



# Universidad Nacional Autónoma de México

## **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

ECOLOGÍA

**EFFECTO DEL PREACONDICIONAMIENTO EN SEMILLAS PARA PLÁNTULAS DE  
ÁRBOLES DE SOMBRA MULTIUSOS DEL NORTE DE VERACRUZ**

## **TESIS**

PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**HUMBERTO PERAZA VILLARREAL**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS:**

DRA. ALMA DELFINA LUCÍA OROZCO SEGOVIA

Instituto de Ecología, UNAM

**COMITÉ TUTOR:**

DRA. CLARA TINOCO OJANGUREN

Instituto de Ecología, UNAM

DR. ROBERTO LINDIG CISNEROS

CIEco, UNAM

MÉXICO, D.F. JUNIO, 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





# Universidad Nacional Autónoma de México

## **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

ECOLOGÍA

**EFFECTO DEL PREACONDICIONAMIENTO EN SEMILLAS PARA PLÁNTULAS DE ÁRBOLES DE SOMBRA MULTIUSOS DEL NORTE DE VERACRUZ**

## **TESIS**

PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**HUMBERTO PERAZA VILLARREAL**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS:**

DRA. ALMA DELFINA LUCÍA OROZCO SEGOVIA

Instituto de Ecología, UNAM

**COMITÉ TUTOR:**

DRA. CLARA TINOCO OJANGUREN

Instituto de Ecología, UNAM

DR. ROBERTO LINDIG CISNEROS

CIEco, UNAM

MÉXICO, D.F. JUNIO, 2014



Dr. Isidro Ávila Martínez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informar a usted que el Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas, en su sesión ordinaria del día 07 de abril de 2014, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** del alumno **PERAZA VILLARREAL HUMBERTO** con número de cuenta **301748528** con la tesis titulada "Efecto del preacondicionamiento en semillas para plántulas de árboles de sombra multiusos del norte de Veracruz", realizada bajo la dirección del la **DRA. ALMA DELFINA LUCIA OROZCO SEGOVIA**:

Presidente: DR. ZENON CANO SANTANA  
Vocal: DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO  
Secretario: DR. ROBERTO ANTONIO LINDIG CISNEROS  
Suplente: DRA. MARIA DEL ROCIO CRUZ ORTEGA  
Suplente: DRA. CLARA LEONOR TINOCO OJANGUREN

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a 02 de junio de 2014.

*M. del Coro Arizpe*  
DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA  
COORDINADORA DEL PROGRAMA



c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).



### **Agradecimientos institucionales**

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM, por constituir una etapa sólida etapa de conocimientos y experiencias teórico-prácticas en mi formación profesional.

Al programa de Apoyo a Estudiantes de Posgrado (PAEP), de la UNAM, especialmente por los apoyo recibido para asistir a la materia de agroecología y al Curso-taller: "Sistemas socioambientales complejos: conceptos y herramientas para el estudio de la sustentabilidad" celebrado en el CIEco,UNAM ,Campus Morelia durante el 2013.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado (número de becario 271060).

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, UNAM, (PAPIT IN201912) por el financiamiento de este proyecto de maestría.

Agradezco a mi tutora de tesis la Dra. Alma Delfina Lucia Orozco Segovia que ha confiado en mi persona, quien siempre me apoyo tanto en la vida académica como cotidiana, con sus conocimientos y experiencias en campo, así como por su confianza, disposición y paciencia durante la dirección de este proyecto de maestría.

Agradezco a los integrantes de mi comité tutorial al Dr. Roberto Antonio Lindig Cisneros y a la Dra. Clara Leonor Tinoco Ojanguren, por su apoyo, correcciones de mi escrito de tesis y por la disposición que mostraron siempre que fue necesaria.

## **Agradecimientos Personales**

Durante el desarrollo de este trabajo hubo un proceso de transformación y trabajo personal fuerte, así como la fortuna de contar con el apoyo de muchísimos seres queridos y personas que estimo en gran medida, por lo que en esta hoja plasmare mis agradecimientos y reconocimientos a todos y a cada uno de ellos que me han acompañado en este largo camino que es el de la ciencia.

Agradezco al Dador de Vida, por la salud y permitirme disfrutar de lo bello de la naturaleza.

Al pueblo de México por aportar con sus impuestos los medios para desarrollar este trabajo.

A mis padres Humberto y Annabell, que me han apoyado a todo lo largo de mi vida en cada uno de sus matices y a los cuales amo.

A mi hermana Karla Vanessa y a mis sobrinos Frida y Alexandro por su apoyo y momentos de diversión que me dieron fuerza para continuar.

A Luz Palestina, por la ayuda durante la medición en invernadero y campo, por todos esos consejos en los momentos críticos, por la comprensión y ser un pilar en esta etapa importante de mi vida.

A la Dra. Alma Orozco Segovia por su confianza, paciencia, comprensión y apoyo, que han moldeado al hombre rustico que llevo en un inició a su laboratorio y lo ha encaminado al conocimiento y amor por la ciencia.

A M. en C. Biol. María Ester Sánchez, por tu apoyo técnico y durante el análisis de datos de mi tesis.

Al Dr. Noé Velázquez Rosas por su apoyo durante la recolección de semillas y contactos en campo.

A la Dra. Alicia Gamboa de Buen por las facilidades para cuantificar lípidos en laboratorio.

Gracias a mi amigos de Papantla, en especial a Pasiano León (Chanocoatl) y Victoria León (Viky), por todas esas aventuras durante las largas faenas de medición en campo, por proporcionarme alimentos y un techo siempre, pero más que nada por dejarme ser su amigo.

A la comisaria comunal de San Antonio Ojital, Papantla la tía Aurelia, por su apoyo en el sitio de estudio.

A tía Martha y tío Agustín por los alimentos y alojamiento en (San Antonio Ojital, Papantla).

Al futuro de San Antonio Ojital, Papantla: Humberto (tito), Mario y Dulce por su apoyo con el cuidado de la palantación.

Gracias a mi gran amigo mexicana José (Omecoatl), por tu apoyo en campo y todas aquellas aventuras.

Al antropólogo Jesús Trejo (Chucho), por su apoyo incondicional en el sitio de estudio, amistad y platicas amenas sobre los voladores de Papantla.

Al personal del INHA de la Zona arqueológica del Tajin en especial al Arq. Adolfo Vergara, Dra. Patricia Castillo, Ing. Hugo y Ana Elba Afani por su gran apoyo durante su dirección de la zona arqueológica del Tajin.



A Favs Llamas por la ayuda durante la medición en invernadero

A mis amigos del laboratorio de ecofisiología vegetal:

Ángel Gabriel por todos tus consejos y sabiduría en la biología, así como por su sudor, sangre dúrante su apoyo en campo.

Alfredo (Chuk) por tu apoyo en campo y buena vibra que siempre me has brindado.

Alexis (mochomo) solo por los momentos chilos y no por los de bullying; pero ya en serio por el apoyo.

Alejandra Rosette. Por el apoyo en campo y todos los consejos que me diste sobre aspectos de mi proyecto.

Al equipo ceiba: Ximena y Marimar por el apoyo y durante mi paso por la maestría

Luis Vidal por el apoyo en campo y situaciones extremas de los papeleos del posgrado.

George por el siempre tener un momento para apoyarme en cuestiones del entendimiento de la estadística.

Sandra por apoyarme siempre con tu experiencia en la ciencia.

Gabriel y Maribel por su apoyo en campo durante las largas jornadas bajo la lluvia.

A Martin por su amistad y distracción.

Alejandra López por su compañerismo durante las clases y la maestría.

Al Ing. Hugo González por apoyo y disposición para realizar las salidas a campo.

Al Lic. Felipe Barajas por la facilitación para la donación de equipo a la comunidad de San Antonio Ojital, Papantla.

A Laura Malagon por su apoyo en el laboratorio.

Al M. en I. Alejandro González Ponce y al Ing. Daniel Valle Vidal, por el continuo apoyo proporcionado en la instalación de Software y enlaces con video conferencias con el CIEco y las instalaciones de la UNAM en Hermosillo Sonora.

A el apoyo técnico al Biol. José Gerardo Rodríguez Tapia (Unidad de Geomática del Instituto de Ecología. UNAM) por su apoyo en mi aprendizaje en los sistemas de información geográfica.

A la Lic. Erika Rodríguez Reyes de la coordinación de posgrado por su apoyo siempre eficiente durante mi trayecto en la maestría.

A Patricia Martínez Reyes por su apoyo durante su labor en la Coordinación de Posgrado.

A mis grandes amigos de la vida José Antonio Castillo y Danai García, por su apoyo moral.



Planta un árbol hoy para que te de sombra mañana.

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN .....  | i  |
| ABSTRACT .....   | ii |
| I.INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| II.ANTECEDENTES .....  | 3  |
| 1.1 La germinación.....  | 5  |
| 1.2 Preacondicionamiento de semillas.....                              | 7  |
| 1.3 Preacondicionamiento hídrico de semillas .....                     | 9  |
| 1.4 Preacondicionamiento natural de semillas.....                      | 10 |
| 1.5 Semillas ortodoxas.....  | 11 |
| 1.6 Restauración ecológica.....  | 12 |
| 1.7 Agroforestería.....  | 13 |
| 1.8 Sistemas agrosilvopastoriles.....                                  | 14 |
| 1.9 Aspectos sociales y entorno del sitio de estudio.....              | 15 |
| III.OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....  | 17 |
| Objetivo general . .....   | 17 |
| Objetivos particulares .....   | 17 |
| Hipótesis.....   | 18 |
| IV.METODOLOGÍA .....   | 18 |
| 4.1 Zona de estudio.....   | 18 |
| 4.2. Especies estudiadas .....   | 21 |
| 4.2.1 <i>Cedrela odorata</i> L. (Meliaceae) .....                      | 22 |
| 4.2.2 <i>Swietenia macrophylla</i> King (Meliaceae) .....              | 24 |
| 4.2.3. <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb. (Fabaceae)..... | 26 |
| 4.2.4. <i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.(Fabaceae) .....              | 28 |
| 4.3. Recolecta de frutos .....   | 31 |
| 4.3. Germinación .....   | 32 |
| Escarificación de las semillas impermeables.....                       | 32 |
| 4.4. Características de las semillas .....                             | 33 |
| 4.4.1. Peso fresco, seco y contenido de humedad en las semillas .....  | 33 |
| 4.4.2. Determinación de lípidos.....                                   | 34 |

|  |    |
|--|----|
| 4.4.3. Dinámica de hidratación de las semillas.....  | 34 |
| 4.5. Preacondicionamientos.....  | 35 |
| 4.5.1. Preacondicionamiento hídrico .....  | 35 |
| 4.5.2. Preacondicionamiento natural. ....  | 36 |
| 4.6. Respuesta germinativa a los preacondicionamientos y a la temperatura.....   | 37 |
| 4.7. Análisis de datos de germinación .....  | 38 |
| 4.8 Recolecta de suelo para el crecimiento de plántulas .....  | 39 |
| 4.9 Crecimiento de las plántulas en invernadero.....   | 40 |
| 4.Crecimiento de plántulas en campo.....   | 41 |
| Tasa de crecimiento por temporadas .....   | 42 |
| Análisis de supervivencia en campo.....  | 43 |
| V.RESULTADOS .....   | 44 |
| 5.1. Contenido de lípidos en semillas .....  | 45 |
| 5.2. Peso fresco, peso seco y contenido de humedad en las semillas .....   | 45 |
| 5.3. Dinámica de hidratación de las semillas.....  | 47 |
| 5.3.1. Imbibición de <i>Cedrela odorata</i> .....  | 47 |
| 5.3.2. Imbibición de <i>Swietenia macrophylla</i> .....  | 47 |
| 5.3.3. Imbibición de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> .....   | 49 |
| 5.3.4. Imbibición de <i>Samanea saman</i> .....  | 50 |
| 5.4. Efecto del preacondicionamiento natural, hídrico y control sobre la germinación de semillas de la selva mediana subperennifolia ..... | 51 |
| 5.4.1. Preacondicionamientos en semillas de <i>Cedrela odorata</i> .....   | 51 |
| 5.4.2. Preacondicionamientos en semillas de <i>Swietenia macrophylla</i> .....   | 54 |
| 5.4.3. Preacondicionamientos en semillas de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> .....  | 57 |
| 5.4.4. Preacondicionamientos en semillas de <i>Saman saman</i> .....   | 60 |
| 5.5. Transplante de plántulas a campo.....   | 64 |
| 5.6. Crecimiento de plántulas en campo ( sitio1, sin pendiente) .....  | 68 |
| 5.6.1. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de <i>Swietenia macrophylla</i> .....         | 68 |
| 5.6.2. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> .....      | 71 |
| 5.6.3. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de <i>Samanea saman</i> .....                 | 73 |

|   |    |
|---|----|
| 5.7. Crecimiento de plántulas (sitio 2, pendiente del 75%) .....  | 75 |
| 5.7.1. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de <i>Swietenia macrophylla</i> .....    | 75 |
| 5.7.2. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> ..... | 77 |
| 5.7.3. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de <i>Samanea saman</i> .....            | 79 |
| VI.DISCUSIÓN .....  | 83 |
| VII.CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....  | 93 |
| 7.1. Conclusiones.....  | 93 |
| 7.2. Perspectivas .....   | 95 |
| VIII.LITERATURA CITADA .....  | 96 |

## RESUMEN

Las semillas representan el reservorio genético de las plantas así como el principal insumo para el establecimiento de viveros forestales, sin embargo, poco se sabe sobre la fisiología de la germinación de las semillas de especies silvestres de importancia ecológica, cultural y económica de México con potencial para la restauración ecológica. Se ha demostrado que el acondicionamiento natural e hídrico de semillas de plantas cultivadas y de algunas plantas silvestres produce un aumento de vigor de la semilla y de las plántulas resultantes de éstas. En el primero las semillas perciben las señales ambientales de su entorno, en el suelo, como los periodos de hidratación-deshidratación a los que están expuestas en el campo, lo que activa la expresión de procesos moleculares y funcionales que repercuten en la germinación y el desarrollo de las plántulas, permitiéndoles adaptarse a condiciones de estrés hídrico y térmico. Esto es similar al acondicionamiento hídrico y mátrico, en el cual las semillas se embeben en agua o en una matriz sólida, en condiciones ambientales reguladas en laboratorio. El efecto de ambos preacondicionamientos es similar: germinación rápida y sincrónica y un mayor vigor de la plántula. Lo mismo ocurre si la matriz es el suelo, y en cuyo caso se habla de acondicionamiento natural. Por lo tanto es fundamental usar semillas de especies nativas para ser tratadas con acondicionamiento natural e hídrico, para aumentar el vigor y el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas en sitios perturbados, promoviendo la restauración ecológica. En el estado de Veracruz se estima que existen alrededor de 1,300 especies de árboles y solo se conserva el 16% de la cobertura de vegetación original. Por lo que, en este trabajo se determinó el efecto del acondicionamiento natural e hídrico, en la cinética de imbibición, los parámetros germinativos y los efectos subsecuentes en las plántulas resultantes de semillas acondicionadas de: *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Samanea saman* y *Enterolobium cyclocarpum*. Especies distribuidas en el estado de Veracruz. En la mayoría de las semillas de estas especies los preacondicionamientos no afectaron la cinética de imbibición ni los parámetros de crecimiento, sin embargo sí afectaron el inicio, velocidad y tiempo promedio de germinación, así como en la supervivencia en campo. Los efectos de los preacondicionamientos fueron mayormente observados en las semillas de *S. macrophylla* con acondicionamiento natural y a temperatura fluctuante. Fue notoria la reducción del inicio y el tiempo promedio de germinación, la cual fue más homogénea que en *E.cyclocarpum*. En esta especie el acondicionamiento hídrico, a 25/35°C, indujo una mayor tasa de germinación que las semillas con acondicionamiento natural, pero el porcentaje de germinación diaria acumulada no tuvo diferencias significativas con el control. En Semillas escarificadas de *S. saman* el acondicionamiento natural a 25/35 °C, indujo mayor velocidad y uniformidad de germinación que en semillas con acondicionamiento natural no escarificadas, con acondicionamiento hídrico y en el control. En *C. odorata* el preacondicionamiento hídrico y natural a 25/35°C también indujo mayor porcentaje de germinación que a 25 °C, mientras que en semillas con acondicionamiento hídrico el porcentaje de germinación, la velocidad y la sincronía fueron menores; debido quizá a un daño provocado por la rápida imbibición de la semilla durante el pretratamiento. En general todas las especies tuvieron mayor supervivencia en alguno de los dos sitios de crecimiento, cuando se les aplicó preacondicionamiento hídrico o natural. Las semillas control tuvieron un comportamiento similar al de las semillas con acondicionamiento natural. Por lo tanto, en las especies utilizadas en este estudio, la respuesta a los preacondicionamientos no fue igual en todas las especies, sin embargo, para todas se recomienda su uso dentro del contexto en el que se obtuvieron mejores resultados.

## ABSTRACT

Seeds represent the genetic pool of plants as well as the main input for the establishment of forest nurseries. However, little is known about the physiology of wild species seed germination with ecological, cultural and economic importance of México and potential for ecological restoration. Seeds of cultivated and some wild plants have shown that the hydric, matrix and natural conditioning (matrix priming in soil) produce increased seed and seedling vigor. In natural conditioning, seeds perceive environmental cues from their environment. In the ground, as the periods of hydration-dehydration at they are exposed in the field, which activates the expression of molecular and functional processes that affect germination and seedling development. This process enables them to adapt to conditions of water and temperature stress. This is similar to the results produced by the conditioning in water or in a matrix under laboratory regulated conditions. The preconditioning effect is: a rapid and synchronous germination and increased seedling vigor. Therefore it is essential to use native species seeds to be treated with natural and water conditioning, in order to increase seed and/or seedling vigor and survival in disturbed sites, promoting ecological restoration. In the state of Veracruz is estimated that there are about 1,300 species of trees and only 16 % of the original vegetation cover remains. In this work we tested in *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Samanea saman* and *Enterolobium cyclocarpum* the effect of natural and water conditioning on the kinetics of imbibition, the germination parameters and the subsequent seedlings growth and survival in the field. In most seeds of these species the preconditioning imbibition kinetics was not affected. However the lag time, the germination rate and percentage and the mean germination time were affected. The effects of preconditioning were mostly observed in the seeds of *S. macrophylla* with natural conditioning and fluctuating temperature. It was observed noticeable reduction in the lag time and in the mean germination time. Therefore germination was more homogeneous than in *E.cyclocarpum*. In this species, the water conditioning, a 25/35°C, induced a higher germination rate with natural conditioning, but the final germination had no significant difference with the control. In scarified seeds of *S. saman* with natural conditioning at 25/35 ° C, germination rate and percentage and the uniformity of germination were higher than in seeds with water conditioning and control. *C. odorata* in the water and natural preconditioning at 25/35°C also had higher germination percentage at 25°C. While in the water conditioning seed germination percentage, speed and synchrony was lower; probably due to imbibitional damages caused by the rapid imbibition of the seed during pretreatment. This results show that, the studied species responded differentially to the preconditioning treatments applied. In addition, since each species have favored some step during germination for some of the two pretreatments we recommended to using them. Survival was mainly increased by natural conditioning



## I.INTRODUCCIÓN

Veracruz es uno de los estados con mayor riqueza biológica y mineral, siendo sexto lugar a nivel nacional, con una contribución del 4.7% al PIB nacional (INEGI, 2009), tal aportación se sostiene gracias a la presión a la que han sido sometidos sus ecosistemas, principalmente por el cambio de uso de suelo para realizar actividades agropecuarias. Esto ha dado como resultado una paulatina pero acelerada transformación de su paisaje original que ha fragmentado los macizos de vegetación. Actualmente Veracruz solo cuenta con el 16% de la cobertura de vegetación original (Benítez y Equihua, 2004). Así, la transformación de la cobertura es tan extensa que resulta prácticamente imposible restaurarla a corto plazo (Benítez y Equihua, 2004). Uno de los planteamientos de la restauración ecológica es la reconstrucción de la composición, la estructura y la funcionalidad del ecosistema, comunidades o poblaciones que por efecto del disturbio físico, biótico o humano se han perturbado. Dependiendo del grado del disturbio, el proceso de restauración requerirá o no de la intervención del hombre para el restablecimiento y persistencia del ecosistema (González-Zertuche, 2005).

Aunado a la conservación, es importante cubrir las necesidades básicas de los habitantes de estas regiones, de tal modo que la restauración de sus predios lleve consigo la posibilidad de dar uso a sus recursos naturales de manera sostenible, por lo que es preciso darle a la restauración ecológica un enfoque práctico. Vázquez-Yanes y Batis (1996) plantean que los sistemas agrosilvipastoriles pueden ser una alternativa para recuperar la cubierta vegetal a través de un uso sostenible de la tierra. Esto coincide parcialmente con la propuesta de otros autores de construir comunidades agroforestales con explotación sustentable (Bradshaw *et al.*, 1987 Zertuche, 2005).

Se ha reconocido la necesidad de realizar investigaciones que permitan mejorar la eficiencia de las herramientas básicas de la restauración ecológica, como lo son la propagación de especies nativas y su establecimiento (González-Zertuche *et al.*, 2000; Sautu *et al.*, 2006; Sánchez-Coronado *et al.*, 2007), ya sea dentro o fuera de sistemas agrosilvícolas.

La agronomía ha desarrollado herramientas que pueden ser utilizadas en restauración, tales como los tratamientos pregerminativos que mejoran la germinación, el crecimiento y la supervivencia de las plántulas, así como la cosecha en especies cultivadas. Estos pretratamientos, conocidos en general como tratamientos de acondicionamiento osmótico, hídrico, mátrico y de vapor, dependiendo de la forma en que se hidratan las semillas (en una solución osmótica, en agua, en una matriz sólida, o en vapor de agua, respectivamente), antes de volver a deshidratarlas y germinarlas posteriormente, cuando esto se requiera. Los beneficios de los preacondicionamientos se mantienen durante el almacenamiento, por lo que en este proyecto se aplicaran los preacondicionamientos a semillas de cuatro especies nativas del Norte de Veracruz (*Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Samanea saman* y *Enterolobium cyclocarpum*), que presentan varios de los atributos deseables en las especies utilizadas en la restauración: mejoramiento de la sombra, incremento en el ciclaje de nutrientes y de la nitrificación en el suelo, formación de suelo gracias al aporte de materia orgánica, retención de suelo, valores culturales y económicos (fruto, leña, madera, medicina, etc.) usos en apicultura y actividades pecuarias, así como otras actividades diversas.

## II. ANTECEDENTES

La semilla es el producto de la fecundación del óvulo con el gameto masculino y es una estructura en reposo en la cual los procesos metabólicos se encuentran suspendidos, debido principalmente a la ausencia de agua (Taiz y Zeiger, 2002). La semilla consta esencialmente de un embrión (formado por un eje embrionario y uno, dos o varios cotiledones), una provisión de reservas nutritivas, que pueden almacenarse en un tejido especializado (perispermo o endospermo) o en el propio embrión, y una cubierta seminal que recubre y protege a ambos (Bewley y Black, 1994). En las plantas la semilla representa, el órgano de reproducción, diseminación y establecimiento de nuevos individuos. Ésta presenta características fisiológicas muy variadas dependiendo de las especies y de las condiciones ambientales donde crecen las plantas (Vázquez-Yanes, 1990). La semilla es un órgano con muy baja actividad metabólica, la cual se incrementa cuando se presentan las condiciones que les permiten germinar o al menos llevar a cabo algunos de los procesos bioquímicos y moleculares que preceden a la germinación de ésta. (Bewley y Black, 1994). Este incremento en el metabolismo es esencial para que el embrión crezca y produzca una plántula capaz de enfrentar los diferentes factores de estrés presentes en su entorno natural y por lo tanto establecerse y crecer, para finalmente convertirse en una planta adulta.

Como resultado de la evolución y la diversificación hay diferencias morfológicas y funcionales entre las semillas de las distintas especies, que se reflejan en su tamaño, organización de tejidos, tipos de reservas, grado de hidratación al momento de la diseminación, ausencia o presencia y complejidad de los mecanismos de latencia, longevidad, tipo de dispersión, y otras características fisiológicas que determinan la distribución de la germinación en el tiempo y el espacio, así como

la protección del embrión y el material genético, en general, del medio externo (Vázquez-Yanes, 1999).

Por lo regular, la semilla se encuentra sumamente deshidratada y está compuesta principalmente del eje embrionario, el o los cotiledones, el o los tejidos de reserva y una o varias cubiertas que pueden ser permeables o impermeables, delgadas o gruesas o duras. Por lo general, se trata de la cubierta seminal (testa y tegmen) a la cual se le pueden adicionar incluso partes duras del fruto como el endocarpo, en el durazno (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2013).

Para que se inicie el proceso de germinación, la semilla debe estar expuesta a una serie de factores ambientales que influyen en el estado de reposo o latencia de la semilla, los cuales son requerimientos que promueven la germinación en el primer caso o favorecen el rompimiento de la latencia y en ambos casos se promueve que se inicie la emergencia de la radícula (Taiz y Zeiger, 2002). Generalmente los factores ambientales que son requerimiento para la germinación son: temperatura, humedad y luz (Bewley y Black, 1994; Fenner y Thompson 2006; Bradbeer, 1994; Baskin y Baskin, 1998). La temperatura y otros factores también participan en el rompimiento de la latencia, como ciertos gases y sustancias químicas, tales como  $O_2/CO_2$  y compuestos nitrogenados (nitratos, amonio, etc.). Hay otras características inherentes a la semilla, como son la viabilidad y la latencia, que aunque están determinados genéticamente pueden ser modificados por los factores ambientales maternos (Bewley y Black, 1994). Bradbeer (1988) menciona que los requerimientos de las semillas para poder germinar varían de especie a especie y que la calidad y cantidad de estos requerimientos puede ser modificada por la edad de la semilla y el efecto materno. La germinación comprende una serie de pasos que incluyen procesos metabólicos y morfogénicos cuyo resultado final es la germinación de las semillas.

## **1.1. La germinación**

La germinación se define como la reanudación del crecimiento del embrión contenido en la semilla, ésta ocurre en una secuencia de eventos: imbibición del embrión, incremento en su respiración, así como la movilización y el catabolismo de reservas de almacenamiento de la semilla y por último la elongación celular y la protrusión de la radícula (Bewley, 1997). Los factores que inducen la germinación son el agua, la temperatura y la luz (Bewley y Black, 1985; Fenner y Thompson, 2006; Bradbeer, 1994; Baskin y Baskin, 1998), cada uno de ellos tiene una relevancia distinta para la germinación dependiendo de las características del hábitat de la especie, el micrositio donde ésta ocurre, la estación del año en que germina, etc. En general es la interacción de estos factores lo que determina que una semilla germine y que ésta sea exitosa, es decir que ocurra el establecimiento de un nuevo individuo.

En resumen, durante el proceso de la germinación se recupera la actividad metabólica de la semilla, esto ocurre bajo una serie de condiciones ambientales favorables, como la humedad del sustrato, la presencia de luz, la disponibilidad de oxígeno y una temperatura adecuada para que cada especie pueda llevar a cabo los distintos procesos metabólicos, bioquímicos y moleculares que conducen a la germinación. Las etapas de la germinación que conducen a la emergencia de la radícula se inician con la absorción del agua y la activación metabólica del embrión (Taiz y Zeiger, 2002). Además de los cambios antes mencionados tiene que ocurrir la elongación celular del eje embrionario, lo que provoca la ruptura de la cubierta seminal, lo que generalmente da lugar a la protrusión de la radícula. Durante el proceso de germinación se presentan una serie de eventos tales como la hidratación y síntesis de proteínas, cambios estructurales celulares, como el ensamblaje de mitocondrias, reparación de membranas, aumento en la tasa de respiración, síntesis

de ácidos nucleídos y de enzimas, alargamiento celular y posterior división celular, activación de organelos (ribosomas, mitocondrias, etc.) (Bewley y Black, 1994).

