vera JC, Silveira V (eds). Ediciones de la UADY, Mérida, Yucatán, México. Pp. 79-104.
- CASANOVA-LUGO F, RAMÍREZ-AVILÉS L, SOLORIO-SÁNCHEZ FJ (2007) Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 11 (3): 41-52.
- CASANOVA-LUGO F, RAMÍREZ-AVILÉS L, SOLORIO-SÁNCHEZ FJ (2010) Effect of pruning interval on foliage and root biomass in forage tree species in monoculture and in association. *Trop Subtrop Agroecosyst*, 12: 33–41.
- CASANOVA-LUGO F, PETIT-ALDANA J, SOLORIO-SÁNCHEZ FJ, PARSONS D, RAMÍREZ-AVILÉS L (2014) Forage yield and quality of *Leucaenaleucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan, Mexico. *AgroforSyst*, 88(1): 29–39.

- DELGADO GH, RAMÍREZ AL, KU VJ, VELÁZQUEZ MA, ESCAMILLA BJ (2003) Root Density and Soil Water Relationships of a Silvopastoral System of the Tropical Region of Yucatan, Mexico. Third International Symposium on the Dynamics of Physiological Processes in Woody Roots. Perth Australia. September 29- October 3.
- Dias-Filho MB (2002) Photosynthetic light response of the C<sub>4</sub> grasses *Brachiariabrizantha* and *B. humidicola* under shade. *ScientiaAgricola* 59: 65-68.
- FAO (2011) Situación de los bosques del mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia, 176p.
- GALLEGOS-PÉREZ M, CAAMAL-MALDONADO A, CASANOVA-LUGO F, TZUC-MARTÍNEZ R (2013) Rendimiento de forraje de especies arbóreas en sistemas agroforestales y su uso como abono verde para el maíz. XL Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A.C. (AMPA) y IX Seminario Internacional de Ovinos en el Trópico, del 22 al 24 de Mayo 2013, Villahermosa, Tabasco, México.
- García M (1973) Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen. México. UNAM. pp. 243.
- HERNÁNDEZ M, GUENNI O (2008) Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr) *Zootecnia Tropical* 26: 439-453.
- Hoffmann WA, Poorter H (2002) Avoiding bias in calculations of relative growth rate. *Annals of Botany*, 80: 37-42.
- MARTÍNEZ-ENCINOC, VILLANUEVA-LÓPEZ G, CASANOVA-LUGO F (2013) Densidad y composición de árboles dispersos en potreros en la Sierra de Tabasco. *Revista Agrociencia*, 47: 483-496.
- MURGUEITIO E, CALLE Z, URIBE F, CALLE A, SOLORIO B (2011) Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *For Ecol Manage* 261: 1654–1663.
- ONG CK, KHO RM, RADERSMA S (2004) Ecological interactions in multispecies agroecosystems: concepts and rules. In: *Below-ground interactions in tropical*

- agroecosystems: concepts and models with multiple plant components, Noordwijk MV, Cadisch G, Ong CK (eds.), pp. 1-15.
- PETIT-ALDANA JC (2011) Fodder tree species in association to improve productivity and nutrients cycling. Campus of biological and agricultural sciences. University of Yucatan, Merida, p 137.
- Pierret A, Gonkhamdee S, Jourdan C, Maeght JL (2013) IJ\_Rhizo: an open-source software to measure scanned images of root samples. *Plant and Soil*, 373 (1-2): 531-539.
- PIÑEIRO-VÁZQUEZ AT, AYALA-BURGOS AJ, CHAY-CANUL AJ, KU-VERA JC (2013) Dry matter intake and digestibility of rations replacing concentrates with graded levels of *Enterolobiumcyclocarpum* in pelibuey lambs. *Trop Anim Health Prod*, 45: 577–583.
- SAGE RF, PEARCY RW (2000) The Physiological ecology of C4 photosynthesis. In *Photosynthesis: Physiology and Metabolism*. Leegood R. C., T. D. Sharkey and S. von Caemmerer (eds), pp. 497–532. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- SARABIA-SALGADO L, SOLORIO-SÁNCHEZ F, CASANOVA-LUGO F, RAMÍREZ-AVILÉS L, KU-VERA J, CAAMAL-MALDONADO A (2013) Effect of defoliation frequency on forage yield from intensive silvopastoral systems compared to a monoculture grassland. XXII International Grasslands Congress on Sunday 15 – Thursday 19 September in Sydney, Australia.
- SAS Institute Inc. (2009) SAS/STAT® 9.2 User's Guide, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SHIBU J (2012) Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *AgroforSyst*, 85(1): 1–8.
- SILVA CCM (2007) Características morfológicas e anatômicas de *Brachiariadecumbens* Stapf (Poaceae) em um sistema silvipastoril. 31 p. Dissertação do grau de Mestrado em Ciências, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Brasil.
- SOLORIO-SÁNCHEZ FJ, CASANOVA-LUGO F, BRICEÑO-POOT E, AGUILAR PÉREZ C, AYALA-BURGOS A, SARABIA-SALGADO L, RAMÍREZ-AVILÉS L,

- KU-VERA J (2013) Sistemas silvopastoriles para la producción de la ganadería tropical en México. XL Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A.C. (AMPA) y IX Seminario Internacional de Ovinos en el Trópico, del 22 al 24 de Mayo 2013, Villahermosa, Tabasco, México.
- SOUSA LF, MAURÍCIO RM, MOREIRA GR, GONÇALVES LC, BORGES I, PEREIRA LGP (2010) Nutritional evaluation of “Braquiarao” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. *Agroforestry Systems* 79:189–199.
- TAMAYO-CHIM M, REYES-GARCÍA C, ORELLANA R (2012) A combination of forage species with different responses to drought can increase year-round productivity in seasonally dry silvopastoral systems. *AgroforSyst*, 84(2): 287–297.

## IX. ANEXOS

**Anexo 1.** Elaboración de contenedores para el estudio de las interacciones entre especies forrajeras (armado, barnizado, llenado de contenedores, etc.).



**Anexo 2.** Escarificación de semillas de *Leucaena leucocephala* a través del método de agua caliente.



**Anexo 3.** Trasplante de plántulas de *Leucaena leucocephala*, pasto Tanzania y pasto brizantha a bolsas plásticas.



**Anexo 4.** Fotografías del trasplante de plántulas a los contenedores de madera al sitio experimental.



**Anexo 5.** Fotografías de los muestreos periódicos del crecimiento de las especies a 30, 60 y 90 días después del trasplante.