La germinación de la semilla es un proceso trifásico en la que los procesos que se llevan a cabo se superponen y tienen una fuerte relación con el patrón de absorción de agua (Fig.1). La absorción de agua es el primer paso de la germinación, sin el cual el proceso no puede darse. En la fase I o de hidratación, la semilla presenta una toma de agua rápida por parte de los tejidos que forman la semilla, dada primordialmente por factores físicos como lo es el potencial mátrico de la semilla y el suelo; aumentándose el contenido de humedad y volumen (hinchamiento) del embrión y sus reservas, promoviendo la actividad respiratoria y la movilización de proteínas de reserva del embrión, así como el inicio de la síntesis de proteínas. Durante esta fase se lixivian algunos solutos de la semilla y la cantidad de éstos incrementa en tanto envejecen las semillas (Ching, 1972, Côme y Thêvenot, 1982, Bewley y Black, 1985, Sánchez, 2001; Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

Durante la fase II (fase estacionaria o lag) de manera más activa ocurren cambios químicos, bioquímicos y moleculares necesarios para el correcto desarrollo de la plántula, en esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente. Al final de esta etapa se inician dos procesos fisiológicos sucesivos, el reinicio de la toma de agua y el consecuente aumento de tamaño del embrión por elongación celular. Como parte de estos cambios, en las células se activa la bomba de protones que acidifica las paredes celulares que promueven la plasticidad estructural de las células, iniciándose también la vacuolización.

En la fase III, la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria; se inicia el crecimiento y la división celular que provoca la ruptura final de la cubierta seminal con la posterior protrusión radicular. Durante esta fase se inicia la movilización de sustancias de

reserva de los cotiledones, que garantiza el posterior establecimiento de la plántula (Ching, 1972, Sánchez, 2001, Vázquez-Yanes, 1997, Bewley y Black, 1985).

## **1.2. Preacondicionamiento de semillas**

Los preacondicionamientos de hidratación regulada-deshidratación han demostrado ser eficaces para vigorizar la germinación de semillas de especies cultivadas (acelera, incrementa y uniformiza la germinación). Además se ha observado que hay una revigorización de las semillas viejas, con lo que se incrementa su longevidad durante el almacenamiento (Sánchez, 2001).

Dado que las semillas son fundamentales como reservorios genéticos y para la propagación de especies de valor económico y biológico, es preponderante mejorar las técnicas de almacenamiento, que permitan aumentar su viabilidad y calidad, y la propagación de especies por esta vía. Una de las técnicas que se utiliza para incrementar el vigor y la tolerancia al estrés de las plántulas cultivadas es también el acondicionamiento (Bray, 1995), conocido también como pretratamiento endurecedor, robustecedor, o de hidratación-deshidratación de semillas (Henckel *et al.*, 1964). Este procedimiento fue creado inicialmente para mejorar el rendimiento productivo de especies de importancia agrícola (Welbaum *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 2001; Ashraf y Foolad, 2005).

El preacondicionamiento de semillas permite también terminar con la latencia en algunas especies, aumenta la velocidad de germinación y la uniformiza. La técnica consiste en permitir la iniciación del proceso de germinación durante la hidratación controlada de las semillas, sin permitir la protrusión radicular (Anese, 2011). Este método también incrementa una mayor tolerancia a la desecación en la plántula. El acondicionamiento se puede realizar hidratando a la

semilla con agua, a tal procedimiento se le denomina acondicionamiento hídrico (Fig.1) y si la semilla se embebe en soluciones osmóticas de polietilenglicol (PEG), NaCl u otras, se le denomina acondicionamiento osmótico (González-Zertuche *et al.*, 2000). Si la hidratación ocurre en una matriz sólida, como la agrolita, vermiculita, arena o suelo; se llama acondicionamiento mátrico. Adicionalmente, se ha observado la ocurrencia del acondicionamiento de manera natural en la matriz del suelo, en semillas que permanecieron enterradas durante cierto tiempo (González-Zertuche *et al.*, 2001; Sánchez-Coronado *et al.*, 2007). Se ha establecido la necesidad de mayores investigaciones al respecto, utilizando nuevos preacondicionamientos y combinaciones de acondicionamiento en el campo y en el laboratorio (Sánchez *et al.*, 2006). El acondicionamiento natural es una herramienta importante que puede mejorar el éxito de la restauración (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2009) y que tiene muy bajo costo.

Los pretratamientos de acondicionamiento han demostrado ser útiles en semillas agrícolas para incrementar la germinación, el establecimiento y aumentar los rendimientos productivos de las plantas resultantes, especialmente bajo condiciones ambientales adversas (Bray, 1995). Esta técnica se puede aplicar en la propagación de especies silvestres utilizadas como sombra en plantaciones como café, cacao y vainilla entre otras. Estos sistemas agrosilvícolas son actualmente exitosos, sin embargo requieren de reemplazamiento de las especies sombra o de los tutores usados, ya sea para mejorar las condiciones de la plantación o la introducción de especies de importancia cultural o económica. La cubierta vegetal proporciona a las plantas una condición de luz y temperatura apropiada para el crecimiento de especies umbrófilas, además las protege de los fuertes vientos, asimismo contribuye a la formación de suelos, ya que agrega materia orgánica producto de la hojarasca y evita la erosión eólica e hídrica del suelo. Por otra parte las especies que actualmente se utilizan como sombra se les da un manejo con regularidad, ya que tienen usos



importantes en la región del norte de Veracruz, así como en otros sitios tropicales de México y el mundo. De aquí se deriva el interés tanto de los agricultores como el científico para generar técnicas que permitan el reemplazo exitoso de las especies útiles y la extensión de las áreas de cultivo.

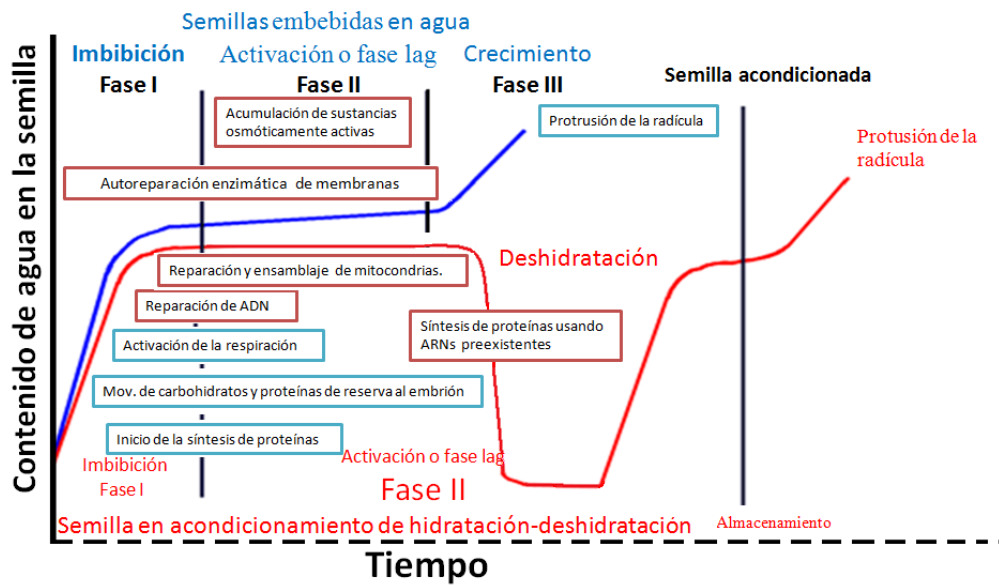


Fig. 1. Eventos metabólicos que ocurren en la germinación de las semillas de acuerdo al patrón trifásico de absorción de agua. La curva azul representa lo que sucede en condiciones adecuadas para la germinación de las semillas. La curva roja son semillas a las cuales se le aplica acondicionamiento hídrico. Modificada de Bewley (1997) y de Varier *et al.* (2010).

### 1.3. Preacondicionamiento hídrico de semillas

Los tratamientos de acondicionamiento (hidratación-deshidratación regulada) se han desarrollado principalmente para ser aplicados en semillas de especies de interés económico (agrícola, hortícola, forestal, etc.) (Jeller y Perez, 2003; Pinedo y Ferraz, 2008; Orozco-Segovia y Sánchez-

Coronado, 2009), con la finalidad de uniformar la respuesta germinativa así como incrementar el vigor de las semillas, la sobrevivencia de las plántulas y el rendimiento de los cultivos (Sánchez, 2001; Ansen *et al.*, 2011), ya que mejora la calidad de las semillas, así como el desarrollo de la planta después de la germinación lo que resulta en cosechas uniformes y con mayores rendimientos (Anese, 2011).

#### **1.4. Preacondicionamiento natural de semillas**

Las semillas en el suelo se enfrentan a procesos que preceden el inicio de la germinación, ya que se enfrentan a periodos de sequía o déficit de agua en el suelo, al igual que a periodos de alto contenido de agua en el suelo, dependiendo de las características climáticas que prevalezcan en el ecosistema en que se encuentra la semilla, por lo que están bajo una hidratación-deshidratación discontinua. En semillas de especies del desierto, por ejemplo, pareciese que éstas toleran largos periodos de deshidratación posteriores a eventos aislados o continuos de hidratación, que subsecuentemente culminan con la germinación, en la que se reflejan las experiencias anteriores de hidratación-deshidratación, a lo que se le ha llamado memoria hídrica (Dubrovsky, 1996).

En este sentido, durante el preacondicionamientos natural, ocurren cambios bioquímicos en la semilla, como una respuesta a la percepción de su ambiente., González-Zertuche *et al.* (2001) y Gamboa de Buen *et al.* (2006), reportaron que durante los pulsos de precipitación las semillas experimentan ciclos de hidratación-deshidratación (acondicionamiento natural) por medio de los cuales las semillas presentan avances bioquímicos en la movilización de proteínas y se desarrolla tolerancia a factores de estrés como la salinidad (Nicasio *et al.*, 2011). Por otro lado, se ha observado que existen mecanismos antioxidantes que disminuyen la pérdida de viabilidad de las

semillas en el suelo (Long *et al.*, 2011). Es por eso que el acondicionamiento natural de las semillas forestales usadas para la producción de material vegetal para la reforestación con fines relacionados a actividades agropecuarias o de restauración ecológica, resulta una técnica económica y sencilla, que le permite una producción de plántulas uniforme, ya que se obtiene una germinación veloz y homogénea en comparación de las semillas no tratadas (Sánchez *et al.*, 2001).

### **1.5. Semillas ortodoxas**

Las semillas difieren en su tolerancia a la desecación, tras su diseminación, y ésta repercute en la duración de su viabilidad, la cual es la base de la clasificación de las semillas por su conducta en almacén. Según ésta, las semillas se pueden clasificar en ortodoxas, recalcitrantes e intermedias. Las semillas ortodoxas, como las que se incluyen en este trabajo, toleran una deshidratación tal que les permita retener solo el 2 - 6% de su contenido de humedad; mientras que las semillas intermedias toleran una menor deshidratación (10% y 12.5% de contenido de humedad) y las consideradas como recalcitrante deben conservar contenidos de humedad más altos (15%, Hong y Ellis, 1996).

La principal característica fisiológica de las semillas ortodoxas es su gran tolerancia a la deshidratación (Ellis y Roberts, 1980) y en consecuencia a las bajas temperaturas ( $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Durante el desarrollo de las semillas en la planta madre, la fase final es la maduración, la cual está caracterizada por la ruptura del vínculo entre la planta madre y el fruto, por lo que ocurre la deshidratación de éste y de las semillas. Ésta se inicia con la pérdida de agua al terminarse el suministro vascular de la planta madre a la semilla, como resultado del inicio de la abscisión del fruto, entre 40 y 50 días después de la polinización (Kermode, 1995). En este período las semillas

completan su adquisición de la tolerancia a la deshidratación, la cual es un requisito para las semillas ortodoxas ya que le otorga a las semillas tolerancia a condiciones adversas y su potencial de almacenamiento a largo plazo, en condiciones óptimas, subóptimas y circunstanciales (Nkang, 2003; Hoekstra *et al.*, 1994). La tolerancia a la deshidratación en semillas ortodoxas es lo que permite a estas especies poder estar sujetas a tratamientos de acondicionamiento.

### **1.6. Restauración ecológica**

La restauración ecológica tiene la finalidad de recuperar especies y hábitats degradados, buscándose recuperar la composición, estructura y función con los mismos elementos que fueron extraídos, por lo que las especies nativas juegan un papel fundamental (Vázquez-Yanes y Batis, 1996). Es importante señalar que casi no existe un ecosistema que no haya sido perturbado en diferentes grados por las actividades antrópicas; es por eso que la restauración ecológica tiene como objetivo regresarle la funcionalidad a un ecosistema que ha sido perturbado, esto podría incluir a los ecosistemas agroforestales, sistemas agrosilvopastoril o a los ecosistemas urbanos.

Para restablecer la trayectoria histórica de los ecosistemas alterados, por medio de la intervención humana, es necesario aplicar técnicas diseñadas exprofeso para cada ecosistema e invertir tiempo y esfuerzo hasta lograr las metas de la restauración. La más importante, es acelerar la reconversión de los ecosistemas dañados y reintegrarles su funcionalidad.

La restauración conlleva una serie de decisiones que impactan en ésta tales, como la selección de especies que faciliten su propagación y supervivencia en campo, pues en la mayoría de los casos las plántulas se enfrentarían a condiciones abióticas adversas como sequías, suelo de baja fertilidad, compactados o con pH altamente alcalinos. Así mismo, se recomienda que las especies reinsertadas al ecosistema sean de rápido crecimiento y alta producción de materia orgánica

(hojarasca), que tengan presencia de nódulos fijadores de nitrógeno o micorrizas que compensen el bajo nivel de nitrógeno y otros nutrientes del suelo, para que favorezcan el restablecimiento de las poblaciones de flora y fauna nativas, proporcionándoles hábitat y alimento (Gómez-Pompa y del Amo, 1985). Por otra parte su utilidad en la producción de leña, forraje, vainas comestibles, madera, néctar, o cualquier valor cultural es altamente recomendable para interesar a la población aledaña en la restauración de su entorno (Vázquez-Yanes y Batis, 1996).

En la naturaleza, la semilla es fuente importante de alimento para muchos animales y mediante la producción agrícola la semilla es esencial para el ser humano (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

En México hay un proceso de deforestación y fragmentación severo de las comunidades vegetales, debido a que se transforman en sistemas agropecuarios como resultado de la falta de alternativas para el uso y manejo de los recursos forestales. En ese sentido, la conservación de los recursos genéticos forestales maderables y no maderables se ve amenazada si no buscamos nuevas herramientas que permitan la propagación exitosa de especies, para diseñar futuras estrategias de restauración y manejo forestal de fragmentos de vegetación nativa.

### **1.7. Agroforestería**

Los sistemas agroforestales son formas de uso y manejo de los recursos naturales, así como aquellos sistemas basados en árboles asociados deliberadamente con cultivos agrícolas o con animales en el mismo predio; ya sea de forma simultánea o en una secuencia temporal que representa un uso más eficiente del suelo, en cuanto al ciclaje de los nutrientes; a diferencia de otros sistemas productivos. La presencia del componente leñoso tiene efectos beneficiosos sobre

el suelo, principalmente por contar con sistemas radiculares más extensos y profundos que las plantas herbáceas, en consecuencia tienen un potencial para capturar y reciclar una gran cantidad de nutrimentos. Así mismo, los árboles aportan sombra y hojarasca a la superficie del suelo en mayor proporción que las plantas herbáceas (Nair, 1993; Musálem, 2001). Ejemplos claros de sistemas de producción agroforestal son los cafetales rústicos y el cultivo de vainilla en Veracruz y los cacaotales en Comalcalco Tabasco, donde la estructura vegetal es diversa y estratificada. Un aspecto importante de la agroforestería es que las especies arbóreas utilizadas como sombra ofrecen bienes tales como sombra, fijación de nitrógeno (leguminosas), fuente de alimento humano (frutas) y animal (forraje), así como soporte para otras especies vegetales comestibles (p.e. vainilla), de uso medicinal o decorativos, madera aserrada ya sea para uso del productor o en rolliza para cercas, combustible (leña), maderera aserrada que puede ser un respaldo para los años en los que la cosecha del café o cacao no es redituable. (Beer *et al.*, 1998 y 2003, McDonald *et al.*, 2003). La diversificación de las actividades productivas de los sistemas agroforestales es una opción para los productores, ya que con esta estrategia podrían hacer frente a la fluctuaciones del precio en el mercado de sus productos agrícolas, aunado a que mantienen una cubierta forestal que permite mantener la biodiversidad natural de una región y facilitan de la disponibilidad de propágulos y por lo tanto de un banco de semillas que permita la recolonización de la misma finca y las aledañas, ya sea por dispersión por el viento, animales u otros vectores (Beer *et al.* 1998, Soto-Pinto *et al.*, 2000, 2001, y 2007).

### **1.8. Sistemas agrosilvopastoriles**

El sistema agrosilvopastoril es una modalidad agroforestal que involucra la presencia de especies leñosas perennes (árboles y arbustos) en el mismo espacio de una explotación ganadera, que puede aumentar la productividad y brindar beneficios tanto a los animales como a los productores, si se manejan adecuadamente. Por otra parte tanto el mantenimiento como la reincorporación de especies leñosas en los pastizales permite recuperar la fertilidad del suelo, el microclima y un ciclo hidrológico similar a los originales; así como, el restablecimiento de la flora y fauna (Harvey y Villalobos, 2007).

### **1.9. Aspectos sociales y entorno del sitio de estudio**

La comunidad de San Antonio Ojital queda dentro de la poligonal de la Zona arqueológica del Tajín (Figs. 4-5) que pertenece a una zona que el gobierno de Veracruz ha propuesto para convertirse en un área natural protegida de carácter estatal, comprende 8,846 ha de superficie (Rodríguez y Gómez Pompa, 2011), y a partir de 1992 es patrimonio de la humanidad, para la educación, la ciencia y la cultura por la UNESCO. San Antonio Ojital se ubica en la poligonal de la zona arqueológica. La población de esta comunidad está compuesta por alrededor de 44 familias que suman alrededor de 390 habitantes que pertenece al grupo indígena totonaca en su mayoría, de los cuales 7 son propietarios agrarios y 35 son propietarios, dentro de la comunidad (Nahmad y Rodríguez, 2003). Dentro de sus principales actividades destaca la agricultura de autoconsumo (milpa), así como cultivos comerciales de cítricos (*Citrus limon*, *Citrus reticulata* y *Citrus sinensis*), la plantación de plátano (*Musa paradisiaca*) y vainilla (*Vanilla planifolia*); por otro lado la economía de la comunidad se sustenta en salarios rurales y en el salario de los que migran a ciudades cercanas (p. ej., Poza Rica) o a importantes ciudades de México y los Estados

Unidos. Por otro lado, el comercio de artesanías, frutos y hierbas medicinales representa también una fuente de ingresos a las familias de la comunidad. Un aspecto importante de la zona de estudio es que se encuentra bajo intensas actividades humanas, tales como la agricultura y la ganadería. En algunos casos los ganaderos prestan a los campesinos predios que aún conservan la cubierta vegetal, los campesinos desmontan el predio y se lo regresan desmontado al dueño. En estos terrenos se siembra para autoconsumo. En ocasiones se siembra el sitio por dos o tres años, durante los cuales la milpa es productiva (Nagman, 2009). En la poligonal del Tajín se muestra también una marcada actividad petrolera, que en la región se inició en la última década del siglo XIX y continúa actualmente, por lo que se pueden apreciar un total de 3,220 “peras” y pozos petroleros (Nagman, 2009; Plan de Manejo del Tajín, 2010). Es importante señalar que dentro del plan de manejo de la zona arqueológica del Tajín, se marcan como objetivos importantes la restauración del ecosistema y la implementación de viveros para la reproducción de especies arbóreas nativas de la región que puedan ser utilizadas con fines de restauración ecológica, a través de un proceso de investigación aplicada y articulada con el conocimiento y la participación de las comunidades. Además, está un proyecto de desarrollo de senderos que representen el paisaje ecológico y cultural donde estuvo inserta la zona arqueológica. Esto vincula a las comunidades totonacas, y ayuda a que éstas recuperen el concepto totonaco del manejo de sus recursos naturales (Plan de Manejo del Tajín, 2010).



### III.OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 3.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es evaluar si a partir del precondicionamiento hídrico y natural, aplicado a semillas de especies de árboles sombra multiusos, que tradicionalmente se utilizan como sombra en diferentes cultivos del norte de Veracruz, se puede incrementar el vigor de la germinación y a partir de ello obtener plántulas vigorosas tolerantes al estrés y con alta tasa de sobrevivencia en campo.

#### 3.2. Objetivos particulares

Los objetivos particulares, derivados del anterior son los siguientes:

1. •Conocer el efecto del precondicionamiento natural e hídrico en semillas, de árboles multiusos para proporcionar sombra (*Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*), la respuesta se evaluará a partir de los parámetros germinativos (porcentaje, velocidad y uniformidad) y el vigor de las plántulas a partir de la sobrevivencia y el crecimiento.
2. Determinar si el precondicionamiento natural es una buena técnica, fácil de aplicar, que incremente el vigor de las semillas y las plántulas de árboles sombra multiuso en viveros forestales rurales.

### **3.3. Hipótesis**

- Si en semillas de plantas cultivadas y de algunas silvestres se ha encontrado que el preacondicionamiento produce un aumento en el vigor de la semilla y de la plántula resultante de ésta, entonces en semillas de árboles de sombra se verá incrementado el vigor de sus semillas y plántulas en respuesta al los tratamientos de acondicionamiento hídrico y natural.
- Si la interrupción del proceso de germinación (como durante el acondicionamiento) es un proceso que ocurre en especies silvestres de diversos hábitats, entonces de manera general las semillas de las especies en estudio, responderán de igual manera tanto al acondicionamiento hídrico como al natural, lo que se reflejará en cambios favorables en la germinación y en el vigor de la plántula.

## **IV.METODOLOGÍA**

### **4.1. Zona de estudio**

El sitio de estudio se localiza en México dentro de la comunidad indígena de San Antonio Ojital, en el municipio de Papantla de Olarte, se encuentra al norte de Veracruz, a 14 kilómetros de Papantla a 298 msnm (Fig.4 y 5). El clima es cálido subhúmedo extremoso AX (W)(e) w' con una precipitación acumulada de 1,186 mm anuales, una temperatura media anual mayor a 22°C y una oscilación anual de las temperaturas mensuales entre 7° y 14°C (Fig. 2). La selva mediana subperennifolia representaba la vegetación original que cubría el sitio de estudio. Este tipo de vegetación alcanza de 15 a 25 m de altura y un 40% o más de sus especies son caducifolias, sin embargo actualmente, sólo quedan pequeñas áreas de selva en la cima de algunos cerros. Su

pérdida y conversión se aceleró durante los últimos 10 años, por el incremento en la actividad ganadera de la zona (Plan de manejo del Tajín, 2000).

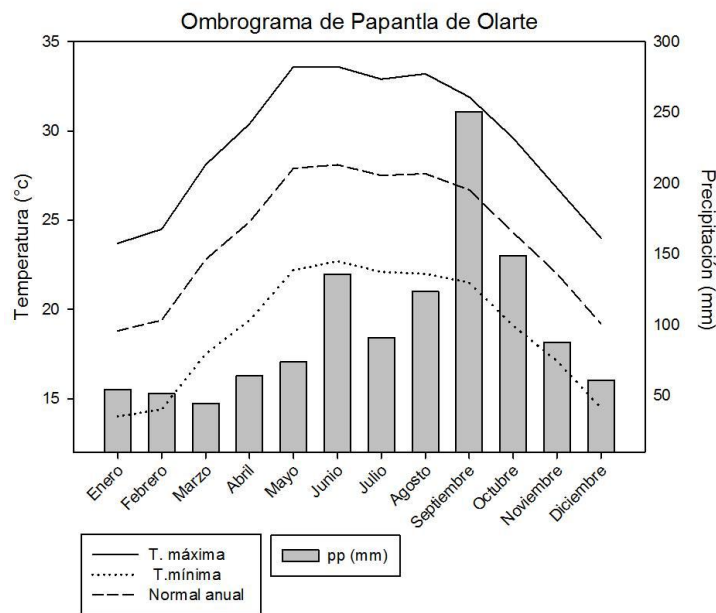


Fig 2. Ombrograma basado en las normales climatológicas de la estación meteorológica de Papantla de Olarte, Veracruz. La precipitación acumulada anual es de 1,186 mm con una mayor concentración en el período de junio a octubre; la temperatura máxima media anual de 29°C y una mínima anual de 18°C. (Normales climatológicas (1951-2010), Servicio Meteorológico Nacional).

En general la región de Papantla presenta características edafológicas de suelos del tipo luvisoles y feozem (Fig. 3) de acuerdo con la clasificación rusa los suelos feozem presentan una capa superficial de 30 a 35 cm de espesor, son color pardo grisáceo o gris oscuro, contienen abundante materia orgánica y nutrientes, su pH es de ligeramente alcalino a ligeramente ácido, con textura de migajón arenoso y arcilloso. En cuanto a los luvisoles son suelos que evolucionan en áreas de relieves montañosos, ondulados y de mesetas, de fertilidad media, con buen drenaje y fácil manejo. Estos suelos presentan alta susceptibilidad a la erosión. Su mayor potencialidad es el uso silvícola (CONABIO, 2001).

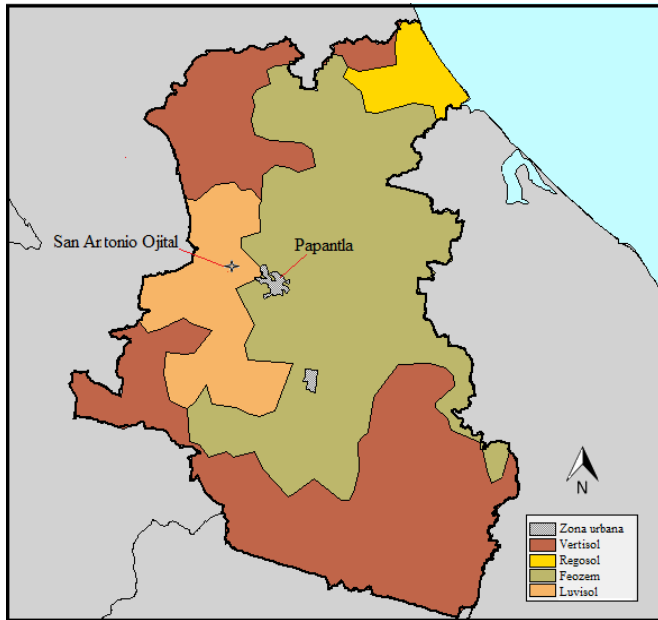


Fig 3. Mapa de clasificación de suelos de Papantla de Olarte, Veracruz. San Antonio Ojital presenta suelos luvisoles (Fuente: CONABIO, 2011, realizado por: Peraza-Villarrel, 2014).

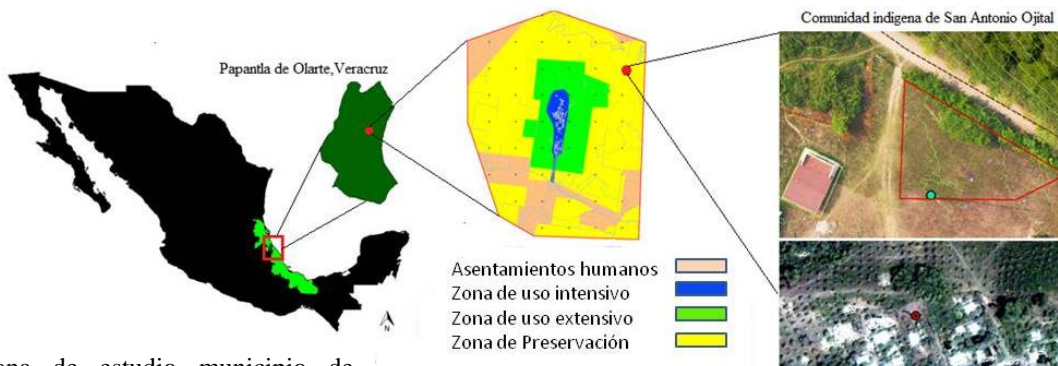


Fig.4: Zona de estudio municipio de Papantla, Veracruz, Comunidad de San Antonio Ojital.

Fig. 5. Mapa de la poligonal de la Zona Arqueológica del Tajín. En este mapa se muestra la zonificación de la zona. El círculo rojo marca la ubicación de la comunidad de San Antonio Ojital dentro de la poligonal de la zona arqueológica. Modificado de Plan de Manejo del Tajín. Sup. 112,221 ha (Elaborado por Ing. Hugo Carrillo Díaz. Modificado por Humberto Peraza )

## 4.2. Especies estudiadas

Para comparar la respuesta germinativa y el vigor de las plántulas de árboles de sombra multiusos al acondicionamiento hídrico y natural, se recolectaron semillas de especies de selva mediana subperennifolia y baja. La selección de las especies se inclinó hacia aquellas que pudieran tener valor comercial y ecológico agregado (Tabla .1y Fig 6).

**Tabla1.** Especies seleccionadas para aplicar los acondicionamientos pregerminativos y crecer en un predio de la región de Papantla, Veracruz. Se muestra la familia, nombre común, las características de crecimiento de las especies rápido (R) y mediano-rápido (M-R), alturas que alcanza el árbol en etapa adulta, tipo de semilla a la que pertenece según su conducta en almacén y tipo de dispersión (RGBK, 2014).

| Sp.                             | Familia   | Nombre común           | Cre. | Altura (m) | Comportamiento en almacén | Tipo de dispersión |
|---------------------------------|-----------|------------------------|------|------------|---------------------------|--------------------|
| <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | Fabaceae  | guanacastle,parota,    | R    | 35         | Ortodoxa                  | Zoocoría           |
| <i>Samanea saman</i>            | Fabaceae  | tamarindo dulce        | R    | 70         | Ortodoxa                  | Zoocoría           |
| <i>Cedrela odorata</i>          | Meliaceae | cedro rojo makxuxutkiw | M-R  | 35         | Ortodoxa                  | Anemocoría         |
| <i>Swietenia macrophylla</i>    | Meliaceae | Caobilla               | R    | 35         | Intermedia                | Anemocoría         |

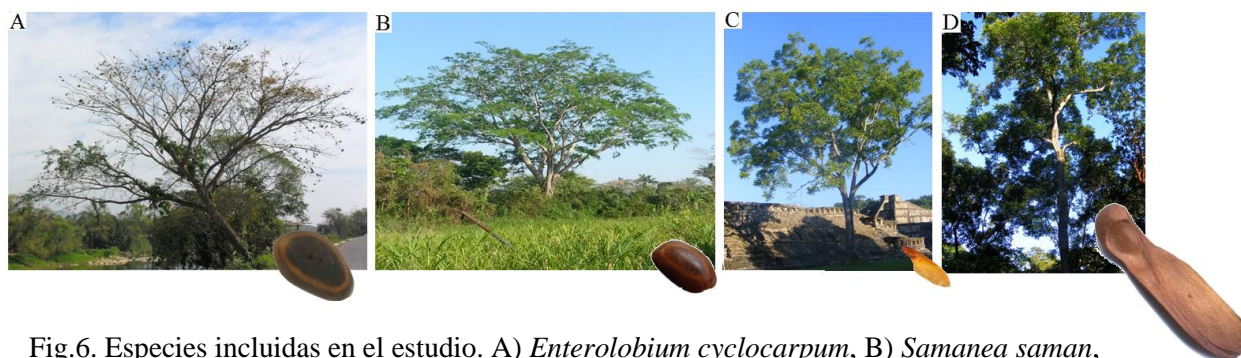


Fig.6. Especies incluidas en el estudio. A) *Enterolobium cyclocarpum*, B) *Samanea saman*, C) *Cedrela odorata* y D) *Swietenia macrophylla*.

#### 4.2.1. *Cedrela odorata* L. (Meliaceae)

**Nombre local:** cedro rojo, cedro

De acuerdo con diversos autores, esta especie es un árbol monoico, caducifolio que florece de abril a agosto y fructifica entre junio y agosto, alcanza alturas de hasta 35 m y diámetros de 1.70 m, con copa grande, redondeada, robusta y extendida, con hojas alternas, paripinnadas o imparipinnadas. Tronco recto, robusto, formando a veces pequeños contrafuertes poco prominentes con ramas ascendentes, la corteza es externa ampliamente fisurada con las costillas escamosas, pardo grisácea a moreno rojiza (Niembro-Rocas *et al.*, 2010; Benítez y Equihua, 2011; Fig. 7).

Sus frutos son cápsulas elipsoides u oblongas, compuestas de 4 a 5 valvas leñosas dehiscentes con lenticelas pálidas pardo verdosas a morenas, con un fuerte olor a ajo y produciendo un exudado blanquecino y acuoso cuando están inmaduras, están dispuestos en infrutescencias péndulas. El fruto contiene alrededor de 40 a 50 semillas (Niembro-Rocas *et al.*, 2010). Las semillas son aladas de 2 a 3 cm de largo (incluyendo el ala), morenas, oblongas a obovadas, lateralmente comprimidas y llevan en un extremo un ala lateral frágil y quebradiza, su cubierta es de color castaño rojizo, lisa y cartácea. Contiene una delgada capa de endospermo blanco entero y carnoso. El embrión es recto, blanco, provisto de 2 cotiledones oblongos planos, foliáceos, iguales, rectos y libres entre sí. Las semillas se dispersan por el viento, y tienen un comportamiento de almacén de tipo ortodoxo (Niembro-Rocas *et al.*, 2010; RGBK, 2014).

Su distribución en México va de la vertiente del Golfo de México, desde el sur de Tamaulipas y Sureste de San Luis Potosí hasta la Península de Yucatán y en la vertiente del Pacífico, desde

Sinaloa hasta Guerrero y en la Depresión Central y la Costa de Chiapas (Pennington y Sarukhán, 2005).

*C. odorata* es usado como, árbol sombra en cultivos de café y cacao, y sombra para el ganado, barreras corta vientos, así mismo después de la *S. macrophylla*, es la especie maderable preciosa más importante en la industria forestal de México por lo que es muy apreciada para la fabricación de artesanías, artículos torneados y esculturales, fabricación de muebles finos y ebanistería en general, lambrín, parquet, triplay, chapa, postes, embalajes, aparatos de precisión. En cuanto a su uso medicinal destacan las infusiones de las hojas para dolor de muelas y oídos, así como para la disentería, el tallo es antipirético, abortivo (acelera el parto). El látex es empleado como expectorante contra la bronquitis. La infusión de la corteza es usada como febrífugo, para caídas o golpes. La corteza de la raíz es usada para la epilepsia. Las semillas poseen propiedades vermífugas (Niembro-Rocas *et al.* 2010; Benítez y Equihua, 2011).

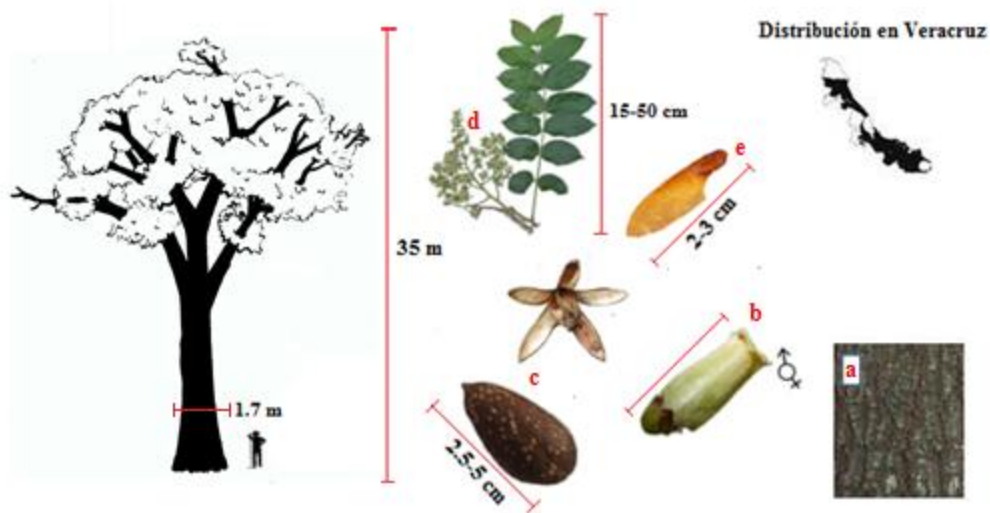


Fig 7. Características morfológicas de *Cedrela odorata* y distribución en Veracruz. a.corteza,b.flor,c.fruto, d. inflorescencia y hojas y e. semilla. Imágenes tomadas del Smithsonian Tropical Research Institute. Esquemas realizados por Peraza-Villarreal.

#### 4.2.2. *Swietenia macrophylla* King (*Meliaceae*)

**Nombre local:** caoba

De acuerdo con diversos autores; es un árbol monoico, caducifolio de rápido crecimiento que alcanza hasta 70 m de altura y un diámetro de hasta 3.5 m, con copa abierta y redondeada con hojas alternas, paripinnadas o a veces imparipinnadas, folíolos 3 a 5 pares, lanceolados u ovados, muy asimétricos, con el margen entero. El tronco es derecho y limpio, ligeramente acanalado con contrafuertes bien formados hasta de 2 a 5 m de alto (Fig. 8). Los frutos son cápsulas ovoides u oblongas, leñosas al madurar, de color moreno rojizo (grisáceo en ocasiones), dehiscentes desde la base y se abre en 4 ó 5 valvas. El número de semillas por fruto es de 40 a 60 (Pennington y Sarukhán, 2005; Niembro-Rocas, 2010; Benítez y Equihua, 2011).

Las semillas son livianas, presentan en uno de los extremos un cuerpo abultado y anguloso, están provistas de una ala lateral oblonga, delgada, papirácea y quebradiza constituida por un tejido esponjoso que presenta numerosos espacios intracelulares llenos de aire, la cubierta lisa y cartácea, de color castaño amarillento con brillo apagado, dentro del cuerpo abultado se encuentra colocado de manera transversal un embrión blanquecino, depresado ovado, lateralmente comprimido y marcado con una cicatriz de color castaño muy larga. En el embrión tiene un eje recto rodeado de una delgada capa de endospermo. Las semillas son sumamente amargas y astringentes. La conducta en almacén de las semillas es de tipo intermedio (RBGK, 2014). La especie se distribuye en la vertiente del Golfo, desde Veracruz a Chiapas y Quintana Roo, en el bosque tropical perennifolio y subcaducifolio; en altitudes desde el nivel del mar hasta los 900 msnm (Niembro-Rocas *et al.*, 2010; Benítez y Equihua, 2011).



Tiene un gran valor ya sea para revegetar o reforestar áreas ganaderas de los trópicos y es considerada como la base de la industria forestal maderable tropical de México, empleándose en la fabricación de muebles finos, molduras, decoración de interiores, chapa, triplay, acabados, embalajes y construcción de embarcaciones. Frecuentemente se utiliza como árbol de ornato a orillas de caminos, como árbol de sombra en áreas de cultivo, uso apícola, como cerca viva para delimitar linderos y en traspatios. Las semillas tienen propiedades medicinales y se utilizan para el pretratamiento de la tifoidea (CONAFOR, 2013).

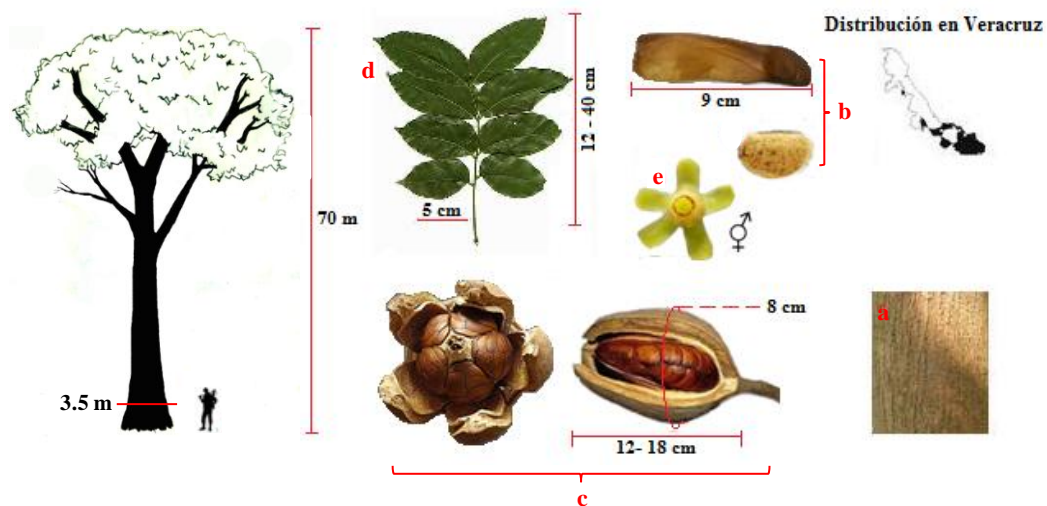


Fig 8. Características morfológicas de *Swietenia macrophylla* y su distribución en Veracruz, a.corteza, e. flor, b. semilla, c.fruto corteza y d. hojas. Imágenes tomadas del Smithsonian Tropical Research Institute. Esquemas realizados por Peraza-Villarreal.

#### 4.2.3. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (Fabaceae)

**Nombre local:** parota, guanacastle, anacastle, orejón y cuytátscuic

De acuerdo con Benítez y Equihua (2011) esta especie es un árbol monoico, caducifolio, de 20 a 30 m (hasta 45 m) de altura, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 3 m. La copa es hemisférica con abundante follaje, dando a la amplia copa una forma más ancha que alta. Libre de competencia por luz y puede alcanzar grandes diámetros. Las hojas son bipinnadas con 4 a 15 pares de pinnas opuestas, miden de 15 a 40 cm de largo; folíolos numerosos (15 a 30 pares por pinna) de color verde brillante que se pliegan durante la noche. El tronco es derecho, a veces con pequeños contrafuertes en la base, y con ramas ascendentes (Fig. 9).

La corteza es externa lisa a granulosa y a veces ligeramente fisurada, gris clara a gris pardusca, con abundantes lenticelas alargadas, suberificadas, dispuestas longitudinalmente. Interna de color crema rosado, granulosa, con exudado pegajoso y dulzón con un grosor de 2 a 3 cm. La floración es en pequeñas cabezuelas pedunculadas axilares, de 1.5 a 2 cm de diámetro, sobre pedúnculos de 1.5 a 3.5 cm de largo. Flores actinomorfas, cáliz verde y tubular; corola verde clara, de 5 a 6 mm de largo.

El fruto es característico de la especie pues son vainas circular indehiscente, de 7 a 15 cm de diámetro, aplanada y enroscada, leñosa, moreno oscura, brillante, de sabor dulce. Contiene de (5) 10 a 15 (20) semillas. La conducta en almacén de las semillas es de tipo ortodoxo (RBGK, 2014).

Las semillas son grandes, ovoides y aplanadas, de 2.3 por 1.5 cm, morenas y brillantes con una línea pálida con la forma del contorno de la semilla, rodeadas por una pulpa esponjosa y fibrosa de olor y sabor dulce. Presentan una testa extremadamente dura que impide la germinación hasta

que una modificación estructural permita la hidratación del embrión. Su sistema radical es extenso y profundo (Niembro-Rocas *et al.*, 2010).

Su distribución es amplia en la vertiente del Golfo llegando desde el sur de Tamaulipas hasta la Península de Yucatán y en la vertiente del Pacífico desde Sinaloa hasta Chiapas. Se le encuentra a altitud de: 0 a 800 m snm, desarrollándose en regiones costeras de México así como a lo largo de ríos y arroyos. Es un componente frecuente de la vegetación perturbada de las zonas tropicales húmedas y subhúmedas de baja altitud en México y Centroamérica. Aparentemente se encuentra en asociaciones primarias de selvas medianas subcaducifolias y caducifolias (Pennington y Sarukhán, 2005).

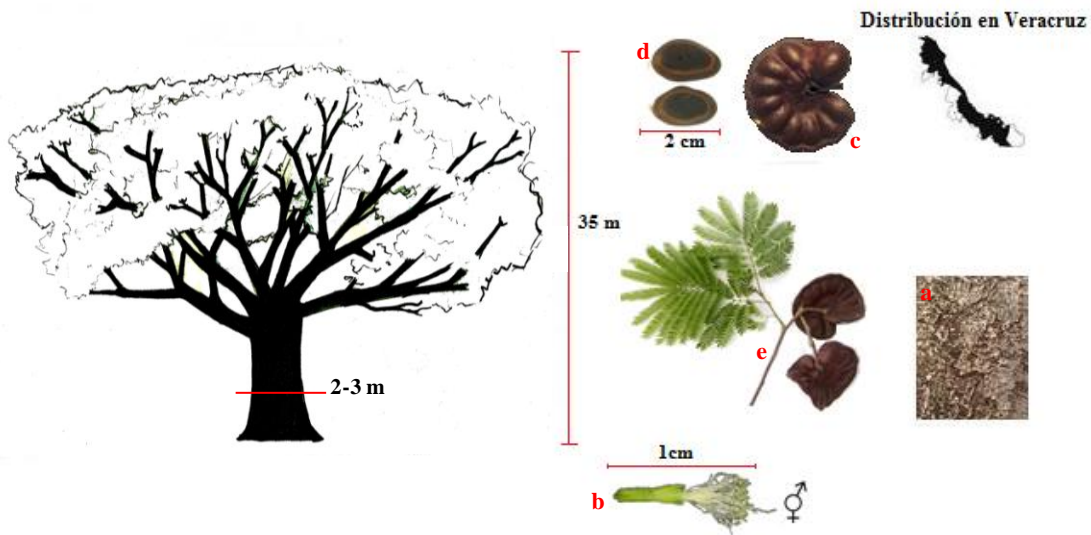


Fig. 9. Características morfológicas y distribución en Veracruz de *Enterolobium cyclocarpum*. a. corteza, b. flor, c. fruto, d. semillas y e. hojas con fruto. Imágenes tomadas del Smithsonian Tropical Research Institute. Esquemas realizados por Peraza-Villarreal.

#### 4.2.4. *Samanea saman* (Jacq.) Merr. (Fabaceae)

**Nombre local:** saman, árbol de lluvia, tamarindo saman

De acuerdo con Flores (2010) esta especie es un árbol monoico que alcanza 50 m de altura y 2.5 m de diámetro, la copa llega a ser de hasta de 60 m en árboles muy viejos fig.5. Sin embargo, la forma más común de este árbol es de 25 a 35 m de altura y de 40 cm a 1.2 m de diámetro. La copa es amplia y se dispersa en forma de sombrilla. El tronco es irregular y retorcido. La corteza es negro-grisácea con fisuras verticales, y cuarteado horizontalmente formando bloques en árboles jóvenes, y escamadas en árboles viejos. Las flores son pequeñas, rosáceas o blancuzcas, hermafroditas y agrupadas en umbelas subterminales o axilares, de 4.5 a 5.5 cm de largo (Holdridge y Poveda, 1975; Zamora, 1991), el fruto es una vaina leñosa aplanada, indehiscente de 10 a 25 cm de largo, recta curva, de 2.5 a 3.5 cm de ancho y casi 1 cm de grosor (Fig. 10).

Las semillas son oblongas, lateralmente comprimidas, de 1 cm de largo y 0.7 cm de ancho, con 0.5 cm de grosor. La producción de semilla viable por fruto es de cerca del 20-15%, las restantes son semillas abortivas, y las que llegan a la madurez en ocasiones presentan daños por gorgojos o diferentes larvas de insectos.

El comportamiento de las semillas es ortodoxo y el contenido de humedad en semillas frescas varía de 12 al 18% (RBGK, 2014). El crecimiento inicial es lento, aunque la supervivencia es buena. Dos meses después de la plantación, las plántulas inician su crecimiento presentando un porte vigoroso. La especie tiene una fenología decidua en el bosque tropical seco (Frankie *et al.*, 1974), este patrón fisiológico se presenta en respuesta al estrés hídrico (Janzen, 1982), durante esta época comienza la floración continuando hasta los inicios de la época húmeda (Barney y Grimmes, 1996) y pudiendo sobrevivir de 2 a 6 meses de sequía.

Este árbol, nativo de los trópicos secos americanos, los cuales se extienden desde México y Centroamérica hasta Venezuela y Colombia en América del Sur (Allen y Allen, 1981; Woodson y Schery, 1950), además es ampliamente cultivado. Su amplia distribución puede ser el resultado de la dispersión de semillas por el ganado, caballos y el ser humano (Janzen y Martin, 1982). Es un árbol que se presenta frecuentemente en el dosel de los bosques primarios secos, o transicionales a bosques húmedos. Crece a campo abierto, en áreas cultivadas y pastizales, y se usa como árbol de sombra en jardines (Janzen, 1983), en potreros y en cultivos como café, nuez moscada, vainilla y cacao. Sus frutos son vainas con semillas cubiertas por una pulpa comestible, la cual cuando está madura es suave y azucarada, atractiva para el consumo humano; así como, una importante fuente de proteína (13 a 18 %). Las vainas se utilizan como suplemento alimenticio para el ganado, durante la estación seca. El alimento se prepara con las vainas secas y molidas para obtener una excelente harina para alimento de ganado (Villanueva, 1994; Academia Nacional de Ciencias de Costa Rica, 1979). Así mismo, se ha reportado que el nivel de proteína en la semilla está entre el 30-37 % y que el follaje y las ramas jóvenes contienen alrededor de 24-30 % de proteína (Herrera y Morales, 1993, Durr, 2001) y son palatables para los bovinos, cerdos, borregos y cabras. Se ha encontrado que su ingesta por el ganado bovino en los trópicos disminuye la contaminación ambiental por gases metano y amoníaco, derivados del incremento de bacterias y hongos celulolíticos que permiten maximizar el aprovechamiento de los nutrientes aportados por los pastos; Sin embargo, Villanueva (1994) comenta que las hojas son solo relativamente palatables por lo que su uso como forraje es limitado a pesar de su alto valor nutritivo y su digestibilidad. Las flores proporcionan néctar para la producción apícola (Villanueva, 1994). La madera es de buena calidad, ya que es dura y fuerte, relativamente fácil de trabajar, por otro lado es un árbol que tolera las podas fuertes proporcionando abono verde, madera y leña. Dentro de los sistemas ganaderos *S. saman* al ser una fabácea fija nitrógeno en el

suelo. Allen y Allen (1981) y Monsalud *et al.*, (1989) describen las nodulaciones producidas por bacterias (rizobium) en las raíces. La fijación de nitrógeno mejora la fertilidad del suelo. Se ha reportado que bajo su dosel hay niveles más altos de nutrientes (tales como N y P disponible) que fuera de la copa de *S. saman* y que bajo otros árboles no pertenecientes a las fabáceas. Por otro lado la acumulación de materia orgánica también mejora la estructura del suelo y favorece la infiltración y retención de agua (Durr, 1997; Sae-Lee *et al.*,1992). Así mismo debido a la arquitectura del saman, el crecimiento de los pastos bajo su dosel se ve favorecido, ya que su sombra reduce la evapotranspiración. Esta especie favorece el desarrollo de los pastos nativos o introducidos que se utilizan para la alimentación de ganado.

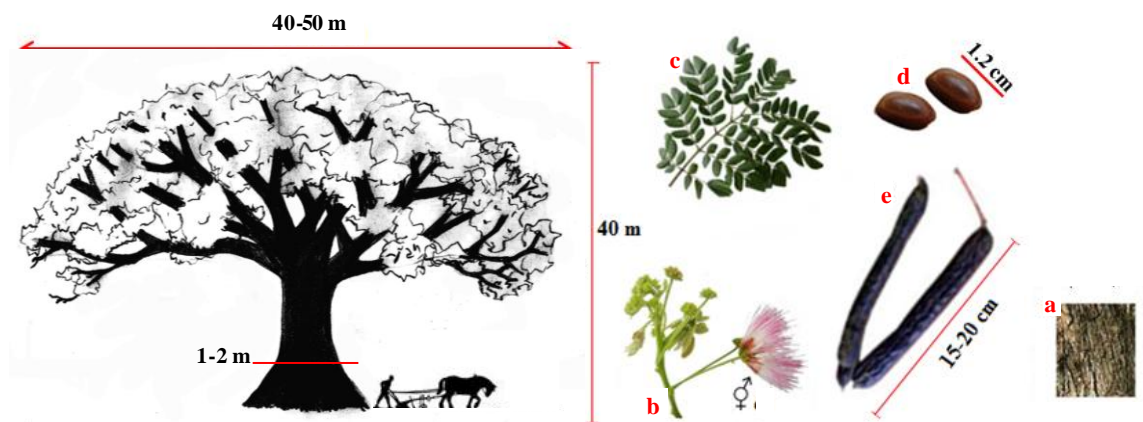


Fig 10. Características morfológicas de *Samanea saman*. Los números indican el tamaño y las letras la estructura. a. corteza, b. flores, c. hoja, d. semillas y e. frutos. Imágenes tomadas del Smithsonian Tropical Research Institute. Esquemas realizados por Peraza-Villarreal.

### 4.3. Recolecta de frutos

Se recolectaron frutos maduros aún unidos a la planta madre (Tabla 2), en por lo menos 15 individuos de *E. cyclocarpum*, *C. odorata* y *S. macrophylla*. Se seleccionaron los individuos que presentaron las mejores características visuales tales como: fuste recto y que no presentaran daños por plagas. La recolecta se realizó en los municipios de Actopan y Papantla en el estado de Veracruz, en marzo del 2012, de acuerdo con la época de fructificación de las especies en estudio, excepto *S. saman* que no produjo semillas en 2012, por lo que se están usando las de 2011. El beneficio de las semillas se realizó en el laboratorio secando los frutos y semillas bajo sombra y a temperatura ambiente. Posteriormente las semillas se colocaron en desecadores con éter por un periodo de 24 h para eliminar posibles plagas (gorgojos de la familia de los Bruchidae) presentes en las semillas.

**Tabla 2.** Meses de floración y fructificación de las especies estudiadas, en Actopan y Papantla, Veracruz. Las X simbolizan la época de recolecta de frutos para obtener semilla.

|                       |                 | Mes |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------|-----------------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Especies              | Fase fenológica | E   | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| <i>E. cyclocarpum</i> | Floración       |     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                       | Fructificación  |     | X | X |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| <i>C.odorata</i>      | Floración       |     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                       | Fructificación  |     | X | X |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| <i>S.saman</i>        | Floración       |     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                       | Fructificación  |     | X | X |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| <i>S.macrophylla</i>  | Floración       |     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                       | Fructificación  |     | X | X |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

### 4.3. Germinación

#### 4.3.1. Escarificación de las semillas impermeables

En las especies con cubierta impermeable, *S. saman* y *E. cyclocarpum* se realizaron pruebas de escarificación con agua caliente para determinar el uso de una metodología práctica para hacer permeable la cubierta seminal de la semilla de esta especie de una manera sencilla, la cual pueda ser usada en viveros rurales. Las pruebas de escarificación de semillas de *E. cyclocarpum* y *S. saman*, se hicieron colocando las semillas en dos métodos de escarificación, en el primero se mantuvo constante la temperatura de ebullición (96°C, a 2,250 m snm) y en el segundo el agua se dejó enfriar después de que se colocaron 10 semillas en 100 ml de agua a la misma temperatura. En el primero, se tomó la temperatura en intervalos de 1 minuto. En ambos métodos de escarificación las semillas se mantuvieron sumergidas por un periodo de ocho minutos. Posteriormente todas las semillas se colocaron en cajas con arena húmeda para evaluar la germinación y el efecto de los métodos de escarificación pre-germinativos.

La prueba de germinación demostró, que aumentó la permeabilidad de las semillas con lo que las especies consideradas en la segunda prueba germinaron en 80%, en forma similar a la germinación después de la escarificación mecánica. En la primera prueba de escarificación las semillas se murieron. Después de este pequeño ensayo se hicieron pruebas definitivas de germinación (con réplicas). Las curvas que de la temperatura del agua a 96 °C se observa en la (Fig. 11).



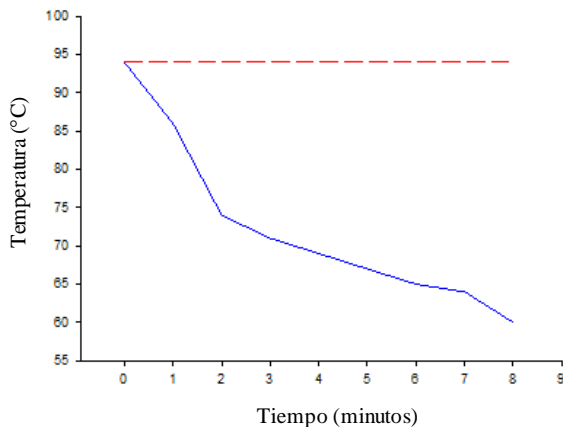


Fig.11. Curvas de temperatura del agua en la que se sumergieron las semillas impermeables. En la curva que decae, el agua se enfrió a temperatura ambiente (línea azul). En la línea roja se mantuvo la temperatura constante.

#### 4.4. Características de las semillas

##### 4.4.1. Peso fresco, seco y contenido de humedad en las semillas

El peso seco (PS) promedio se calculó, para las cuatro especies, a partir de la determinación del peso fresco (PF) y el peso seco (PS) de 30 semillas por especie. Se pesaron individualmente en una balanza analítica A-200DS (Fisher Scientific, Fairlawn, NJ, precisión 0.001 mg); en el caso de las semillas de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*, fue necesario el uso de pinzas para hacer un corte longitudinal en las semillas con la finalidad de facilitar la pérdida de humedad. El peso de las semillas incluyó el peso de la cubierta seminal. Posteriormente las semillas fueron secadas en un horno a 80°C (107801, Boekel Industries, Inc. Philadelphia, PA), durante un periodo de 48 horas; transcurrido este tiempo, las semillas se pesaron nuevamente (peso seco PS). Con los valores de PF y PS se calculó el contenido de humedad base seca ( $CH_{bs}$ ) y el contenido de humedad base húmeda ( $CH_{bh}$ ), según Hong y Ellis (1996) y Sun (2002), como un porcentaje de biomasa seca ( $CH_{bs}$ , Ecuación 1) así mismo como un porcentaje de su biomasa fresca ( $CH_{bf}$ , Ecuación 2).

$$\mathbf{CH_{bs} (\%) = (PF - PS) / PS \times 100}$$
 Ecuación 1

$$\mathbf{CH_{bf} (\%) = (PF - PS) / PF \times 100}$$
 Ecuación 2

Para calcular el contenido de humedad en las semillas a partir del peso fresco, es decir sin necesidad de destruirlas, se hizo un análisis de regresión entre PS y PF. El mejor ajuste de los datos se encontró con el software TableCuve 2D, v.3 (AISN Software, Chicago, IK, USA). En todas las especies los datos se ajustaron a la ecuación ( $y=a+bx$ ).

#### 4.4.2. Determinación de lípidos

La determinación de lípidos se realizó con base de peso fresco ( $CLip_{bf}$ ), a partir de 0.3 g de semillas molidas en el caso de *Cedrela odrata* debido al peso ligero de las semillas, con cinco réplicas; para *Samanea saman*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Swietenia macrophylla* se realizó a partir de 0.5g en semillas individuales con 10 réplicas, siguiendo la técnica de Bligh y Dyer (1959). Se determinó así el contenido de humedad como un porcentaje libre de lípidos con base en peso fresco ( $CH_{bfl}$ ) de acuerdo con Caddick (2005), (Ecuación 3).

$$\mathbf{CH_{bfl} = (100 \times CH_{bf}) / (100 - CLip_{bf})}$$
 (Ecuación 3)

#### 4.4.3. Dinámica de hidratación de las semillas

Se realizó un ensayo para observar la tasa de hidratación de las cuatro especies. Se usaron 20 semillas por especie. Las semillas se colocaron en cajas de petri con agua (10 ml) a temperatura ambiente, posteriormente se midió la ganancia de peso con respecto al peso fresco inicial de la semilla; esto se realizó sacando las semillas de las cajas de petri, secándolas con una toalla de papel y por último pesándolas en una báscula analítica; al finalizar la toma del peso se devolvió la semilla a la caja de petri. El procedimiento mencionado anteriormente se realizó cada hora durante las primeras 24 horas y cada 5 horas posteriormente hasta un máximo de 50 horas, de acuerdo con la cinética de imbibición de cada especie. Se determinó el  $CH_{bs}$  con la ecuación 1 para cada uno de los tiempos en que se pesaron las semillas.

#### **4.5. Preacondicionamientos**

##### **4.5.1. Preacondicionamiento hídrico**

Este acondicionamiento se realizó en semillas de las cuatro especies trabajadas, colocándose 5 réplicas con 30 semillas cada una, en cajas plásticas a embeberse en agua. En el caso de las semillas de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*, fue necesaria su pre-escarificación en agua caliente para lograr hacer permeable la cubierta seminal. Para el acondicionamiento hídrico (AH) las cajas se colocaron dentro de cámaras de germinación (Lab-line 455 instrument, Inc. Melrose Park, IL), con 12 horas de oscuridad × 12 horas de luz (Luz blanca fluorescente F20T2/CW, Sylvania 20 W). Las temperaturas aplicadas durante el acondicionamiento fueron tanto constante (25°C) como fluctuante (25/35°C); el acondicionamiento se aplicó durante un periodo de 48 horas. Posteriormente se retiraron las semillas del agua y se secaron en la oscuridad

a temperatura ambiente durante 48 horas (Tabla 3). Subsecuentemente las semillas acondicionadas se colocaron en cajas de plástico (PETE de  $16 \times 17$  y  $11 \times 11$ ) con arena, dentro de cámaras de germinación (Lab-line 455 instrument, Inc. Melrose Park, IL), a temperaturas constantes ( $25^{\circ}\text{C}$ ) y a temperaturas fluctuantes ( $25/35^{\circ}\text{C}$ ), para evaluar su germinación y el efecto de pretratamiento.

#### 4.5.2. Preacondicionamiento natural

Para aplicar los preacondicionamientos de acondicionamiento natural (AN), por enterramiento en campo, a las semillas de *S. macrophylla*, *E. cyclocarpum*, *S. saman* y *C. odorata*, se empaquetaron 30 semillas en cada bolsa de tela de organza con 5 réplicas por especie. Las tres primeras especies se enterraron en campo una por un periodo de 7 días en un claro de la selva mediana de Papantla Veracruz y un periodo de 2 días la última. Previo al enterramiento, las semillas de *E. cyclocarpum* y *S. saman*, se escarificaron con agua caliente, para aumentar la permeabilidad de la cubierta seminal, así mismo, se enterraron semillas de estas dos últimas especies sin previa escarificación. Terminado el periodo de AN, las semillas fueron desenterradas evitando la exposición de éstas a la luz solar. Las semillas exhumadas se transportaron en bolsas negras al laboratorio y se secaron en el cuarto oscuro a temperatura ambiente durante un periodo de 48 hrs.

Las semillas de *C. odorata* germinaron durante el enterramiento en campo, por lo que se enterraron en macetas con suelo del sitio de estudio y colocadas en el invernadero y posteriormente se regó a capacidad de campo. El enterramiento se realizó durante un periodo de 48 horas. Las semillas fueron exhumadas y secadas en la obscuridad durante 48 horas.

Posteriormente, las semillas acondicionadas se colocaron en cajas de plástico con arena húmeda a capacidad de campo, dentro de cámaras de germinación (Lab-line 455 Instrument, Inc. Melrose Park, IL), a temperaturas constantes (25°C) y a temperaturas fluctuantes (25/35°C), para evaluar su germinación y el efecto de pretratamiento (Tabla 3).

Tabla 3. Tiempo de duración del acondicionamiento natural e hídrico para *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*.

| Especie               | Tiempo (días)     |         |                |         |
|-----------------------|-------------------|---------|----------------|---------|
|                       | Acondicionamiento |         | Deshidratación |         |
|                       | Natural           | Hídrico | Natural        | Hídrico |
| <i>C. odorata</i>     | 3                 | 2       | 2              | 2       |
| <i>S. macrophylla</i> | 7                 | 2       | 2              | 2       |
| <i>E. cyclocarpum</i> | 7                 | 2       | 2              | 2       |
| <i>S. saman</i>       | 7                 | 2       | 2              | 2       |

#### 4.6. Respuesta germinativa a los preacondicionamientos y a la temperatura

Se realizó un diseño experimental que constó de 5 réplicas por pretratamiento (AN, AH) y en el control (C), con 30 semillas cada una. Las semillas se colocaron en cajas plásticas (PETE de 16 × 17 y 11 × 11) con arena de río gruesa y humedecida a capacidad de campo. Estas cajas se colocaron dentro de cámaras de germinación (Lab-line 455 instrument, Inc. Melrose Park, IL), a temperatura constante (25°C) y fluctuante (25/35°C), con 12 horas de oscuridad x 12 horas de luz (Luz blanca fluorescente F20T2/CW, Sylvania 20 W). La germinación se registró diariamente tomándose como semilla germinada al observarse la protrusión de la radícula, se continuó hasta que se observó la germinación máxima.

#### 4.6.1. Análisis de datos de germinación

En cada especie y en cada una de las réplicas de los diferentes precondicionamientos, a los porcentajes de germinación acumulada en el tiempo se les hizo una transformación arcoseno y se ajustaron a una función exponencial sigmoide o a una sigmoide (Ecuación 5) utilizando el software TableCuve 2D, v.3 (AISN Software, Chicago, I.K., EE.UU:).

Por medio de este ajuste determino el día en que se presentó el inicio y la velocidad de germinación (primera derivada máxima), para cada una de las réplicas (fig.12), el tiempo promedio de germinación (tiempo en que se encuentra la primera derivada máxima) y la sincronía se determinó visualmente con base en la curtosis de la curva sigmoide que describe la primera derivada máxima a lo largo de la curva exponencial sigmoide, o de la sigmoide.

Para el análisis estadístico a los porcentajes de germinación acumulada se les hizo una transformación al arcoseno (Zar, 1974). Los porcentajes finales de germinación, el inicio de germinación, la velocidad y el tiempo promedio de germinación fueron evaluados por un análisis de varianza multifactorial con el software Stargraphics versión 5.0 (Statical Graphics Centurion XV versión 15.2.05, Corporation, Engewood Cliffs, N.J., EE.UU.), con la finalidad de encontrar diferencias entre los precondicionamientos. La prueba post hoc fue la de Tukey ( $P \leq 0.05$ )

$$y=a / [1+b^{(-cx)}]$$

Ecuación 4

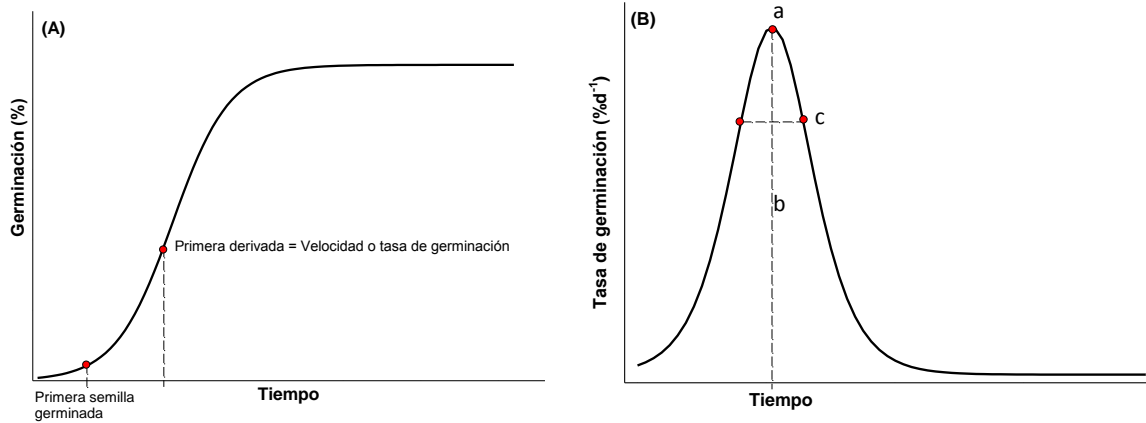


Fig 12. (A) Curva exponencial sigmoide en la que se ilustra el inicio de la germinación y la velocidad promedio de germinación (primera derivada máxima). (B) Curva formada por las primeras derivadas a lo largo de la curva exponencial sigmoide que representa la tasa instantánea en cada punto de la curva (semillas germinadas/tiempo), ésta ajusta la primera derivada a una curva Gaussiana. Por medio de esta curva se puede calcular (a) la tasa de germinación, (b) el tiempo promedio de germinación que se alcanza con la derivada máxima de la curva y la (c) sincronía de germinación (desviación estándar de la curva Gaussiana).

#### 4.7. Recolecta de suelo para el crecimiento de plántulas

En 3 sitios cercanos a la zona de estudio se recolectó suelo de los primeros 20 a 30 cm de profundidad, se buscó que la toma de suelo fuera de sitios cubiertos por bosque.

El suelo recolectado fue usado como sustrato para las plántulas resultantes de los acondicionamientos pregerminativos obtenidas en el laboratorio y así mismo se usó el suelo para la simulación de enterramiento en campo que se llevó a cabo en macetas, en el invernadero del Instituto de Ecología en el caso de *Cedrela odorata* (debido a que germina muy rápido).

## 4.8. Crecimiento de las plántulas en invernadero y en campo

### 4.8.1. Crecimiento en invernadero

En el invernadero se colocó un HOBO U12-013 (Onset Computer Corporation, POCASSET, MA, USA) para determinar la variación diurna. Los datos se observan en la Fig. 13.

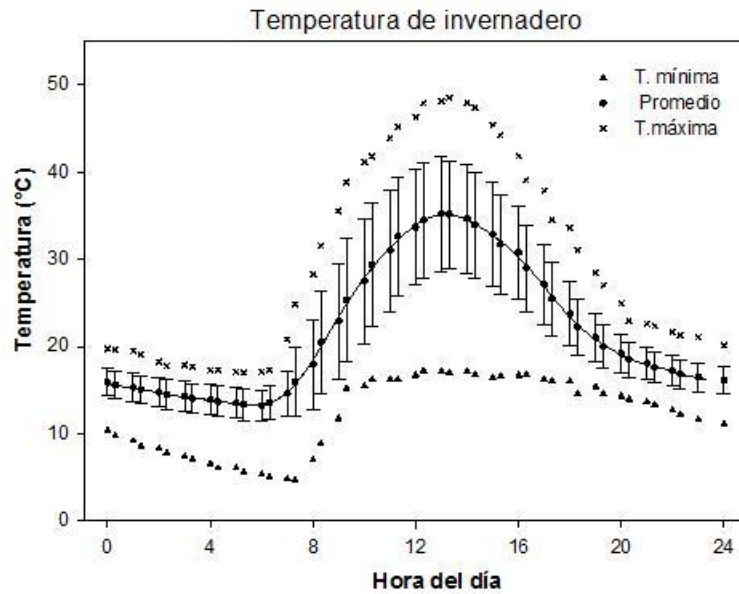


Fig.13.Temperatura diurna del invernadero durante el tiempo que permanecieron las plántulas de *Cedrela odorata*, *Entereolobium ciclocarpum*, *Samanea saman* y *Swietenia macrophylla* (Agosto a Septiembre de 2012).

Debido a que las plántulas de *C. odorata* presentaron marchitamiento fúngico (*damping off*), solo las plántulas de las especies restantes generadas con ambos métodos de acondicionamiento y el control se trasplantaron a bolsas de plástico de polietileno de 12 × 25 cm, con suelo de la región de origen de las especies (selva mediana subperennifolia de Papantla de Olarte). Se evaluaron las variables del crecimiento (altura, diámetro del tallo y número de hojas), así como la supervivencia a los 15 días antes del trasplante al campo (a los 47 días de edad en promedio de



las plántulas), en el caso de *E.cyclocarpum*. Para *S.saman* y *S.macrophylla* la primera medición se realizó a los 20 días de trasplante a la bolsa debido a la pequeña talla de las plántulas.

#### 4.8.2. Crecimiento de plántulas en campo

Las plántulas se transportaron a su sitio de plantación definitivo en la comunidad de San Ojital, en Papantla de Olarte Veracruz, donde se dejaron aclimatar durante 7 días, previos a la plantación a finales de la época de lluvias (octubre de 2012)

La plantación se estableció en dos predios; el primero tiene una extensión de terreno de 100 m<sup>2</sup> (10 × 10 m), con una pendiente de 75% y el segundo tiene una extensión de 480 m<sup>2</sup> (12 × 40) con una pendiente del 1%. Los terrenos estaban desprovistos de vegetación arbustiva ya que la mayor parte del suelo estaba cubierta por maleza, por lo que las plantas experimentaron radiación solar directa durante la mayor parte del día, excepto por los momentos en que algunos micrositios de plantación fueron sombreados por las plantas del vecindario.

En el sitio 1 (sin pendiente) el marco de plantación fue lineal con una distancia entre plantas de 1.5 m, intercalando las especies, la plantación constó de 317 plantas, difiriendo el número de plantas entre las especies debido a la baja disponibilidad de plántulas de algunas especies. En el sitio 2 (pendiente del 75%) el marco de plantación fue a tres bolillo con una separación de 1.5 m de distancia entre planta y planta, intercalando las especies. La plantación constó de 12 plantas de cada pretratamiento, 72 de cada especie que en total conforman 216 plantas (Fig. 14).

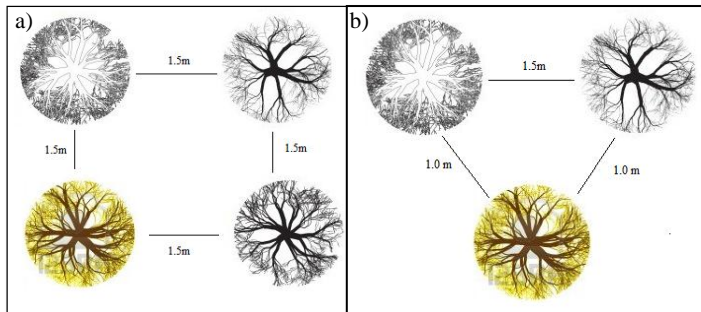


Fig. 14. Marcos de plantación empleados en: a) sitio 1 sin pendiente y b) sitio 2 con pendiente del 75%. Con base a las características del terreno.

El crecimiento y supervivencia se evaluó mensualmente a lo largo de 11 meses (septiembre de 2012 a agosto del 2013), con las mismas variables de crecimiento consideradas en el invernadero. Las evaluaciones quincenales comprendieron a partir de octubre del 2012 a diciembre del 2012

#### 4.8.3. Tasa de crecimiento por temporadas

El crecimiento y supervivencia en campo se evaluó inicialmente por periodos quincenales y mensuales a lo largo de 11 meses (septiembre del 2012 a agosto de 2013), para las variables de crecimiento consideradas (altura, diámetro a la base del tallo y número de hojas) y supervivencia.

Sin embargo, a consecuencia de la gran dispersión de los valores en campo, la tasa de crecimiento se calculó solo para tres temporadas; 1) para el periodo entre la salida de las plantas al campo y el final de la época de lluvias (septiembre a noviembre de 2012), 2) del inicio de la época seca al final (de noviembre de 2012 a mayo de 2013) y 3) que incluyó los primeros meses de la segunda temporada de lluvias.(de mayo a agosto de 2013). La tasa relativa de crecimiento (TRC) se calculó para las variables de crecimiento (altura y diámetro). La TRC se define como el incremento en biomasa de la planta por unidad de biomasa por unidad de tiempo (Hunt, 1982), y se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{TRC} = (\ln \chi_2 - \ln \chi_1)/(t_2 - t_1) \quad \text{Ecuación 5}$$

donde:

$\chi_2$ = medición final,

$\chi_1$ = medición inicial y

$t_2 - t_1$ = número de días entre ambas mediciones.

Para los análisis estadísticos los datos que cumplieran con los supuestos del ANOVA (Dytham, 2003) se analizaron con análisis de varianza multifactorial y aquellos valores de crecimiento que no cumplieron con los supuestos del ANOVA, se analizaron con una prueba no paramétrica [Kruskal-Wallis, (Zar, 1974)]. La prueba de rango múltiple fue la prueba de Tukey o la de Bonferroni, dependiendo de la variación de los tamaños de muestra y del tipo de análisis. En el caso del análisis de Kruskal-Wallis se diferenciaron los valores significativos con una prueba de Bonferroni. Los análisis se realizaron con el software (Statgraphics Centurion XV versión 15.2.05, Corporation, Engewood Cliffs, N.J., EE.UU.).

#### **4.9. Análisis de supervivencia en campo**

Se usó el modelo probabilístico binomial (viva/muerta) con una transformación logística de la variable y se aplicó un modelo de regresión logística, considerando a la supervivencia como variable de respuesta y a los precondicionamientos (AN, AH y C) y a la temperatura de germinación (25°C y 25/35°C) como factores.

La supervivencia en campo se analizó con un modelo lineal generalizado, usando una regresión lineal con una función de enlace logística. Los modelos lineales generalizados integran los componentes que describen la relación entre una variable de respuesta y una o más variables explicativas, incluye a menudo variables discretas. Por medio de una regresión lineal con una función de enlace logística se puede modelar la probabilidad de un evento ocurriendo como función de los factores. Este modelo permite evaluar el efecto de un conjunto de variables independientes o explicativas en una variable de respuesta con distribución binomial.

La supervivencia se introdujo al programa en forma binomial (individuos vivos e individuos muertos). Los datos se analizaron en el software JMP ver.8 SAS Institute Inc., Cary, NC., EE.UU..

Las probabilidades obtenidas de la supervivencia de cada pretratamiento se analizaron con un Kruskal-Wallis y para lograr diferenciar los valores significativos se utilizó una prueba de Bonferroni con el software (Statistical Graphics Centurion XV versión 15.2.05, Corporation, Engewood Cliffs, N.J.EE.UU.).

## **V.RESULTADOS**

### 5.1. Contenido de lípidos en semillas

En *S. macrophylla* y *C. odorata* el porcentaje de lípidos fue superior al 30%, mientras que, para *E. cyclocarpum* y *S. saman* el porcentaje de lípidos fue menor al 8% (Tabla 4).

### 5.2. Peso fresco, peso seco y contenido de humedad en las semillas

**Tabla 4.** Atributos de las semillas de las especies tropicales estudiadas: (PF) peso fresco, (PS) peso seco, ( $CH_{bf}$ ) contenido de humedad base fresca, ( $CH_{bs}$ ) contenido de humedad base seca, (CL) contenido de lípidos determinado de acuerdo con Blight y Dyer (1959), ( $CH_{bsll}$ ) contenido de humedad base seca y libre de lípidos calculado con base en Caddick (2005). La N= 30 semillas de cada especie, de la recolecta de 2012. Se presenta el valor promedio  $\pm$  DE.

| Especie               | PF (mg)           | PS (mg)           | $CH_{bf}$ (%)    | $CH_{bs}$ (%)   | CL <sub>bs</sub> (%) | $CH_{bsll}$ (%) |
|-----------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| <i>C. odorata</i>     | 0.019 $\pm$ 0.002 | 0.18 $\pm$ 0.02   | 8.52 $\pm$ 2.51  | 9.3 $\pm$ 3.03  | 34 $\pm$ 4.8         | 12 $\pm$ 3.1    |
| <i>S. macrophylla</i> | 0.59 $\pm$ 0.09   | 0.56 $\pm$ 0.0825 | 4.95 $\pm$ 0.92  | 5.21 $\pm$ 1.04 | 53.33 $\pm$ 1.33     | 10 $\pm$ 2      |
| <i>E. cyclocarpum</i> | 0.81 $\pm$ 0.12   | 0.71 $\pm$ 0.1    | 12.26 $\pm$ 1.56 | 14.0 $\pm$ 2.06 | 4.06 $\pm$ 0.26      | 10 $\pm$ 2.06   |
| <i>S. saman</i>       | 0.28 $\pm$ 0.05   | 0.25 $\pm$ 0.044  | 7.87 $\pm$ 1.46  | 8.56 $\pm$ 1.72 | 7.76 $\pm$ 2.1       | 8.5 $\pm$ 1.6   |

La relación entre peso seco y peso fresco fue lineal ( $y = a + bx$ ). Los parámetros de la relación lineal encontrada para cada especie se muestran en la Tabla 5, las cuales explican el 99% de esta relación (Fig. 15).

**Tabla 5.** Resultados de los ajustes a una función lineal ( $y=a + bx$ ) realizados con la relación peso fresco-peso seco de las 4 especies estudiadas.

| Especie                         | <i>P</i>  | $r^2$ | <i>F</i> |
|---------------------------------|-----------|-------|----------|
| <i>Cedrela odorata</i>          | < 0.00001 | 0.95  | 502.14   |
| <i>Ecyclocarpum cyclocarpum</i> | < 0.00001 | 0.99  | 1972.69  |
| <i>Swietenia macrophylla</i>    | < 0.00001 | 0.99  | 2627.63  |
| <i>Samanea saman</i>            | < 0.00001 | 0.99  | 3455.93  |

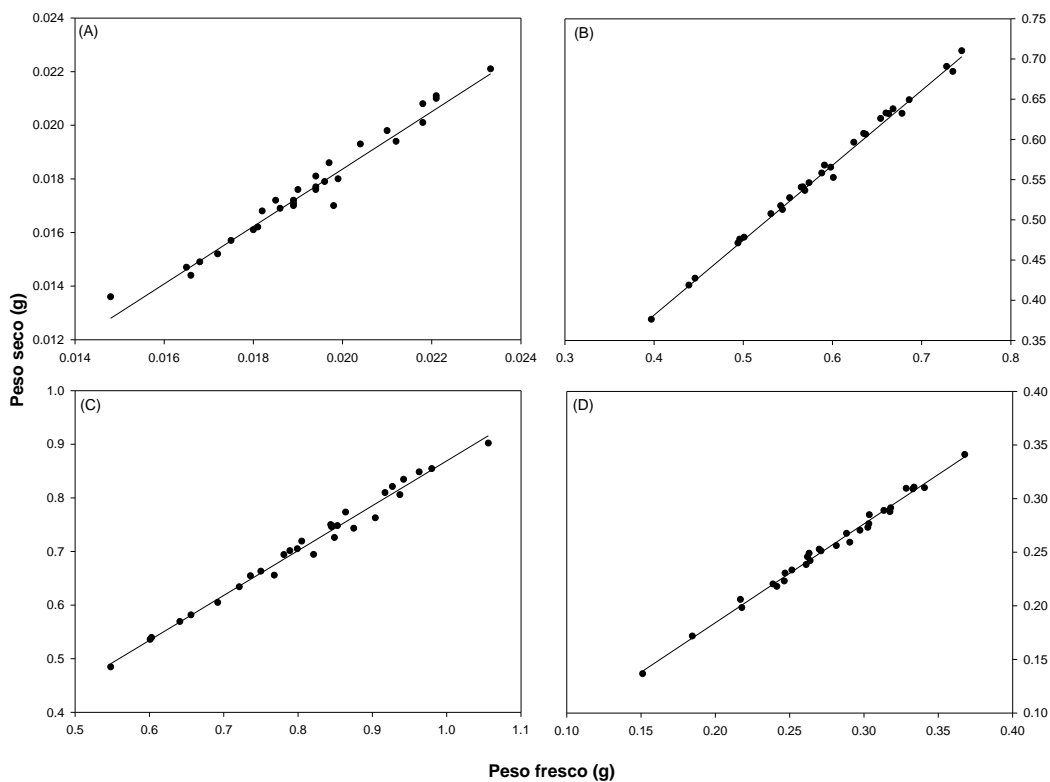


Fig 15. Relación lineal entre peso fresco y peso seco para (A) *Cedrela odorata*, (B) *Swietenia macrophylla*, (C) *Enterolobium cyclocarpum* y (D) *Samanea saman*.

### 5.3. Dinámica de hidratación de las semillas

#### 5.3.1. Imbibición de *Cedrela odorata*

Las curvas de imbibición de *C. odorata* indican que las semillas alcanzaron un 136% de  $CH_{bs}$ , en promedio durante las primeras 24 h. (Fig. 16). No se observaron diferencias significativas en las curvas de imbibición entre los dos preacondicionamientos y el control ( $P > 0.05$ , Fig. 16). Aunque hubo una tendencia a ser más lenta en AN.

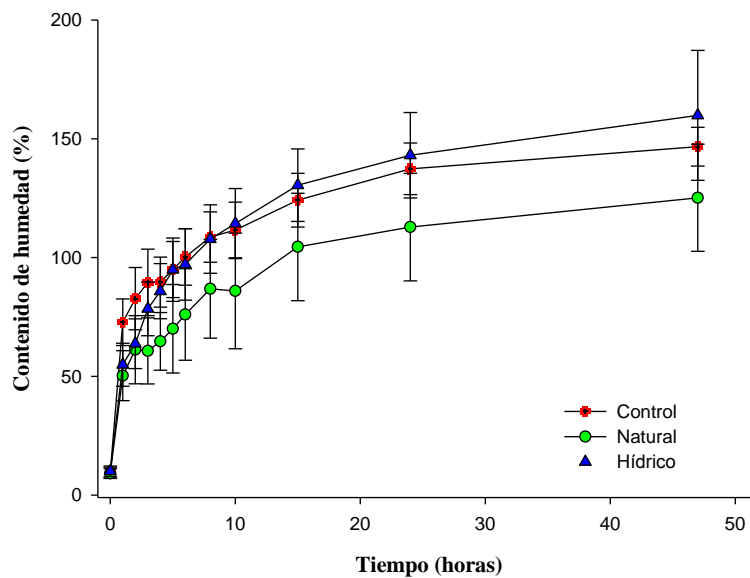


Fig. 16. Incremento en el porcentaje del  $CH_{bs}$  en semillas de *Cedrela odorata* durante la imbibición (promedio  $\pm$  1DE) después de haber sido expuestas a AH (  $\blacktriangle$  ), AN (  $\bullet$  ) y C (  $\blacksquare$  ) por un periodo de 48-50 h.

#### 5.3.2. Imbibición de *Swietenia macrophylla*

La curva de imbibición en semillas control de *S. macrophylla*, se realizó de dos maneras, con y sin la cubierta seminal con la finalidad de observar si la imbibición ocurría de igual manera sin el tejido esponjoso de la cubierta seminal. Es decir se evaluó la imbibición del embrión y los cotiledones. Sin la cubierta seminal se observó un 45% de contenido de humedad promedio durante las primeras 24 h de imbibición mientras que para las semillas con precondicionamiento con cubierta seminal, el promedio del contenido de humedad llegó al 200%. La germinación se presentó a las 118 h de imbibición cuando el  $CH_{bs}$  promedio era de  $76\% \pm 27$  en las semillas sin cubierta seminal. La diferencia entre ambos métodos radicó en el hecho de que en los embriones el  $CH_{bs}$  llegó a  $\sim 60\%$  y en la semilla completa a 300%. Lo que implica que la mayor parte del agua es absorbida por la cubierta seminal. Las curvas de imbibición de las semillas con AH, AN y C de *S. macrophylla* no tuvieron diferencias significativas entre sí ( $P > 0.05$ ; Fig 17).

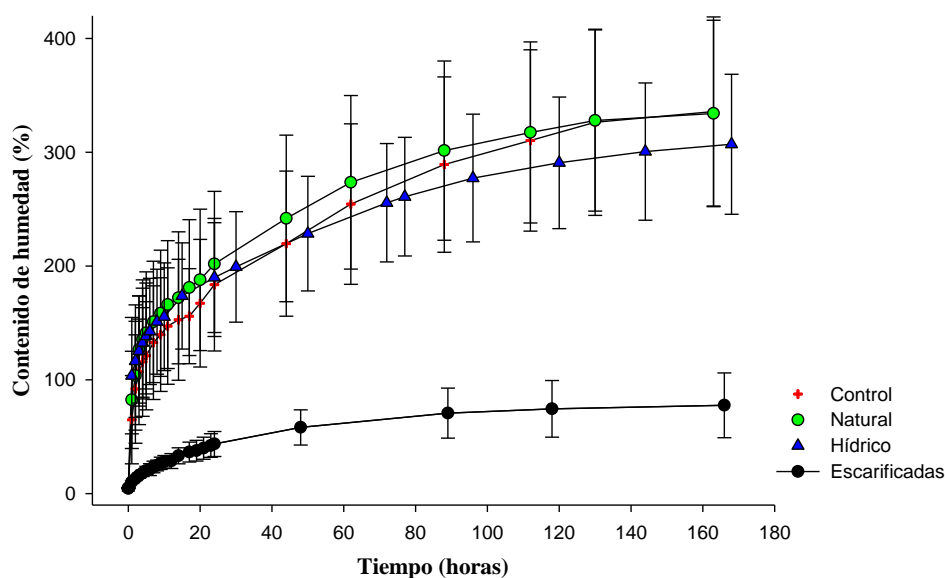


Fig. 17. Incremento en el porcentaje del  $CH_{bs}$  en semillas de *Swietenia macrophylla* durante la imbibición de semillas con precondicionamiento hídrico (▲) y natural (●), semillas control (+) y control



escarificadas (—●—). Se presentó en promedio un  $CH_{bs}$  de  $300\% \pm 1DE$  y de  $\sim 90\%$  en semillas escarificadas.

### 5.3.3. Imbibición de *Enterolobium cyclocarpum*

Las curvas de imbibición de *E. cyclocarpum* muestran que las semillas alcanzaron un 30-37% de  $CH_{bs}$ , en promedio durante las primeras 24 h.. No se observaron diferencias significativas entre las curvas de imbibición en los dos precondicionamientos, C y semillas sin control sin escarificar (SCSE,  $P > 0.05$ , Fig. 18). En el caso de *E. cyclocarpum*, las semillas fueron pre-escarificadas mecánicamente, haciendo con un alicate una fisura en la región chalazal de la semilla, alcanzaron hasta un 250% de  $CH_{bs}$ , en promedio durante las primeras 24 h de imbibición y disminuyó hasta 198% el  $CH_{bs}$  a las 50 h (Fig. 19).

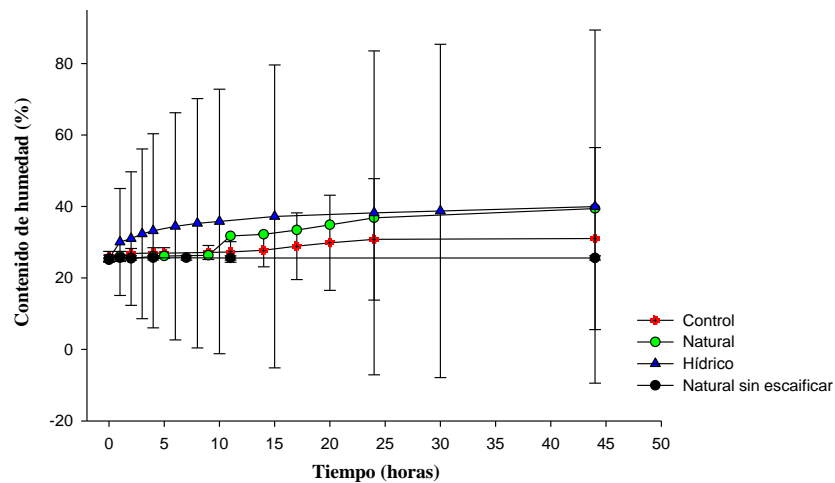


Fig. 18. Incremento en el porcentaje del  $CH_{bs}$  en semillas de *Enterolobium cyclocarpum* durante la imbibición por un periodo de 45 h (promedio  $\pm$  1DE) después de haber sido expuestas a

acondicionamiento hídrico ( ▲ ), acondicionamiento natural ( ● ), control ( ◆ ) y acondicionamiento natural sin escarificar ( ● ).

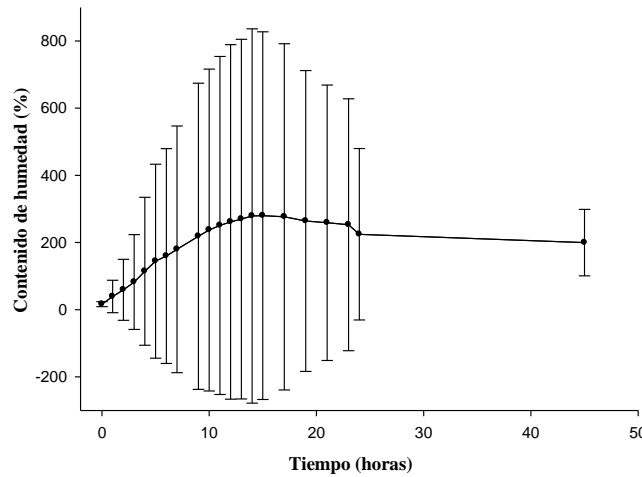


Fig. 19. Incremento en el porcentaje del CH<sub>bs</sub> en semillas de *Enterolobium cyclocarpum* escarificadas mecánicamente durante la imbibición (promedio ± 1DE) por un periodo de 45 h.

#### 5.3.4. Imbibición de *Samanea saman*

La curva de imbibición de *S. saman* es totalmente atípica, dado que el tratamiento de escarificación por inmersión en agua a 96°C no tuvo el mismo efecto en todas las semillas, en las primeras 15 h hay un pequeño incremento en el contenido de humedad, y posteriormente las semillas se empiezan a embeber de manera muy asincrónica, lo que se refleja en una amplia desviación estándar. No se graficaron los datos de días posteriores dado que la toma de agua no se dio en todas las semillas (Fig. 20).

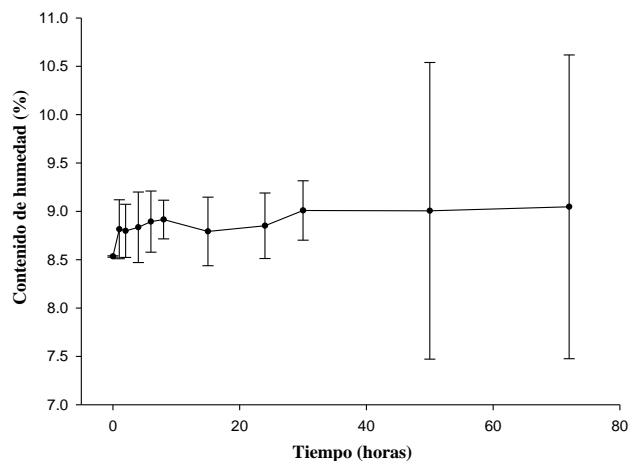


Fig. 20. Incremento en el porcentaje del CH<sub>bs</sub> en semillas de *Samanea saman*, previamente escarificadas con agua a 96°C durante la imbibición (promedio ± 1DE) por un periodo de 75 h.

#### 5.4. Efecto del preacondicionamiento natural, hídrico y control sobre la germinación de semillas de la selva mediana subperennifolia

##### 5.4.1. Preacondicionamientos en semillas de *Cedrela odorata*

En *C. odorata*, el acondicionamiento ( $F_{(2,29)} = 7.42$ ,  $P = 0.0031$ ) y la interacción de éste con la temperatura ( $F_{(2,29)} = 19.6$ ,  $P = 0.00001$ ) tuvieron un efecto significativo en el porcentaje de germinación final. La germinación fue más alta (99.33%) en semillas con AN-25/35°C, pero no difirió de C-25/35°C, AN-25°C y H-25°C (96.0, 94.6 y 88.6%, respectivamente). En el tratamiento AH-25/35°C se tuvo la germinación más baja (71.3 %; Fig. 21, Tab. 6). En el tiempo de inicio solo la temperatura tuvo un efecto significativo, fue más corto en la temperatura fluctuante, los tiempos más cortos fueron para los tratamientos AH-25/35°C y en C-25/35°C (1.9 y 1.73 días, respectivamente; Tabla. 6 y 7) sin diferencia significativa con AN-25°C y C-25°C (3.2 y 3.3 días, respectivamente). Para el tiempo promedio de germinación el acondicionamiento

que tuvo un efecto significativo, que alcanzó en menor tiempo fué en ambos tratamientos de AN (4.9 y 5.1 días para temperatura fluctuante y constante respectivamente), sin embargo C-25/35°C mostro el menor tiempo (4.6 días).

La velocidad fue afectada significativamente por la temperatura y el pretratamiento (Tab. 6). La mayor velocidad se alcanzó en las semillas C-25°C (47.06 semillas d<sup>-1</sup>), sin diferencia significativa con AN-25°C y AN-25/35°C (43.8 y 34.6 semillas d<sup>-1</sup>, respectivamente). La sincronía fue menor en el acondicionamiento hídrico y mayor en semillas C-25°C y en AN-25/35°C.

**Tabla 6.** Resultados de los análisis de MANOVA de dos vías aplicados a los parámetros de germinación obtenidos a partir de los ajustes de las curvas acumulativas de germinación de *Cedrela odorata* germinadas en dos temperatura: 25°C y 25/35°C. Las semillas previamente fueron expuestas a: acondicionamiento natural, acondicionamiento hídrico o a ninguno (control).

| Parámetro de la germinación | Factor         | Resultado de la MANOVA |      |          |
|-----------------------------|----------------|------------------------|------|----------|
|                             |                | <i>F</i>               | g.l. | <i>P</i> |
| Tiempo de inicio            | Temperatura    | 21.57                  | 1,29 | 0.0001   |
|                             | Pretratamiento | 1.13                   | 2,29 | 0.3382   |
|                             | Interacción    | 1.39                   | 2,29 | 0.27     |
| Velocidad máxima            | Temperatura    | 17.9                   | 1,29 | 0.0003   |
|                             | Pretratamiento | 15.31                  | 2,29 | 0.0001   |
|                             | Interacción    | 0.86                   | 2,29 | 0.43     |
| Tiempo promedio             | Temperatura    | 1.87                   | 1,29 | 0.18     |
|                             | Pretratamiento | 30.1                   | 2,29 | 0.00001  |
|                             | Interacción    | 4.66                   | 2,29 | 0.0195   |

**Tabla. 7.** Pruebas de rango múltiple de Tukey HSD, aplicado a los parámetros de la germinación de *Cedrela odorata*. En la germinación se muestran los arcosenos.

**Inicio de germinación**

| Tratamiento | Casos | Media   | Grupos Homogéneos | Tratamiento | Casos | Media   | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|---------|-------------------|-------------|-------|---------|-------------------|
| C-25-35°C   | 5     | 1.73737 | a                 | AH-25-35°C  | 5     | 13.3998 | d                 |
| AH-25/35°C  | 5     | 1.87968 | a                 | AH-25°C     | 5     | 25.6342 | cd                |
| AN-25/35°C  | 5     | 1.94545 | ab                | C-25-35°C   | 5     | 27.7766 | bcd               |
| AH-25°C     | 5     | 2.48485 | abc               | AN-25-35°C  | 5     | 34.5641 | abc               |
| AN-25°C     | 5     | 3.31313 | bc                | AN-25°C     | 5     | 43.7989 | ab                |
| C-25°C      | 5     | 3.35354 | c                 | C-25°C      | 5     | 47.057  | a                 |

**Velocidad de germinación**

**Tiempo promedio**

| Tratamiento | Casos | Media   | Grupos Homogéneos | Tratamiento | Casos | Media   | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|---------|-------------------|-------------|-------|---------|-------------------|
| C-25/35°C   | 5     | 4.62173 | a                 | AH-25/35°C  | 5     | 57.7443 | c                 |
| AN-25/35°C  | 5     | 4.922   | a                 | AN-25°C     | 5     | 70.7314 | bc                |
| AN-25°C     | 5     | 5.08067 | a                 | C-25/35°C   | 5     | 72.7245 | b                 |
| C-25°C      | 5     | 5.23806 | ab                | AH-25°C     | 5     | 78.2238 | ab                |
| AH-25°C     | 5     | 5.82452 | bc                | C-25°C      | 5     | 80.0012 | ab                |
| AH-25/35°C  | 5     | 6.10689 | c                 | AN-25/35°C  | 5     | 87.8961 | a                 |

**Germinación (%)**

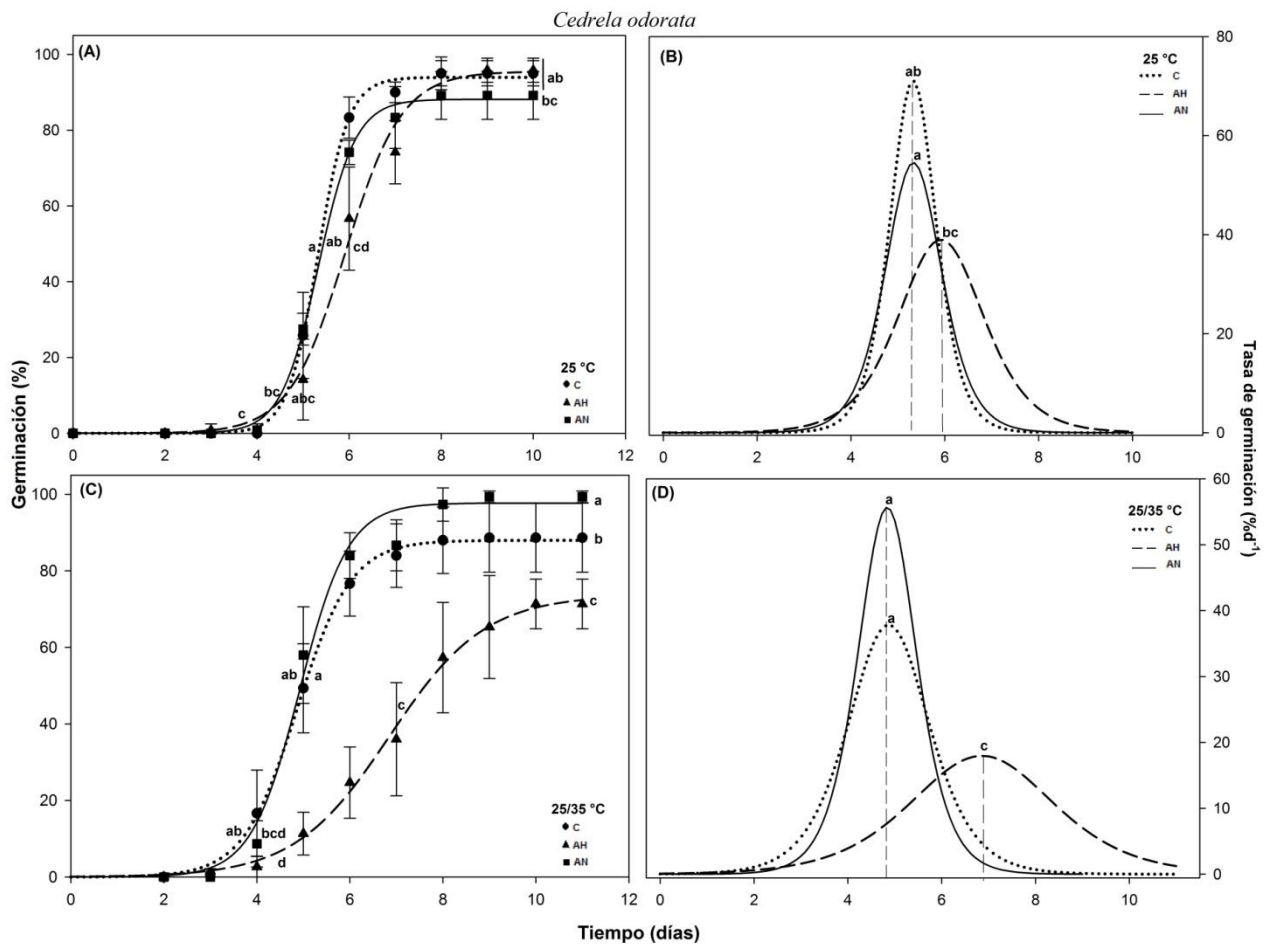


Fig. 21. (A) Porcentaje acumulado de germinación de *C. odorata* a temperatura constante (25°C) y (C) a temperatura fluctuante (25/35°C) de semillas control (•••••), con acondicionamiento natural en campo (■) y semillas con acondicionamiento hídrico (▲). (B y D) sincronía, velocidad máxima y tiempo promedio de germinación. (•••••) Semillas control, (—) semillas con acondicionamiento natural en campo y (---) semillas con acondicionamiento hídrico. Las letras indican diferencias significativas en los parámetros indicados sobre las curvas en los paneles. La comparación estadística incluyó los factores: temperatura y acondicionamiento (no acondicionadas, acondicionamiento hídrico y natural. En la germinación se muestran los promedios  $\pm$  desviación estándar.

#### 5.4.2. Preacondicionamientos en semillas de *Swietenia macrophylla*

En *S. macrophylla* el porcentaje de germinación no mostró diferencias significativas (Fig. 22A, C). El tiempo de inicio tuvo diferencias significativas debido al acondicionamiento, los tiempos más cortos los tuvieron los tratamientos AH-25/35°C, AH-25°C y AN-25°C (con 0.043, 0.38, 0.51, días respectivamente, sin diferencia significativa con el tratamiento AN-25/35°C). El tiempo promedio tuvo diferencias significativas debidas a la temperatura, el acondicionamiento y a la interacción de éstos dos factores. Se alcanzó más pronto en AN-25°C y AN-25/35°C (1.13 y 1.5 días, respectivamente). En la velocidad de germinación los dos factores y su interacción tuvieron efecto significativo (Tabla.8 y 9). Ésta fue igual en todos los preacondicionamientos excepto en AN- 25/35°C, en donde fue significativamente mayor (15.7 semillas día<sup>-1</sup>). La sincronía fue mayor en los tratamientos AN-25/35°C, y AN-25°C. En los otros preacondicionamientos la sincronía fue mayor que en los preacondicionamientos anteriores (Tabla. 8 y 9).

**Tabla. 8** Resultados del análisis de MANOVA de dos vías aplicados a los parámetros de germinación obtenidos a partir de los ajustes de las curvas acumulativas de germinación de *Swietenia macrophylla* germinadas en dos temperatura: 25°C y 25/35°C. Las semillas previamente fueron expuestas a: acondicionamiento natural, acondicionamiento hídrico o a ninguno (control).

| Parámetro de la germinación | Factor               | Resultado de la MANOVA |      |          |
|-----------------------------|----------------------|------------------------|------|----------|
|                             |                      | <i>F</i>               | g.l. | <i>P</i> |
| Tiempo de inicio            | Temperatura          | 1.07                   | 1,29 | 0.31     |
|                             | Preacondicionamiento | 40.13                  | 2,29 | 0.00001  |
|                             | Interacción          | 1.39                   | 2,29 | 0.27     |
| Velocidad máxima            | Temperatura          | 24.63                  | 1,29 | 0.00001  |
|                             | Preacondicionamiento | 13.46                  | 2,29 | 0.0001   |
|                             | Interacción          | 9.97                   | 2,29 | 0.0007   |
| Tiempo promedio             | Temperatura          | 131.92                 | 1,29 | 0.00001  |
|                             | Preacondicionamiento | 279.07                 | 2,29 | 0.00001  |
|                             | Interacción          | 20.24                  | 2,29 | 0.00001  |

**Tabla.9.** Pruebas de rango múltiple de Tukey HSD, aplicado a los parámetros de la germinación de *Swietenia macrophylla*. En la germinación se muestran los arcosenos.

**Inicio de germinación**

**Velocidad de germinación**

| Tratamiento | Casos | Media   | Grupos Homógenos | Tratamiento | Casos | Media   | Grupos Homógenos |
|-------------|-------|---------|------------------|-------------|-------|---------|------------------|
| AN-25°C     | 5     | 1.12727 | a                | C-25°C      | 5     | 5.82238 | b                |
| AN-25/35°C  | 5     | 1.50303 | a                | AH-25°C     | 5     | 6.75872 | b                |
| AH-25/35°C  | 5     | 4.96364 | b                | AN-25°C     | 5     | 6.7824  | b                |
| C-25/35°C   | 5     | 5.14747 | b                | C-25/35°C   | 5     | 7.01654 | b                |
| AH-25°C     | 5     | 5.29091 | b                | AH-25/35°C  | 5     | 8.42761 | b                |
| C-25°C      | 5     | 6.57576 | b                | AN-25/35°C  | 5     | 15.6935 | a                |

**Tiempo promedio**

**Germinación (%)**

| Tratamiento | Casos | Media   | Grupos Homógenos | Tratamiento | Casos | Media   | Grupos Homógenos |
|-------------|-------|---------|------------------|-------------|-------|---------|------------------|
| AN-25/35°C  | 5     | 4.09125 | a                | AN-25/35°C  | 5     | 70.0587 | a                |
| AN-25°C     | 5     | 5.28217 | a                | C-25°C      | 5     | 70.9727 | a                |
| AH-25/35°C  | 5     | 11.2338 | b                | AH-25°C     | 5     | 71.1562 | a                |
| C-25/35°C   | 5     | 12.7683 | b                | AN-25°C     | 5     | 77.5294 | a                |
| AH-25°C     | 5     | 17.4113 | c                | AH-25/35°C  | 5     | 77.9805 | a                |
| C-25°C      | 5     | 20.4863 | d                | C-25/35°C   | 5     | 80.0844 | a                |

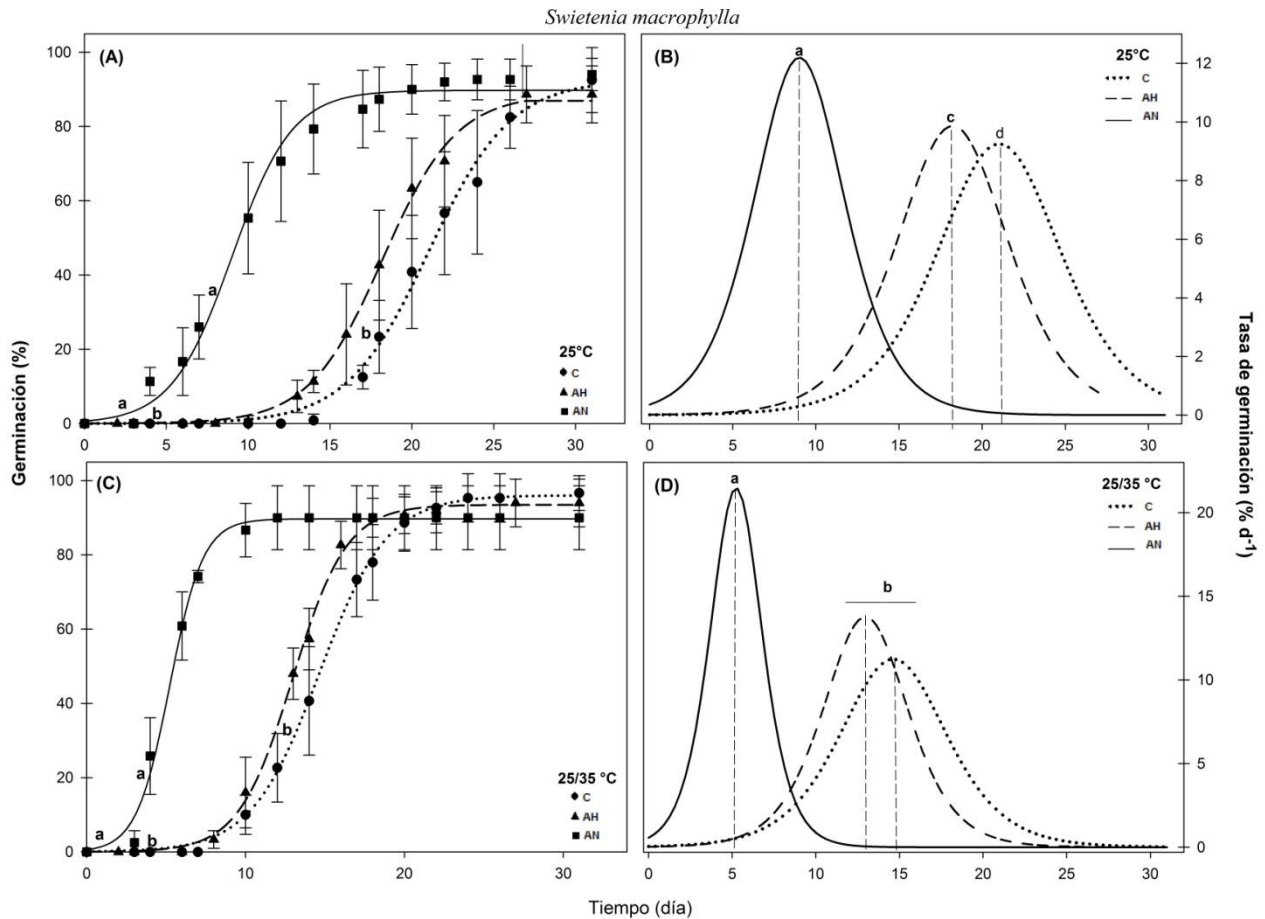


Fig. 21. (A) Porcentaje acumulado de la germinación de *S. macrophylla* temperatura constante (25°C) y (C) a temperatura fluctuante (25/35°C) de semillas control (●), con acondicionamiento natural en



campo (■) y semillas con acondicionamiento hídrico (▲). (B y D) sincronía, velocidad máxima y tiempo promedio de germinación. (.....) Semillas control, (—) semillas con acondicionamiento natural en campo y (---) semillas con acondicionamiento hídrico. Las letras indican diferencias significativas.. La comparación estadística incluyó los factores: temperatura y acondicionamiento (no acondicionadas, acondicionamiento hídrico y natural). En la germinación se muestran los promedios  $\pm$  desviación estándar.

#### 5.4.3. Preacondicionamientos en semillas de *Enterolobium cyclocarpum*

En *E. cyclocarpum* el porcentaje de germinación fue afectado significativamente por el acondicionamiento ( $F_{(3,35)} = 127.22$ ,  $P = 0.00001$ ); la temperatura ( $F_{(1,35)} = 1.92$ ,  $P = 0.12$ ) y la interacción entre estos factores no tuvieron efecto significativo ( $F_{(3,35)} = 0.08$ ,  $P = 0.97$ ). La germinación más alta se dio en los tratamientos AH-25° y AH-25/35°C (93.33 y 95.83%, respectivamente, sin diferencia significativa con C-25/35°C y C-25°C (89.33 y 88.66%, respectivamente). La germinación más baja se dio en las semillas con el tratamiento ANSE en ambas temperaturas (2.5 y 5% para 25 y 25/35°C), respectivamente (Fig. 22, Tab. 10 y 11). Dada la baja germinación en las semillas de acondicionamiento natural sin escarificar, se comparó estadísticamente el porcentaje final de germinación, y no así para los otros parámetros germinativos. En el tiempo de inicio solo tuvo efecto significativo el acondicionamiento (Tab.10). El tiempo de inicio más corto lo tuvieron las semillas de los tratamientos AH-25/35°C, AH-25°C y AN-25°C (0.043, 0.38 y 0.5 días, respectivamente), sin diferencia significativa con AN-25/35°C). Los más largos lo presentaron los controles a ambas temperaturas (Tab. 10 y 11). La velocidad de germinación fue afectada significativamente solo por el preacondicionamiento. La velocidad fue más alta en AH-25/35°C (34.97 semillas día<sup>-1</sup>), seguida por AN-25°C (27.35 semillas día<sup>-1</sup>), este tratamiento no tuvo diferencia significativa con los otros. En el tiempo

promedio tuvieron un efecto significativo el pretratamiento y la interacción de éste con la temperatura. El tiempo promedio se alcanzó en un tiempo más corto en AH-25/35°C (0.37 días). Este valor fue significativamente distinto a todos los otros tratamientos, en donde el tiempo más largo lo presentó el tratamiento C-25/35°C (4.84 días). En cuanto a la sincronía esta fue mayor en AH y AN-25/35°C.

**Tabla. 10** Resultados de los análisis de MANOVA de dos vías aplicados a los parámetros de germinación obtenidos a partir de los ajustes de las curvas acumulativas de germinación de *Enterolobium cyclocarpum* germinadas en dos temperatura: 25°C y 25/35°C. Las semillas previamente fueron expuestas a: acondicionamiento natural, acondicionamiento hídrico o a ninguno (control).

| Parámetro de la germinación | Factor               | Resultado de la MANOVA |      |          |
|-----------------------------|----------------------|------------------------|------|----------|
|                             |                      | <i>F</i>               | g.l. | <i>P</i> |
| Tiempo de inicio            | Temperatura          | 0.69                   | 1,29 | 0.42     |
|                             | Preacondicionamiento | 11.1                   | 2,29 | 0.0005   |
|                             | Interacción          | 0.42                   | 2,29 | 0.66     |
| Velocidad máxima            | Temperatura          | 1.65                   | 1,29 | 0.21     |
|                             | Preacondicionamiento | 4.93                   | 2,29 | 0.02     |
|                             | Interacción          | 2.46                   | 2,29 | 0.1087   |
| Tiempo promedio             | Temperatura          | 2.88                   | 1,29 | 0.1      |
|                             | Preacondicionamiento | 232.90                 | 2,29 | 0.00001  |
|                             | Interacción          | 52.41                  | 2,29 | 0.00001  |

**Tabla. 11.** Pruebas de rango múltiple de Tukey HSD, aplicado a los parámetros de la germinación de *Enterolobium cyclocarpum*. En la germinación se muestran los arcosenos.

| Inicio de germinación |       |           |                   | Velocidad de germinación |       |         |                   |
|-----------------------|-------|-----------|-------------------|--------------------------|-------|---------|-------------------|
| Tratamiento           | Casos | Media     | Grupos Homogéneos | Tratamiento              | Casos | Media   | Grupos Homogéneos |
| AH-25/35°C            | 4     | 0.0429293 | a                 | C-25°C                   | 5     | 21.0653 | b                 |
| AH-25°C               | 5     | 0.383838  | a                 | C-25/35°C                | 5     | 21.7753 | b                 |
| AN-25°C               | 5     | 0.507071  | a                 | AH-25°C                  | 5     | 25.0129 | b                 |
| AN-25/35°C            | 4     | 0.555556  | ab                | AN-25/35°C               | 4     | 25.4047 | b                 |
| C-25/35°C             | 5     | 1.09899   | bc                | AN-25°C                  | 5     | 27.3532 | ab                |
| C-25°C                | 5     | 1.2303    | c                 | AH-25-35°C               | 4     | 34.975  | a                 |

| Tiempo promedio |       |          |                   | Germinación (%) |       |         |                   |
|-----------------|-------|----------|-------------------|-----------------|-------|---------|-------------------|
| Tratamiento     | Casos | Media    | Grupos Homogéneos | Tratamiento     | Casos | Media   | Grupos Homogéneos |
| AH-25/35°C      | 4     | 0.368975 | a                 | ANSE-25°C       | 4     | 7.8898  | c                 |
| AN-25°C         | 5     | 1.53094  | b                 | ANSE-25/35°C    | 4     | 12.7415 | c                 |
| AH-25°C         | 5     | 1.69165  | b                 | AN-25°C         | 5     | 59.2331 | b                 |
| AN-25/35°C      | 4     | 1.79621  | b                 | AN-25/35°C      | 4     | 64.0735 | ab                |
| C-25°C          | 5     | 3.16523  | c                 | C-25°C          | 5     | 71.6036 | ab                |
| C-25/35°C       | 5     | 4.83642  | d                 | C-25/35°C       | 5     | 73.4188 | ab                |
|                 |       |          |                   | AH-25°C         | 5     | 76.6407 | a                 |
|                 |       |          |                   | AH-25/35°C      | 4     | 79.8885 | a                 |

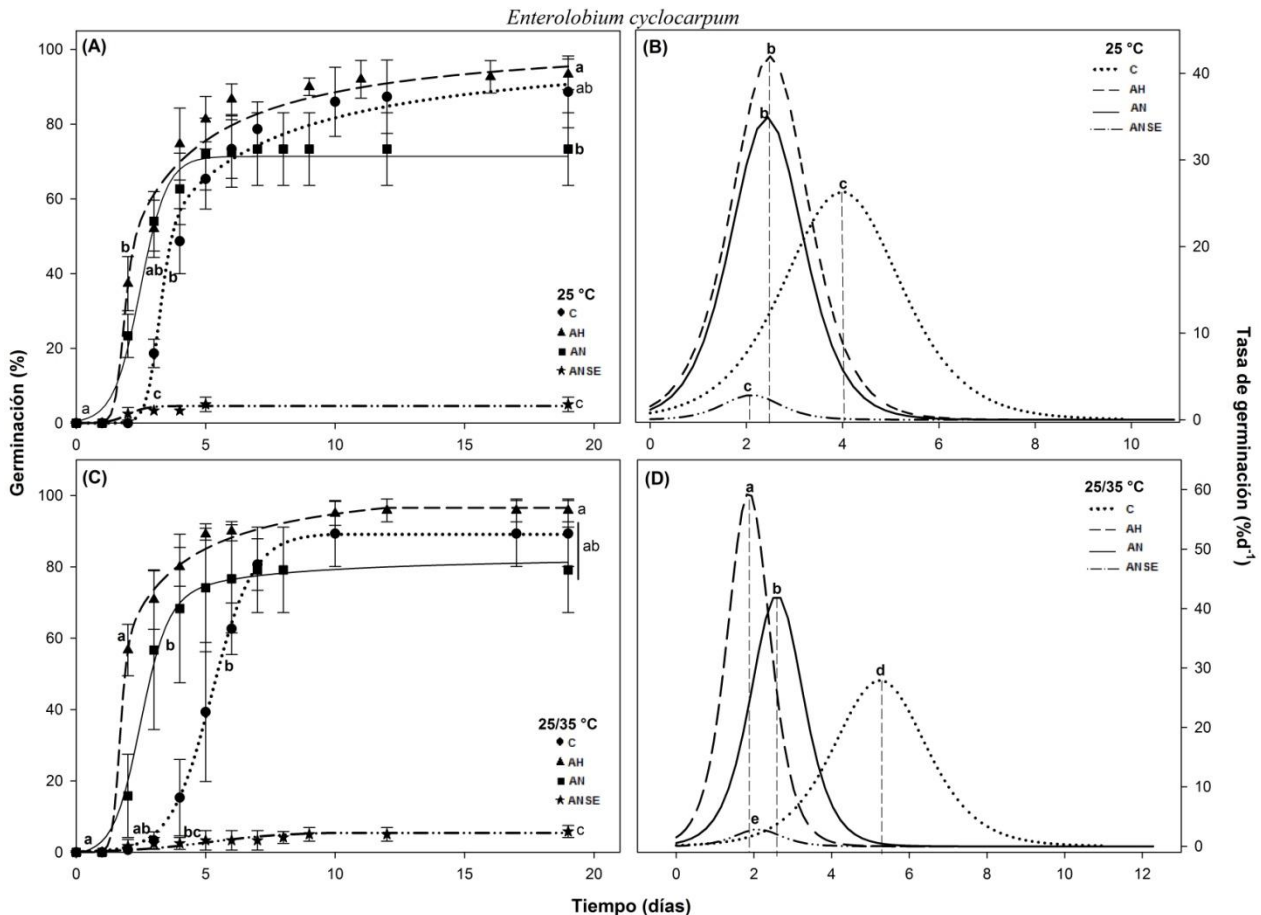


Fig. 22. (A) Porcentaje acumulado de germinación de *E.cyclocarpum* a temperatura constante (25°C) y (C) a temperatura fluctuante (25/35°C) de semillas control (•—•), con acondicionamiento natural en campo (■—), semillas con acondicionamiento hídrico (▲—) y semillas sin escarificar con acondicionamiento natural (★—). (B y D) sincronía, velocidad máxima y tiempo promedio de germinación. (.....) Semillas control, (—) semillas con acondicionamiento natural en campo, (---) semillas con acondicionamiento hídrico y semillas sin escarificar con acondicionamiento natural (.—.). Las letras indican diferencias significativas en los parámetros indicados sobre las curvas en los paneles. La comparación estadística incluyó los factores: temperatura y acondicionamiento (no acondicionadas, acondicionamiento hídrico y natural). En la germinación se muestran los promedios  $\pm$  desviación estándar.

#### 5.4.4. Preacondicionamientos en semillas de *Saman saman*

En *S. saman* la temperatura y el acondicionamiento tuvo un efecto significativo ( $F_{(1,37)} = 4.1$ ,  $P = 0.05$ ) y ( $F_{(3,37)} = 24.07$ ,  $P = 0.00001$ ), respectivamente y la interacción ( $F_{(3,37)} = 4.6$ ,  $P = 0.001$ ) que afectaron más al porcentaje de germinación. La germinación más alta se obtuvo en AH-25/35°C, AN-25/35°C y AN-25°C (79.33, 76.66, y 75.83%, respectivamente) (Fig.23A, C);

Sin embargo no difirieron de los controles C-25°C y C-25/35°C (72 y 70.6%, respectivamente). El tiempo de inicio más largo lo tuvo C-25/35°C (1.95 días) y difirió de todos los otros preacondicionamientos que tuvieron un tiempo de inicio en menor tiempo (0.35-0.6 días, excepto de AN-25°C (0.88 días), C-25°C (1.01 días) y ANSE-25°C (1 días), los cuales a su vez no difirieron de los preacondicionamientos con los tiempos de inicio más cortos (Fig.23, Tab.12 y 13). El preacondicionamiento tuvo un efecto significativo ( $F_{(1,37)} = 8.7$ ,  $P = 0.0003$ ) en la velocidad de germinación, sin embargo, ni la temperatura y ni interacción entre ambas mostro un efecto. La velocidad de germinación fue mayor en el tratamiento AN-25/35°C (14.4 semillas día<sup>-1</sup>), sin diferencias con los tratamientos AN-25°C, ANSE-25°C, ANSE-25/35°C y AH-

25/35°C (13.9, 13.04, 10.3 y 6.4 semillas día<sup>-1</sup> respectivamente), ni con los controles C-25°C y C-25/35°C (6.6 y 8.01 semillas día<sup>-1</sup> respectivamente); la más baja se encontró en el tratamiento H-25°C (5.45 semillas día<sup>-1</sup>). El tiempo promedio fueron significativos la temperatura, el pretratamiento y la interacción (Tabla. 12 y 13). El tiempo promedio se presentó más tardíamente en los tratamientos C-25/35°C, AH-25/35°C (6.22 y 5.75 días, respectivamente) y más rápido en todos los otros tratamientos, excepto en C-25 y AN-25°C, que no difirió de todos los otros. Los preacondicionamientos más sincrónicos fueron AN a ambas temperaturas y AH-25°C.

**Tabla. 12** Resultados del análisis de MANOVA de dos vías aplicados a los parámetros de germinación obtenidos a partir de los ajustes de las curvas acumulativas de germinación de *Samanea saman* germinadas en dos temperatura: 25°C y 25/35°C. Las semillas previamente fueron expuestas a: acondicionamiento natural, acondicionamiento hídrico o a ninguno (control).

| Parámetro de la germinación | Factor               | Resultado de la MANOVA |      |          |
|-----------------------------|----------------------|------------------------|------|----------|
|                             |                      | <i>F</i>               | g.l. | <i>P</i> |
| Tiempo de inicio            | Temperatura          | 0.27                   | 1,37 | 0.605    |
|                             | Preacondicionamiento | 6.73                   | 3,37 | 0.0013   |
|                             | Interacción          | 3.58                   | 3,37 | 0.025    |
| Velocidad máxima            | Temperatura          | 0.00                   | 1,37 | 0.97     |
|                             | Preacondicionamiento | 8.7                    | 3,37 | 0.0003   |
|                             | Interacción          | 0.58                   | 3,37 | 0.63     |
| Tiempo promedio             | Temperatura          | 4.12                   | 1,37 | 0.051    |
|                             | Preacondicionamiento | 5.91                   | 3,37 | 0.003    |
|                             | Interacción          | 3.59                   | 3,37 | 0.0249   |

**Tabla. 13.** Pruebas de rango múltiple de Tukey HSD, aplicado a los parámetros de la germinación de *Samanea saman*. Solo al inicio de la germinación se le hizo una prueba de Bonferroni. Se presentan los arcosenos de los porcentajes de germinación.

| <b>Inicio de germinación</b> |              |              |                          | <b>Velocidad de germinación</b> |              |              |                          |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| <i>Tratamiento</i>           | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> | <i>Tratamiento</i>              | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
| AH-25°C                      | 5            | 0.353535     | <b>a</b>                 | AH-25°C                         | 5            | 5.45477      | <b>b</b>                 |
| AN-25/35°C                   | 4            | 0.464646     | <b>a</b>                 | AH-25/35°C                      | 5            | 6.44248      | <b>ab</b>                |
| AH-25/35°C                   | 5            | 0.599137     | <b>a</b>                 | C-25°C                          | 5            | 6.64552      | <b>ab</b>                |
| ANSE-25/35°C                 | 5            | 0.606061     | <b>a</b>                 | C-25/35°C                       | 5            | 8.01359      | <b>ab</b>                |
| ANSE-25°C                    | 4            | 0.888889     | <b>ab</b>                | ANSE-25/35°C                    | 5            | 10.3241      | <b>ab</b>                |
| ACN-25°C                     | 5            | 1.00606      | <b>ab</b>                | ANSE-25°C                       | 5            | 13.0416      | <b>ab</b>                |
| C-25°C                       | 5            | 1.0101       | <b>ab</b>                | AN-25°C                         | 4            | 13.8725      | <b>ab</b>                |
| C-25/35°C                    | 5            | 1.94747      | <b>b</b>                 | AN-25/35°C                      | 4            | 14.3804      | <b>a</b>                 |

| <b>Tiempo promedio</b> |              |              |                          | <b>Germinación (%)</b> |              |              |                          |
|------------------------|--------------|--------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| <i>Tratamiento</i>     | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> | <i>Tratamiento</i>     | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
| AH-25°C                | 5            | 1.87523      | <b>a</b>                 | ANSE-25/35°C           | 5            | 46.0         | <b>c</b>                 |
| ANSE-25/35°C           | 5            | 1.99229      | <b>a</b>                 | ANSE-25°C              | 5            | 46.0         | <b>c</b>                 |
| AN-25/35°C             | 4            | 1.93202      | <b>ab</b>                | AH-25°C                | 5            | 56.6667      | <b>bc</b>                |
| ANSE-25°C              | 5            | 2.43893      | <b>ab</b>                | C-25/35°C              | 5            | 70.6667      | <b>ab</b>                |
| AN-25°C                | 4            | 2.71598      | <b>abc</b>               | C-25°C                 | 5            | 72.0         | <b>ab</b>                |
| C-25°C                 | 5            | 4.13636      | <b>abc</b>               | AN-25°C                | 4            | 75.8333      | <b>a</b>                 |
| AH-25/35°C             | 5            | 5.74835      | <b>bc</b>                | AN-25/35°C             | 4            | 76.6667      | <b>a</b>                 |
| C-25/35°C              | 5            | 6.22309      | <b>c</b>                 | AH-25/35°C             | 5            | 79.3333      | <b>a</b>                 |

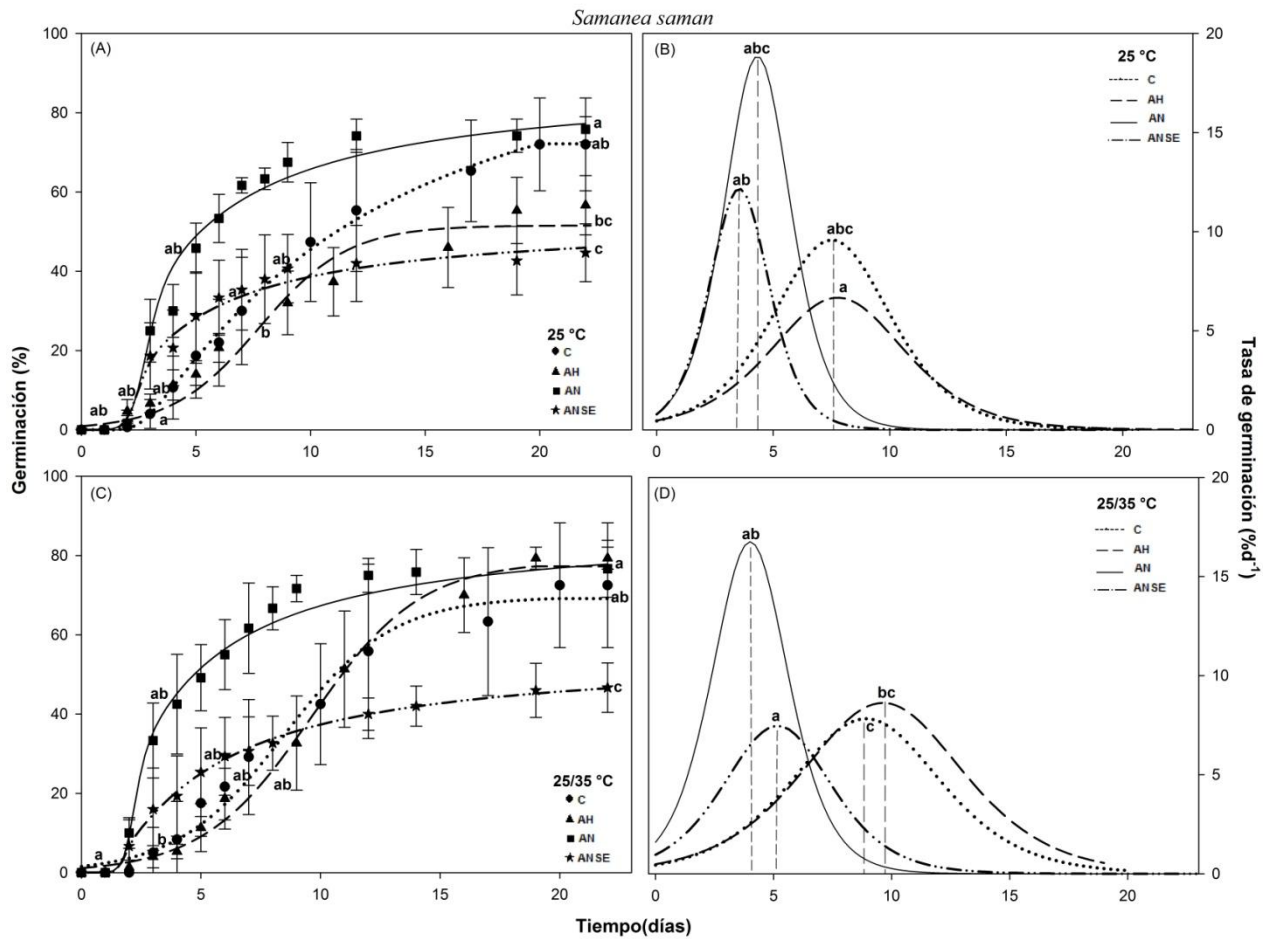


Fig. 23. (A) Porcentaje acumulado de germinación de *Samanea saman* a temperatura constante (25°C) y (C) a temperatura fluctuante (25/35°C) de semillas control (---●---), con acondicionamiento natural en campo (—■—), semillas con acondicionamiento hídrico (---▲---) y semillas sin escarificar con acondicionamiento natural (—★—). (B y D) sincronía, velocidad máxima y tiempo promedio de germinación. (.....) Semillas control, (—) semillas con acondicionamiento natural en campo, (---) semillas con acondicionamiento hídrico y semillas sin escarificar con acondicionamiento natural (—★—). Las letras indican diferencias significativas en los parámetros indicados sobre las curvas en los paneles. La comparación estadística incluyó los factores: temperatura y acondicionamiento (no acondicionadas, acondicionamiento hídrico y natural). En la germinación se muestran los promedios ± desviación estándar.

## 5.5. Trasplante de plántulas a campo

*Cedrela odorata* fue la única especie que no se trasplantó a campo, debido a que las plántulas murieron a causa del calor en el invernadero.

Al momento en que las plantas de *Swietenia macrophylla* se llevaron al campo para su trasplante no encontramos diferencias significativas en altura entre los precondicionamientos. En cambio en el diámetro a la base del tallo y el diámetro promedio mayor, se encontraron diferencias en el acondicionamiento natural (AN) a temperaturas fluctuantes (25/35°C). Los demás precondicionamientos no presentaron diferencias entre sí en esta variable. En el número de hojas tampoco encontramos diferencias significativas entre los precondicionamientos (Fig.24).

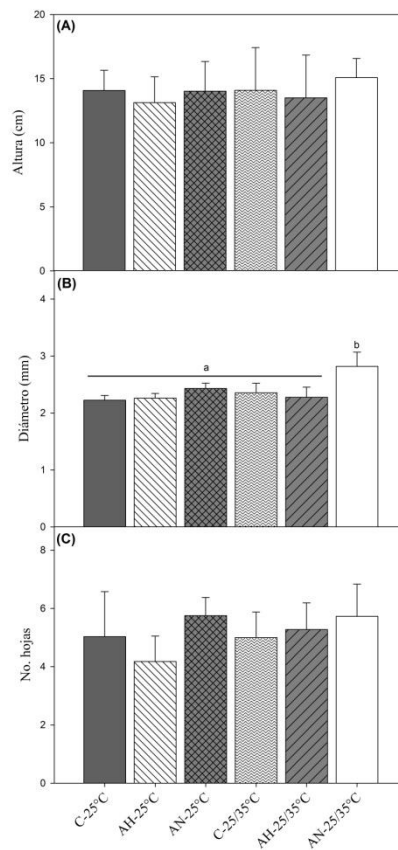




Fig. 24- Valores absolutos de crecimiento en invernadero de *Swietenia macrophylla* para las variables altura (A), diámetro a la base del tallo DAB (B) y número de hojas (C). Las letras indican diferencias significativas entre los preacondicionamientos. Los datos presentados corresponden a las plántulas resultantes de las semillas germinadas a temperaturas constantes (25°C) y fluctuantes (25/35°C). Las temperaturas se indican inmediatamente después de la letra que indica el pretratamiento. Estos fueron: control (C); acondicionamiento hídrico (H), acondicionamiento natural (N). Las letras indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

En *E. cyclocarpum* no hubo diferencias significativas ni en la altura de las plantas ni en el diámetro a la base del tallo. En el número de hojas si hubo diferencias significativas. El mayor número de hojas lo tuvieron las plantas con acondicionamiento natural a 25°C seguido del pretratamiento de acondicionamiento natural a 25/35°C, éste último pretratamiento no difirió de los preacondicionamientos restantes, excepto del pretratamiento con plantas con el menor número de hojas, que fue el acondicionamiento hídrico a 25°C (Fig.25).

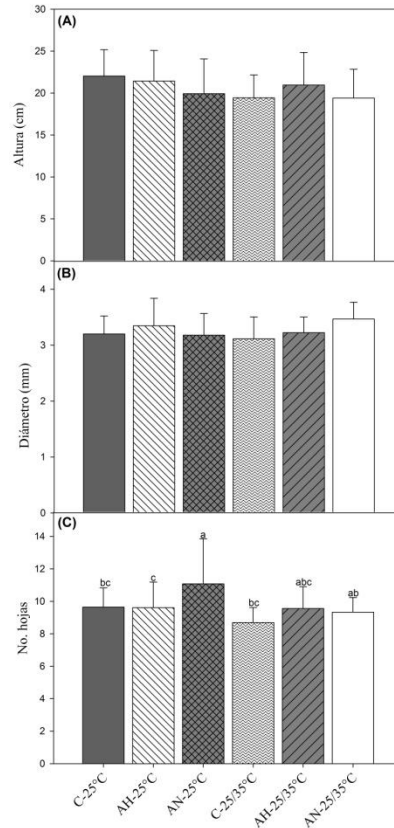


Fig. 25. Valores de crecimiento en invernadero de *E.cyclocarpum* para las variables altura (A), diámetro a la base del tallo DAB (B) y número de hojas (C), entre los precondicionamientos. Los datos presentados corresponden a las plántulas resultantes de las semillas con el precondicionamientos y germinadas a temperaturas constantes (25°C) y fluctuantes (25/35°C). Precondicionamientos: C-25, control; H-25, acondicionamiento hídrico, N-25, acondicionamiento natural, C-25/35, control, H-25/35, hídrico y N-25/35. Los valores que no comparten letras iguales son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ).

Precondicionamientos: C-25, control; H-25, acondicionamiento hídrico, N-25, acondicionamiento natural, C-25/35, control, H-25/35, hídrico y N-25/35.

En *S. saman* hubieron diferencias significativas en la altura debidas a la temperatura ( $F_{(1,63)} = 12.76$ ,  $P = 0.0007$ ), los precondicionamientos ( $F_{(2,63)} = 5.25$ ,  $P = 0.008$ ) y a la interacción entre

ambos factores ( $F_{(2,63)} = 4.1$ ,  $P = 0.022$ ). Las plántulas más altas se encontraron en los preacondicionamientos hídrico y natural a 25/35°C) y las plantas más pequeñas fueron las del acondicionamiento hídrico a 25°C. Los preacondicionamientos no difirieron de los descritos anteriormente. El diámetro a la base del tallo también difirió significativamente debido al efecto de la temperatura ( $F_{(1,63)} = 8.06$ ,  $P = 0.006$ ) y los preacondicionamientos ( $F_{(2,63)} = 4.16$ ,  $P = 0.02$ ), la interacción entre estos factores no fue significativa. Las plantas con diámetros mayores correspondieron también al acondicionamiento natural y al hídrico a 25/35°C y los menores al control a temperatura constante. Los otros preacondicionamientos no difirieron significativamente de estos valores extremos. En el número de hojas no hubo diferencias significativas (Fig.26).

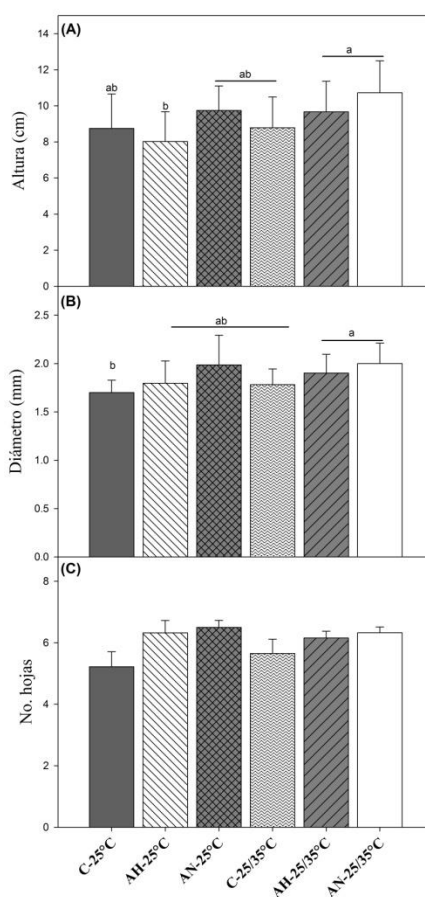


Fig. 26. Valores de crecimiento en invernadero de plántulas de *S.saman* para las variables altura (A), diámetro a la base del tallo DAB (B) y número de hojas (C). Los datos presentados corresponden a las plántulas resultantes de las semillas germinadas a temperaturas constantes (25°C) y fluctuantes (25/35°C), lo cual se indica en la gráfica después de la letra que indica el pretratamiento: control (C); acondicionamiento hídrico (H), acondicionamiento natural (N). Las letras indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

## 5.6. Crecimiento de plántulas en campo ( sitio1, sin pendiente)

### 5.6.1. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de *Swietenia macrophylla*

A este sitio solo se llevaron plántulas provenientes de las semillas control y con acondicionamiento hídrico que germinaron a 25°C, debido a que el número de plántulas obtenido de la temperatura fluctuante fue insuficiente. Las TRC siempre fueron positivas (Fig.27 B, D). Las plantas no tuvieron diferencias significativas en la TRC de altura debido a alguno de los factores o a su interacción.

Los valores absolutos si presentaron diferencias significativas en el mes de mayo ( $F_{(2, 41)} = 4.7$ ,  $P = 0.015$ ). En el diámetro a la base del tallo, en el periodo septiembre-noviembre hubieron diferencias significativas en la TRC ( $F_{(2, 49)} = 9.13$ ,  $P = 0.0004$ ). Las plantas del tratamiento AN-

25°C y del control tuvieron las TRC más altas. En las restantes temporadas no hubieron diferencias significativas.

En septiembre, los valores absolutos de DAT fueron mayores en el tratamiento AN-25°C, sin diferencia significativa con las plántulas del AH-25°C ( $F_{(2, 62)} = 4.1$ ,  $P = 0.021$ ). En los meses de noviembre y mayo, los tallos de las plantas AN-25°C fueron más gruesos, pero no hubo diferencias con C-25°C ( $F_{(2, 49)} = 10.6$ ,  $P = 0.0002$ ;  $F_{(2, 41)} = 4.48$ ,  $P = 0.018$ , respectivamente); en agosto se perdieron estas diferencias y se incrementó la heterogeneidad en DAT. En el número de hojas, en septiembre y noviembre se presentaron diferencias significativas ( $H = 31.016$ ,  $P = 0.00001$ ;  $F_{(2, 49)} = 3.76$ ,  $P = 0.031$ ). El mayor número se observó en AN-25°C. Sin embargo en noviembre ya no hubo diferencia significativa con el control. En los siguientes meses no hubo diferencias significativas debidas a los preacondicionamientos (Fig. 27).

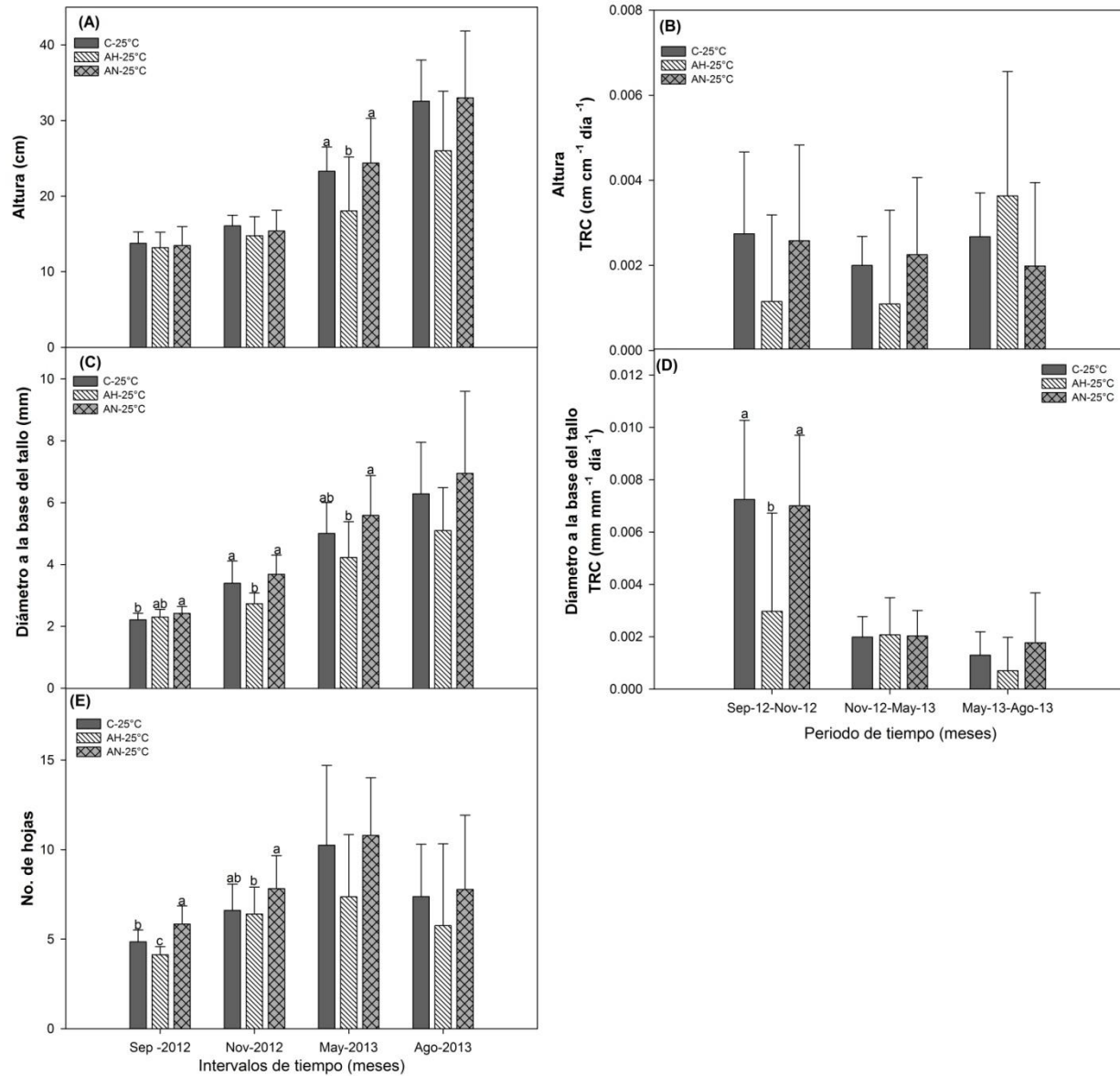


Fig. 27. Tasa relativa de crecimiento (TRC) de *S. macrophylla* en el sitio 1 (sin pendiente). Se calculó de septiembre a noviembre de 2012, es decir del trasplante al mes en que se acaban las lluvias en Papantla; el segundo periodo de noviembre del 2012 a mayo del 2013 el cual incluyó la época seca y el tercer periodo de mayo del 2012 a agosto del 2012 que incluyó los primeros meses de la segunda temporada de lluvias. Las variables de crecimiento para las que se calculó la TRC fueron: Altura absoluta (A) y diámetro absoluto a la base del tallo (C). (> 0.05).

Número total de hojas (E). Las plántulas provenían de semillas control (C) y semillas a las que se le aplicó acondicionamiento hídrico (AH) y acondicionamiento natural (AN), y que fueron germinadas a temperatura constante de 25°C. En el eje de las abscisas se indican los meses que duró cada temporada de crecimiento. Las TRC para altura (B) y TRC diámetro (C). Las letras iguales muestran diferencias significativas en las TRC entre los preacondicionamientos en cada temporada de crecimiento ( $> 0.05$ ).

### **5.6.2. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de *Enterolobium cyclocarpum***

En *E. cyclocarpum*, no hubo diferencias significativas en la TRC, en ningún periodo de evaluación (Fig.28). En los valores absolutos solo en noviembre se encontraron diferencias significativas, las plántulas del tratamiento C-25, las que presentaron mayor crecimiento y las del tratamiento AN-25/35°C fueron las de menor altura, las diferencias se debieron solo al acondicionamiento ( $F_{(2, 116)} = 8.55$ ,  $P = 0.0004$ ). En septiembre-noviembre se encontraron diferencias significativas en la TRC del DAT, debidas al acondicionamiento ( $F_{(2, 112)} = 3.18$ ,  $P = 0.04$ ). La TRC mas pequeña se encontró en AN-25°C y la más grande se encontró en C-25/35°C) (Fig. 28D). En los valores absolutos hubo diferencias significativas en septiembre debidas a la interacción de acondicionamiento y temperatura ( $F_{(2, 141)} = 6.48$ ,  $P = 0.002$ ) y en noviembre debidas a la interacción ( $F_{(2, 116)} = 3.54$ ,  $P = 0.03$ ) y al acondicionamiento ( $F_{(2, 116)} = 3.93$   $P = 0.022$ ). En el número de hojas no se encontró ninguna diferencia significativa.

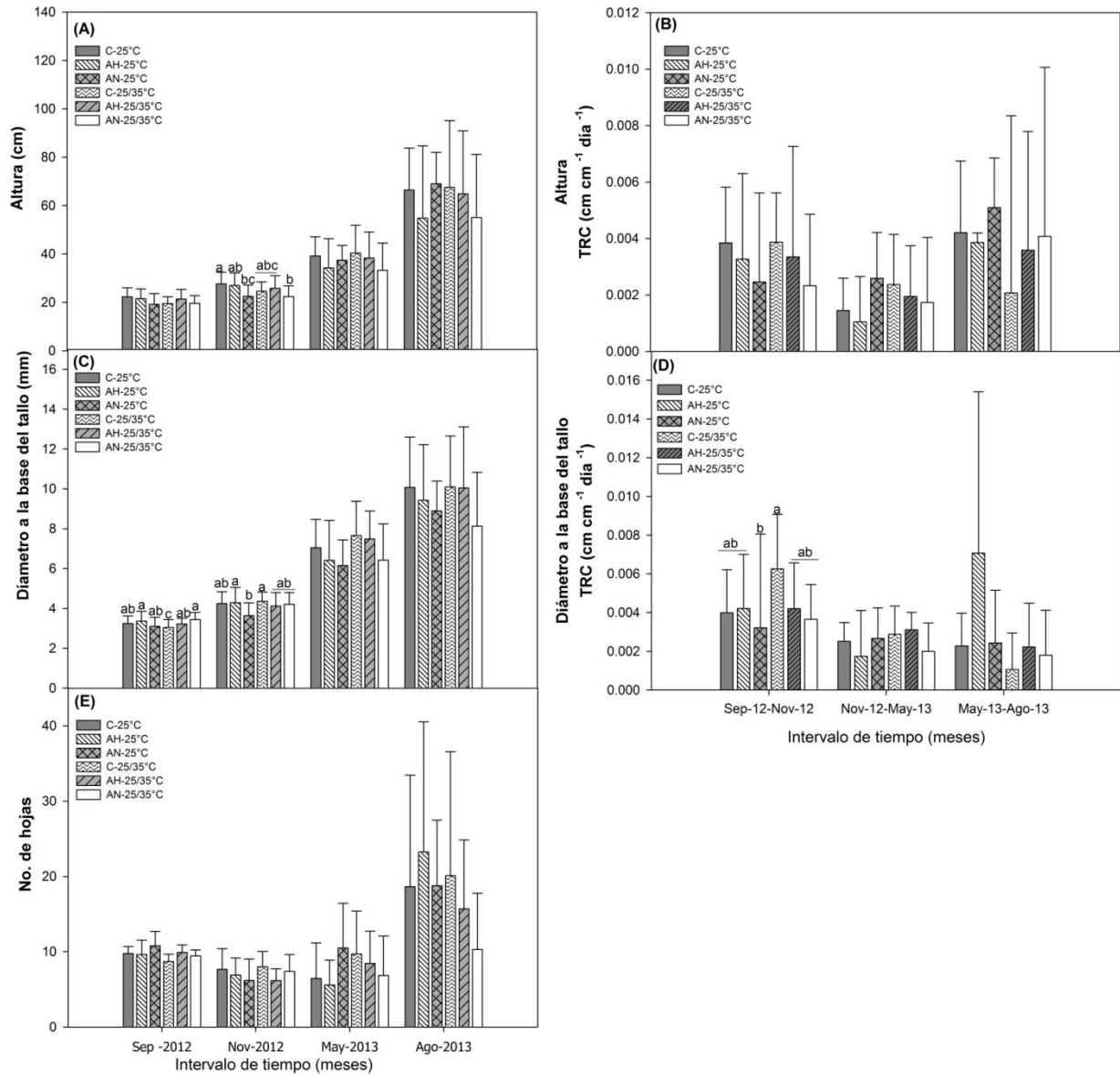


Fig. 28. Tasa relativa de crecimiento (TRC) de *E. cyclocarpum* en el (sitio 1, sin pendiente). Se calculó de septiembre a noviembre de 2012, es decir del trasplante al mes en que se acaban las lluvias en Papantla; el segundo periodo de noviembre del 2012 a mayo del 2013 que incluyó la época seca y el tercer periodo de mayo del 2012 a agosto del 2012 que incluye los primeros meses de la segunda temporada de lluvias. Las variables de crecimiento para las que se calculó la TRC fueron: Altura absoluta (A) y diámetro absoluto a la base del tallo (C). (> 0.05).



Número total de hojas (E). Las plántulas provenían de semillas control (C) y semillas a las que se le aplicó acondicionamiento hídrico (AH) y acondicionamiento natural (AN) germinadas a temperatura constante de 25°C y fluctuante 25/35°C. En el eje de las abscisas se indican los meses que duró cada temporada de crecimiento. Las TRC para altura (B) y TRC diámetro (C). Las letras iguales muestran diferencias significativas en las TRC entre los preacondicionamientos en cada temporada de crecimiento.

### **5.6.3. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de *Samanea saman***

En *S.saman*, no hubo diferencias significativas en la TRC, en ningún periodo de evaluación (Fig.29). En los valores absolutos de altura en el mes de septiembre se encontraron diferencias significativas, siendo las plantas del tratamiento AN-25/35°C y AN-25°C las que mostraron una altura mayor con respecto al AH y C, y las del tratamiento AH-25°C las de menor altura, las diferencias se debieron al acondicionamiento ( $F_{(2, 99)} = 18.07$ ,  $P = 0.00001$ ) y a la temperatura ( $F_{(1, 99)} = 12.68$ ,  $P = < 0.001$ ) para el mes de noviembre las diferencias se debieron al acondicionamiento ( $F_{(2, 90)} = 20.65$ ,  $P = 0.00001$ ) y para mayo la diferencias se debieron al acondicionamiento ( $F_{(2, 77)} = 4.52$ ,  $P = 0.014$ ).

En los valores absolutos de DAT hubo diferencias significativas en septiembre debidas al acondicionamiento ( $F_{(2, 99)} = 10.51$ ,  $P = 0.0001$ ) y en noviembre debidas al acondicionamiento ( $F_{(2, 90)} = 11.06$ ,  $P = 0.0001$ ) . En el número de hojas hubo diferencias en el mes de septiembre debidas a la interacción de acondicionamiento y temperatura ( $F_{(2,99)} = 4.2$ ,  $P = 0.018$ ) y al acondicionamiento ( $F_{(2, 99)} = 11.97$ ,  $P = 0.00001$ ), en el mes de noviembre las diferencias fueron debido a la interacción del acondicionamiento y la temperatura ( $F_{(2,90)} = 3.84$ ,  $P = 0.03$ ) y al acondicionamiento ( $F_{(2,90)} = 9.19$   $P = 0.0002$ ).

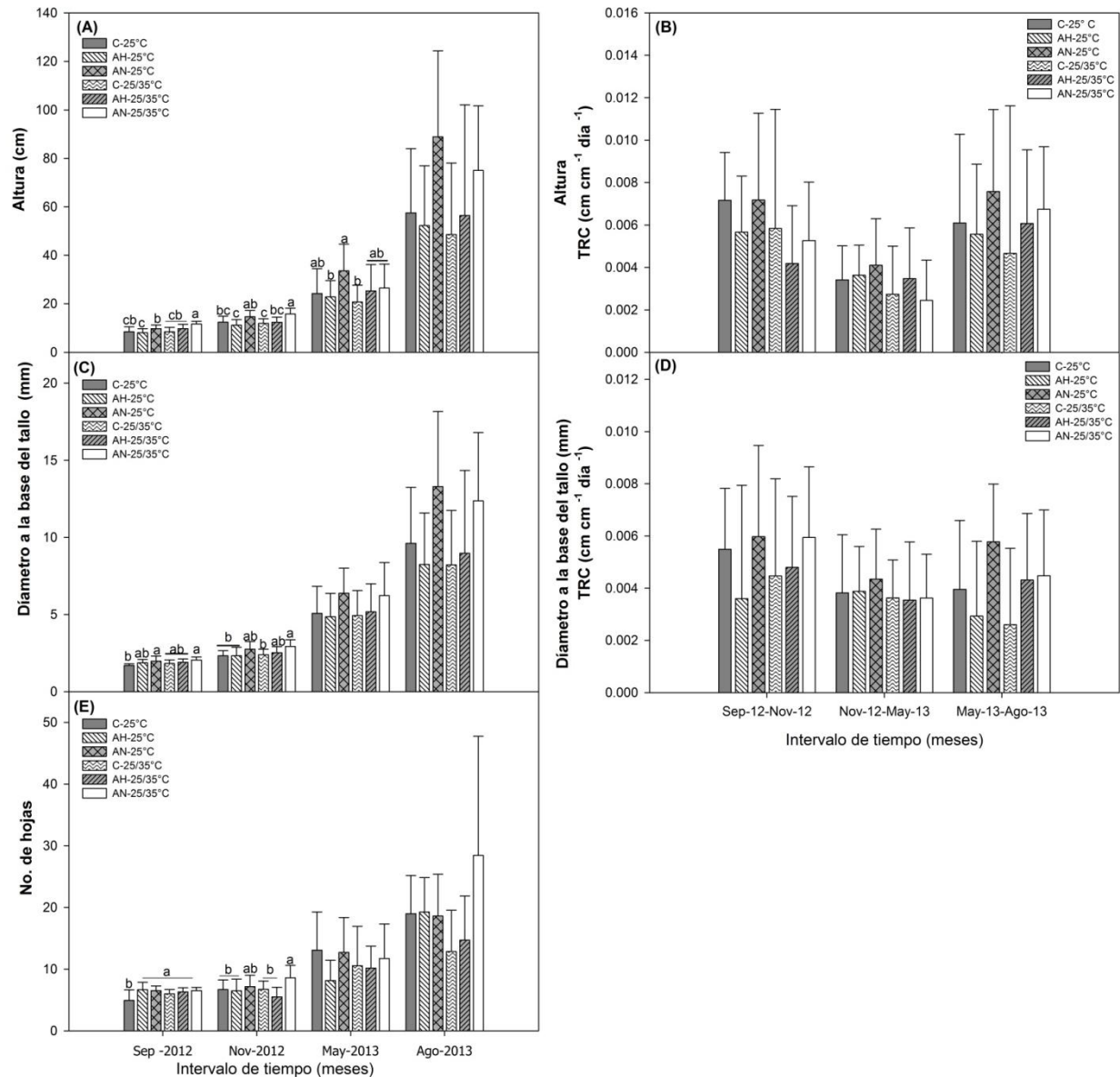


Fig. 29. Tasa relativa de crecimiento (TRC) de *S. saman* en el sitio 1 (sin pendiente). Se calculó de septiembre a noviembre de 2012, es decir del trasplante al mes en que se acaban las lluvias en Papantla; el segundo periodo de noviembre del 2012 a mayo del 2013 que incluyó la época seca y el tercer periodo de mayo del 2012 a agosto del 2012 que incluye los primeros meses de la segunda temporada de lluvias. Las variables de crecimiento para las que se calculó la TRC fueron: Altura absoluta (A) y diámetro absoluto a la base del tallo (C). Número total de hojas (E). Las plántulas provenían de semillas control (C) y semillas a las que se le aplicó un acondicionamiento hídrico (AH) y un acondicionamiento natural (AN), y

germinadas a temperatura constante de 25°C y fluctuante 25/35°C. En el eje de las abscisas se indican los meses que duró cada temporada de crecimiento. Las TRC para altura (B) y TRC diámetro (C). Las letras iguales muestran diferencias significativas en las TRC entre los preacondicionamientos en cada temporada de crecimiento. (> 0.05).

## **5.7. Crecimiento de plántulas (sitio 2, pendiente del 75%).**

### **5.7.1. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de *Swietenia macrophylla***

En ninguna de las especies se encontraron diferencias significativas entre las TRC, ni en cada temporada, ni atribuibles a la temperatura, el pretratamiento o su interacción, en ninguno de los parámetros del crecimiento evaluados (Fig.30).

En *S. macrophylla*, no hubo diferencias significativas en la TRC, en ningún periodo de evaluación. La TRC en altura durante el periodo de evaluación sep-12-nov-12 decreció en las plántulas con AH-25/35°C y AN-25/35°C. En los valores absolutos de DAT en el mes de septiembre se encontraron diferencias significativas, siendo los AN-25/35°C el tratamiento que mostró una mayor altura con respecto a los tratamientos AH y C en ambas temperaturas, las diferencias se debieron al acondicionamiento ( $F_{(2, 68)} = 10.94$ ,  $P = 0.0001$ ). No se encontraron diferencias significativas en los valores absolutos de altura y número de hojas.

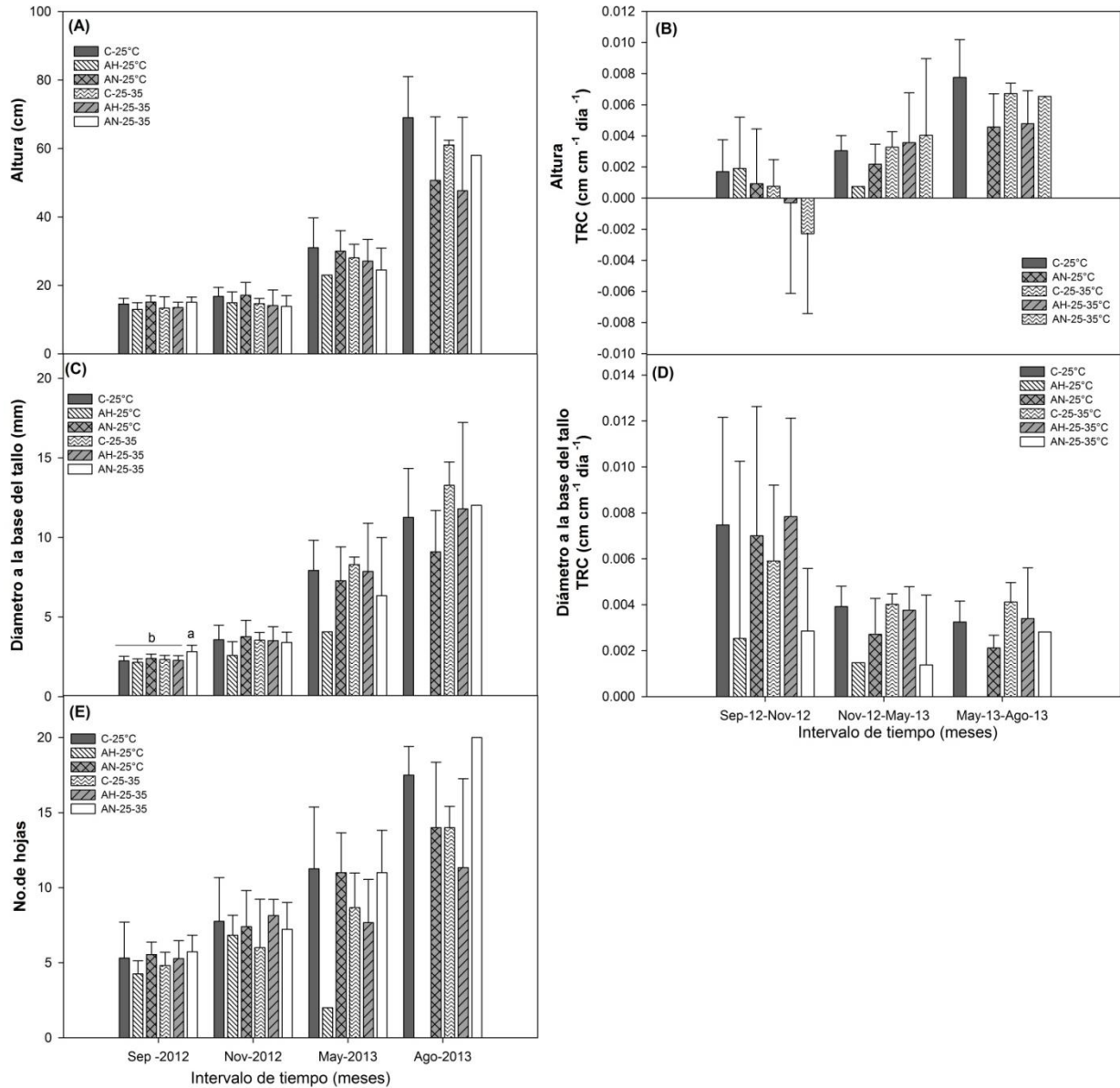


Fig. 30. Tasa relativa de crecimiento (TRC) de *S. macrophylla* en un sitio con pendiente de 75%. Se calculó de septiembre a noviembre de 2012, es decir del trasplante al mes en que se acaban las lluvias en Papantla; el segundo periodo de noviembre del 2012 a mayo del 2013 que incluyó la época seca y el tercer periodo de mayo del 2012 a agosto del 2012 que incluye los primeros meses de la segunda temporada de lluvias. Las variables de crecimiento para las que se calculó la TRC fueron: Altura absoluta (A) y diámetro absoluto a la base del tallo (C). Número total de hojas (E). Las plántulas provenían de semillas control (C) y semillas a las que se le aplicó acondicionamiento hídrico (AH) y acondicionamiento natural (AN)

germinadas a temperatura constante de 25°C y fluctuante 25/35°C. En el eje de las abscisas se indican los meses que duró cada temporada de crecimiento. Las TRC para altura (B) y TRC diámetro (C). Las letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada temporada de crecimiento ( $> 0.05$ ).

### **5.7.2. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de *Enterolobium cyclocarpum***

En *E.cyclocarpum*, no hubieron diferencias significativas en la TRC de altura y diámetro a la base del tallo, en ningún periodo de evaluación. En los valores absolutos de altura en el mes de septiembre se encontraron diferencias significativas, siendo los AN-25°C el que mostró una altura mayor con respecto los tratamientos AH y C en ambas temperaturas, las diferencias se debieron al acondicionamiento ( $F_{(2, 67)} = 17.16, P = 0.0001$ ). No se encontraron diferencias significativas en los valores absolutos de diámetro y número de hojas. (Fig. 31).

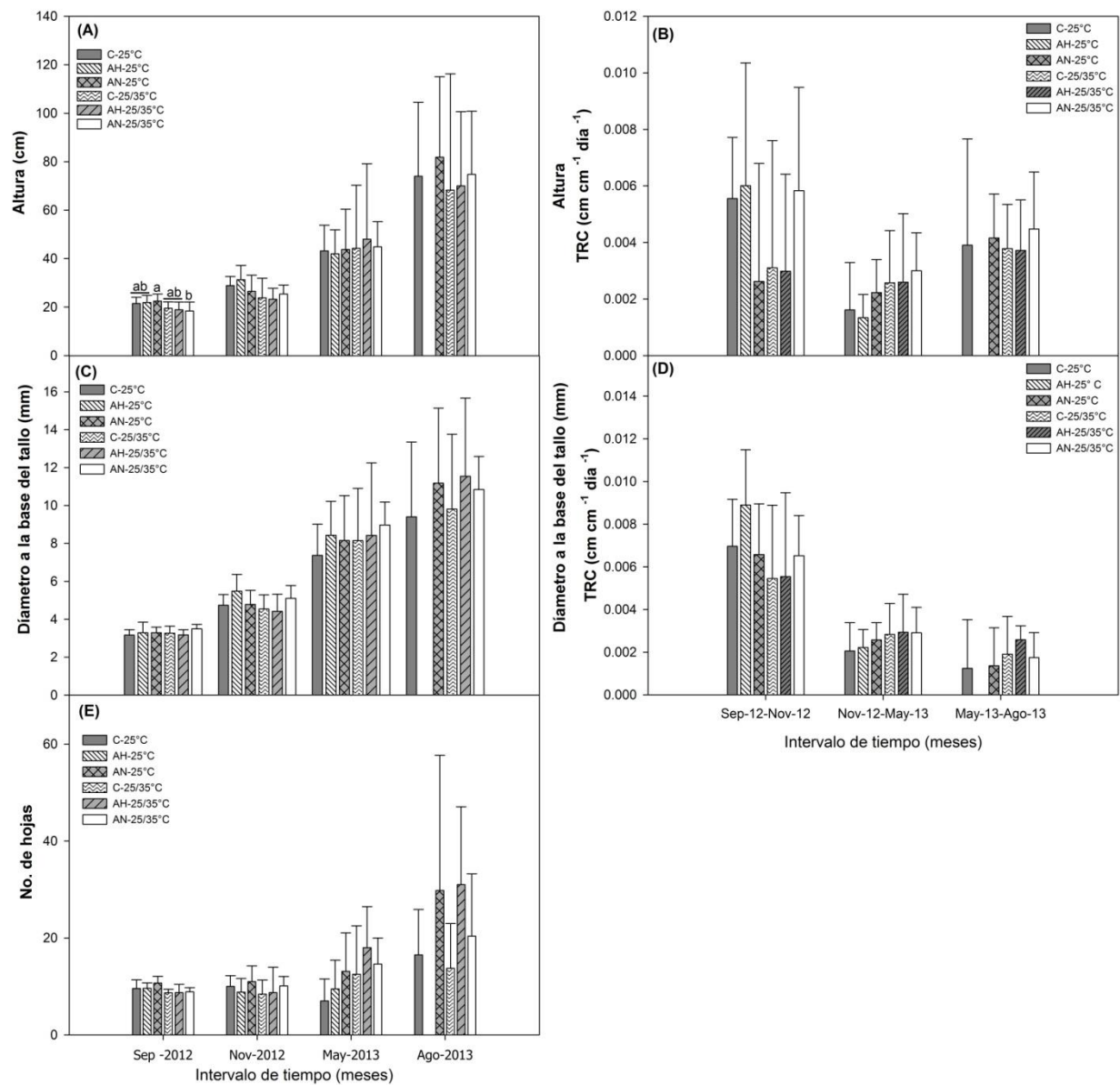


Fig. 31. Tasa relativa de crecimiento (TRC) de *E. cyclocarpum* en un sitio con pendiente de 75%. Se calculó de septiembre a noviembre de 2012, es decir del trasplante al mes en que se acaban las lluvias en Papantla; el segundo periodo de noviembre del 2012 a mayo del 2013 que incluyó la época seca y el tercer periodo de mayo del 2012 a agosto del 2012 que incluye los primeros meses de la segunda temporada de lluvias. Las variables de crecimiento para las que se calculó la TRC fueron: Altura absoluta (A) y diámetro absoluto a la base del tallo (C). Número total de hojas (E). Las plántulas provenían de semillas control (C) y semillas a las que se le aplicó acondicionamiento hídrico (AH) y acondicionamiento natural (AN)

germinadas a temperatura constante de 25°C y fluctuante 25/35°C. En el eje de las abscisas se indican los meses que duró cada temporada de crecimiento. Las TRC para altura (B) y TRC diámetro (C). Las letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos, dentro de cada temporada de crecimiento.

### **5.7.3. Evaluación de parámetros de crecimiento y tasas relativas de crecimiento de plántulas de *Samanea saman***

En *S.saman*, no se obtuvieron diferencias significativas en la TRC de altura y diámetro a la base del tallo, en ningún periodo de evaluación. Sin embargo en los valores absolutos de altura en el mes de septiembre se encontraron diferencias significativas, siendo las plantas de los tratamiento AN-25/35°C y AH-25/35°C las que mostraron una altura mayor con respecto a las plantas sel tratamiento AH-25°C, las diferencias se debieron al acondicionamiento y a la temperatura ( $F_{(2, 63)} = 5.25$ ,  $P = 0.008$  y  $F_{(1, 63)} = 12.76$ ,  $P = 0.0007$ , respectivamente). En cuanto a los valores absolutos de diámetro se encontraron diferencias significativas en el mes de septiembre, las diferencias se debieron al acondicionamiento y a la temperatura ( $F_{(2, 63)} = 4.16$ ,  $P = 0.021$  y  $F_{(1, 63)} = 8.06$ ,  $P = 0.006$ ; respectivamente). En cuanto al número de hojas no se encontraron diferencias significativas en los meses evaluados ( Fig. 32).

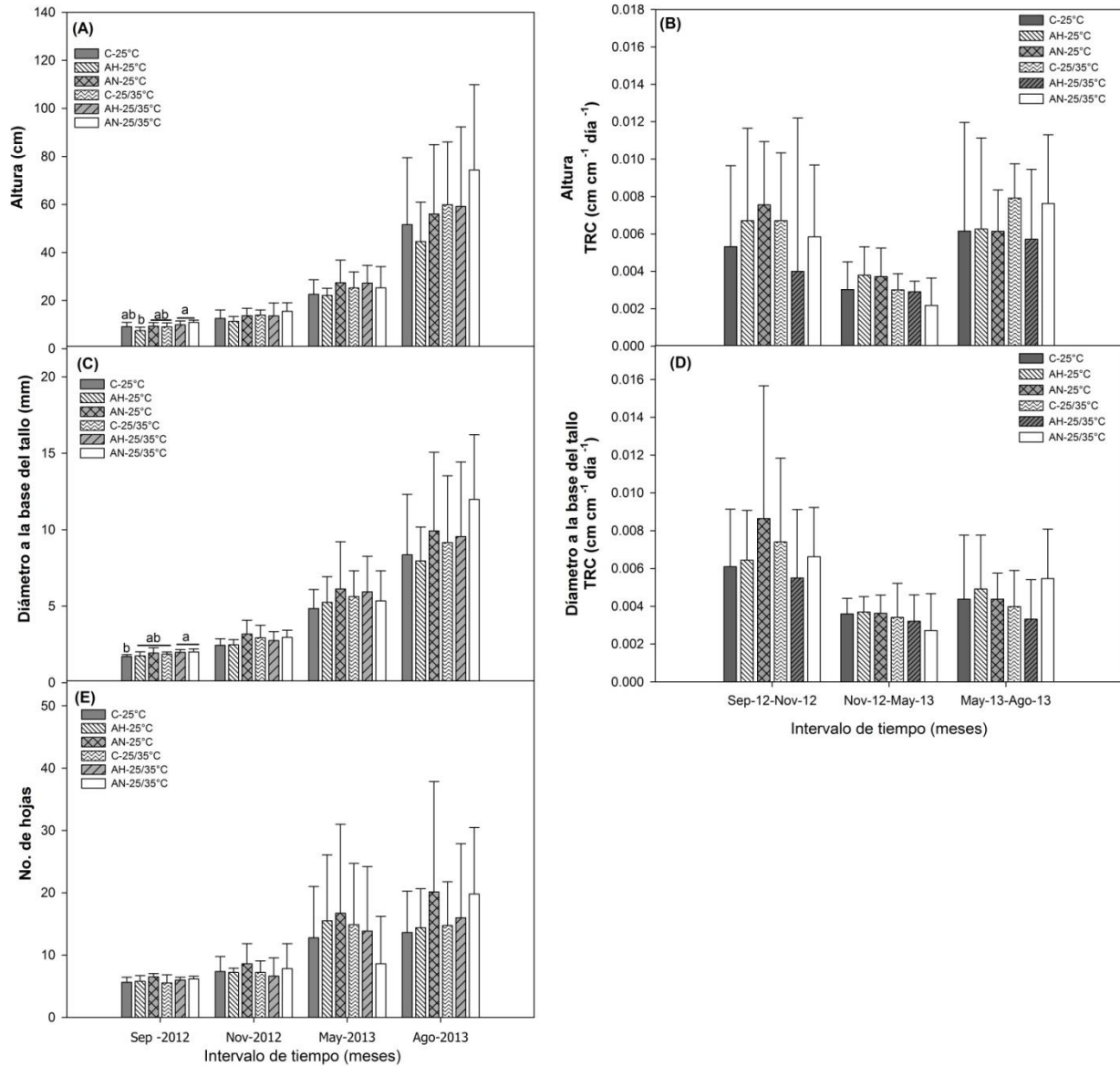


Fig. 32. Tasa relativa de crecimiento (TRC) de *S. saman* en un sitio 2 con pendiente de 75%.

Se calculó de septiembre a noviembre de 2012, es decir del trasplante al mes en que se acaban las lluvias en Papantla; el segundo periodo de noviembre de 2012 a mayo de 2013 que incluyó la época seca y el tercer periodo de mayo de 2012 a agosto de 2012 que incluye los primeros meses de la segunda temporada de lluvias. Las variables de crecimiento para las que se calculó la TRC fueron: Altura absoluta (A) y diámetro absoluto a la base del tallo (C). Número total de hojas (E). Las plántulas provenían de semillas control (C) y semillas a las que se le aplicó acondicionamiento hídrico (AH) y acondicionamiento natural



(AN) germinadas a temperatura constante de 25°C y fluctuante 25/35°C. En el eje de las abscisas se indican los meses que duró cada temporada de crecimiento. Las TRC para altura (B) y TRC diámetro (C). Las letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada temporada de crecimiento ( $> 0.05$ ).

### 5.8. Probabilidad de supervivencia

En el sitio 1 (sin pendiente) la probabilidad de supervivencia al interior de cada especie difirió con el pretratamiento de acondicionamiento que se le dio a las semillas y con la temperatura en el caso de las dos especies en que se pusieron plantas derivadas de semillas germinadas a 25 y a 25/35°C. En *S. macrophylla* las plantas derivadas de AN-25°C y de C-25°C (0.83 y 0.72, respectivamente) tuvieron más probabilidades de sobrevivir, pero solo las plantas del tratamiento AN-25°C fue significativamente diferente de AH-25°C (0.46). En *E. cyclocarpum* las plantas derivadas de AH-25/35°C (0.91) la probabilidad fue diferente de AN-25°C que tuvo la supervivencia más baja (0.52), pero ésta fue igual a los demás tratamientos. En *S. saman* las plantas con más probabilidades de sobrevivir son las derivadas de plantas provenientes de AN-25/35°C y AN-25°C (0.93 y 0.9, respectivamente), sin embargo estas probabilidades solo difirieron significativamente de C-25/35°C (0.55).

En el sitio 2, con pendiente de 75%, las plantas de *S. macrophylla* con más probabilidades de sobrevivir fueron las del tratamiento AH-25/35°C; sin embargo ésta solo difirió significativamente de las plantas C-25°C y AN-25/35°C, que tuvieron la menor probabilidad de supervivencia (0.22 y 0.04, respectivamente). Sin embargo no hubo diferencias de las probabilidades extremas con los demás tratamientos. Las plantas de *E. cyclocarpum* tuvieron más

probabilidades de sobrevivir cuando provinieron de AN-25/35°C.(0.69). Solo las plantas que provenían del AH-25/35°C mostraron ser significativamente menores (0.26) que ésta. En *S. saman* no se encontraron diferencias significativas Fig.33.

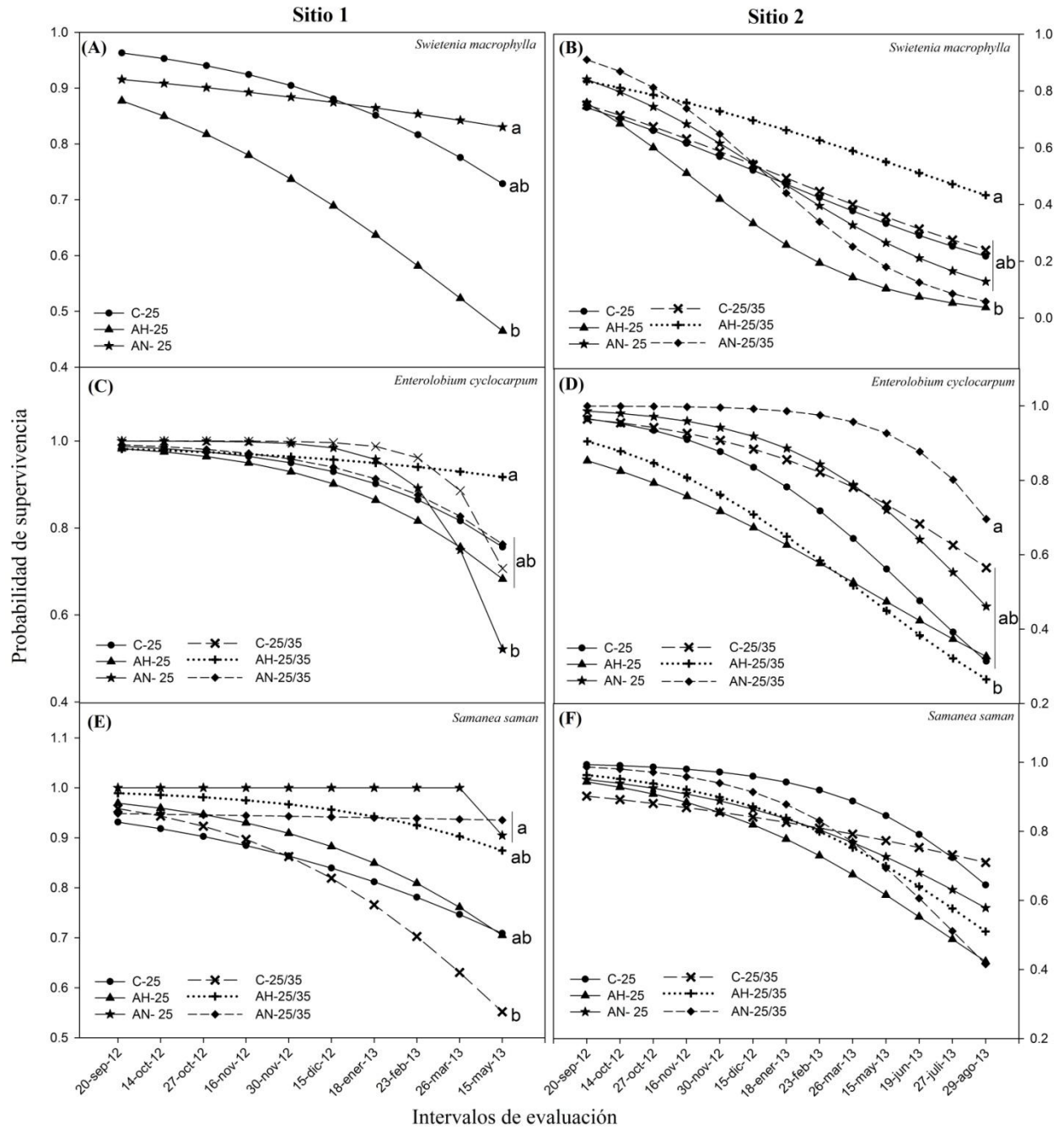


Fig. 33 Probabilidades de sobrevivencia en sitio 1 (plano) (A, C, E) y sitio 2 (pendiente) (B, D, F) para *S.macropylla* (A, B), *E.cyclocarpum* (C; D) y *S. saman* (E, F), después de 8 meses de ser trasplantados a campo. En el sitio 1 (Septiembre 2012- Mayo 2013), y 11 meses en el sitio 2 con pendiente (Septiembre 2012- Agosto 2013). Las plantas provenían de semillas expuestas a los preacondicionamientos (C) control, (AH) acondicionamiento hídrico y (AN) acondicionamiento natural y germinadas a 25°C o a 25/35°C.

## VI.DISCUSIÓN

El contenido de lípidos de las especies estudiadas las separa en dos grupos, lipídicas y no lipídicas. Las lipídicas fueron *S. macrophylla* y *C. odorata*, cuyo porcentaje de lípidos superó el 17% de lípidos de la soya y el de *C. odorata* está próximo al valor reportado para las semillas de canola 35-50 % reportado por Caddick, 2002. *Swietenia macrophylla* es una especie a la que se le atribuye un comportamiento en almacén "intermedio" (RBGK, 2014), mientras que *C. odorata* es una especie con comportamiento ortodoxo. Las semillas intermedias pueden ser deshidratadas a bajos contenidos de humedad, pero no tolera temperaturas bajo 0°C; mientras que, las ortodoxas si pueden ser almacenadas a temperaturas bajo 0°C (Hong y Ellis, 1996). Fuera de estas condiciones de almacenamiento su viabilidad es relativamente corta, para *S. macrophylla* se ha reportado una viabilidad no mayor a 120 días (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999) en condiciones de almacenamiento rustico (sensu Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1993) y su corta longevidad estaría relacionada con su contenido de lípidos, mayor al 53.3% en este estudio y mayor a 40.4% con base en otros autores (RBGK, 2014). En el caso de *C. odorata* su conducta en almacén es ortodoxa por la que en condiciones óptimas de almacenamiento las semillas conservan su viabilidad por muchos años y en condiciones de almacenaje rustico podría ser incluso de varios años. Su contenido de lípidos fue superior (34%) al 21.4% reportado previamente (RBGK, 2014).

*Brassica napus* contiene 33.5% de lípidos y también tiene una conducta ortodoxa, al igual que *C. odorata* que tiene un contenido de lípidos de 34.4%. *Omphalea oleifera* puede tener un contenido de lípidos tan alto como 45.6% (Sánchez-Coronado *et al.*, 2007) y a diferencia de *S. macrophylla* es una especie recalcitrante, a pesar de que ambas especies tienen un contenido de humedad libre de lípidos relativamente bajo, por esta razón es necesario realizar un estudio más profundo de la conducta en almacén de *S. macrophylla*. Se ha reportado que semillas con alto contenido de lípidos presentan un envejecimiento más acelerado, provocado por la peroxidación de los lípidos, lo que a su vez reduce la viabilidad en condiciones de almacenamiento circunstancial (Sung y Jeng, 1994).

Los tratamientos de acondicionamiento más conocidos (hídrico, osmótico, mátrico, de vapor de agua -drum priming-) incrementan la velocidad y la sincronía de la germinación; el porcentaje de germinación puede ser reducido o incrementado (Bray, 1995). En la mayoría de los estudios el tiempo de inicio y el tiempo promedio de germinación por lo general no son evaluados, dado que los consideran parte de la medición de la velocidad de germinación, ya que ésta es calculada a través de índices, o como el inverso del tiempo para alcanzar determinado tiempo de germinación (Scott *et al.*, 1984), sin embargo, los parámetros calculados a partir de curvas modelo dan información precisa sobre puntos específicos del curso seguido por la germinación y por lo tanto nos permitió evaluar exactamente los parámetros de la germinación y algunos puntos del patrón trifásico de la germinación reportados por Bewley (1994) (Fig.1), lo que permite saber que parte del proceso está siendo afectado por el tratamiento. El tiempo de inicio correspondería a la duración de la suma del tiempo de imbibición y la fase de lag (tiempo de reposo), es decir es el tiempo para que la primera semilla, de la población sembrada, germine; mientras que, la primera derivada máxima en la curva que describe la velocidad máxima a la cual las semillas de

la población alcanzan la fase III, y el tiempo promedio corresponde al tiempo en que se alcanzó la velocidad máxima de germinación (véase Fig.12). Considerando estos parámetros de la germinación, encontramos que en las semillas de las especies estudiadas (*S. saman*, *E. cyclocarpum*, *S. macrophylla* y *C. odorata*) difirieron de acuerdo con el tratamiento (acondicionamiento hídrico y natural) en todos los parámetros evaluados.(inicio, tiempo promedio, velocidad, sincronía y porcentaje de germinación) Los tratamientos no afectaron de igual forma a todas las especies, como ocurre en otras especies en las que se ha estudiado el efecto de diferentes tratamientos de acondicionamiento en el laboratorio (Bray, 1995). Es decir, no todos los parámetros de la germinación son necesariamente modificados de la misma manera en todas las especies por los mismos tratamientos de acondicionamiento.

Los efectos de los pretratamientos de acondicionamiento fueron más notorios en las semillas de *S. macrophylla*, en la cual al menos un tratamiento de acondicionamiento redujo notablemente el tiempo de inicio y la velocidad de germinación, no así, la capacidad germinativa que fue igual o menor que al menos uno de los tratamientos control. El inicio de la germinación (de 6.6 a 1.1 días) y el tiempo promedio (de 20.5 a 4.1 días) fueron reducidos por AN-25 y AN 25-35, mientras que la velocidad fue incrementada (5.8 a 15.7 semillas d<sup>-1</sup>) solo por el AN-25-35.

Estos resultados nos indican que enterrar a las semillas por un tiempo breve (8 días) en el suelo de su lugar de origen, no solo sería importante para que en condiciones naturales la especie tuviera ventajas competitivas, con respecto a otras especies, durante la germinación y el crecimiento temprano, sino que también reduciría el tiempo de manejo en vivero. En esta especie una pequeña pérdida en la capacidad germinativa con AN-25 (de 94.66 a 84.66) y ninguna con H-25, no representa una pérdida importante para el cultivo en vivero.

En *C. odorata* el efecto de los pretratamientos de acondicionamiento tuvieron un efecto prácticamente nulo, el inicio no difirió entre ninguno de los preacondicionamientos y el porcentaje de germinación no difirió entre al menos uno de los controles (C-25) y uno de los tratamientos de acondicionamiento (N-25/35). La velocidad de germinación es más alta en ambos control C-25°C y el tiempo de inicio aunque fue más corto en las semillas expuestas a AH-25/35°C y AN-25/35°C (1.8 y 1.9, respectivamente) la diferencia con los controles es inexistente (1.7 días). Por último en las semillas expuestas a H-25 y H-25/35 el tiempo promedio fue aún más largo que en el control. Esta especie tardó en embeberse en el laboratorio menos de un día por lo que habría que probar si tiempos de AN más cortos favorecen la germinación. De acuerdo a estos resultados, los preacondicionamientos los AH y AN no serían prácticas recomendables para mejorar la germinación.

Tanto *S. macrophylla* como *C. odorata* son especies de selva alta (Pennigton y Sarukhán, 2005) e incluso de selvas secas y también son capaces de vivir en sitios abiertos y perturbados, (Vázquez-Yanes y Batis, 1996), pero solo *S. macrophylla* es capaz de vivir en sitios con suelos con problemas de drenaje.

Ninguno de estos aspectos podrían explicar el efecto positivo en *S. macrophylla* al ser expuestas al AN, y el poco efecto del acondicionamiento en *C. odorata*. Para *S. macrophylla* las fluctuaciones de humedad en el suelo le podrían indicar cuándo el suelo no está saturado y la germinación pueda ser exitosa. Por otro lado hay que establecer una relación entre la época de dispersión de cada especie y la época de lluvias, *S. macrophylla* se dispersa de enero a marzo, mientras que *C. odorata* de abril a mayo. Las lluvias en el lugar de recolecta de *S. macrophylla* (Papantla, Ver.) empiezan en junio y terminan en el mes de octubre, siendo la precipitación total anual es de 1,186 mm (CNA, 2014); mientras que en el lugar de recolecta de las semillas de *C.*

*odorata*, Actopan, Ver., llueve 883 mm anuales y durante los mismos meses. Esta última especie por lo tanto se dispersa en una época más próxima a la época lluviosa y las plantas madre viven en un ambiente más seco (Sarukhán y Pennigton, 2005). De acuerdo con Allen *et al.* (2000) las señales hídricas del sustrato deben ser más amplias en especies que viven en sitios donde el agua es más abundante en el ambiente. Por otra parte, hay que hacer notar que los resultados sobre *C. odorata* están limitados por el hecho de que sus semillas nunca estuvieron enterradas en el campo debido a que su rápida germinación nos enfrentó a problemas logísticos relacionados con la distancia entre el campo y el laboratorio.

Este estudio incluyó especies con cubierta dura e impermeable. *Samanea saman* es una especie propia del trópico seco, aunque tolera vivir en zonas con mayor humedad. Mientras que, *E. cyclocarpum* preferentemente se desarrolla en selvas altas perennifolias y selvas medianas subperennifolias, aunque también se desarrolla en zonas perturbadas (Pennigton y Sarukhán, 2005). En *E. cyclocarpum* el inicio de germinación fue más corto con los tratamientos AH-25, AH-25/35 y AN-25 (0.043-0-4, 0.51, respectivamente) con respecto a los controles (1. 2 y 1.1 días), sin embargo esta diferencia fue marginal, pero no así en el tiempo promedio, en la velocidad de germinación y en la capacidad germinativa. En el primer parámetro todos los preacondicionamientos indujeron un tiempo promedio de germinación más corto (0.36, 1.53, 1.69 y 1.79 días, para las semillas expuestas a los tratamientos H-25/35, N-25-35, H-25, N-25/35 días, respectivamente) y para las semillas de los controles (4.83 y 3.16 para C-25 y C-25/35, respectivamente). Un comportamiento similar se observó en la velocidad de germinación, sin embargo, es importante resaltar el efecto del tratamiento AH-25/35 en la velocidad (34.97 semillas d<sup>-1</sup>) con respecto a los controles (21.06 y 21.77 para C-25 y C-25/35, respectivamente).

En la capacidad germinativa hay que resaltar el incremento en la germinación producido por el tratamiento AH-25/35 (96%) con respecto a los controles (89.33 y 88.6 para C-25.35 y C-25, respectivamente, para *E. cyclocarpum* el AH sería el tratamiento recomendado para su cultivo en vivero.

Por su parte *S. saman*, a pesar de mostrar una respuesta positiva a los tratamientos de acondicionamiento, en todos los parámetros de germinación evaluados, estas diferencias son pequeñas en magnitud, en comparación con *S. macrophylla*. Estas dos especies también fueron recolectadas en la región de Actopan, Ver. Los resultados obtenidos en *S. saman* pueden estar relacionados con la amplia variabilidad en el grado de hidratación de las semillas que muestran una amplia capacidad de hidratación (Fig. 18).

Las semilla de *Enterolobium cyclocarpum*, presentan es una cubierta seminal dura y gruesa, que podría retardar la hidratación incluso en semillas escarificadas, como en *O. tomentosa* (Orozco-Segovia *et al.*, 2007); presentando una amplia dispersión en las curvas de hidratación (Fig.17), y por lo tanto en el grado de permeabilidad de la semilla, por lo que es necesaria la escarificación de esta con agua caliente para lograr aumentar la permeabilidad de la semilla. La dispersión de semillas de *E. cyclocarpum* ocurre de febrero a junio y *S. saman* de febrero a mayo, ambas especies muy cerca de la época de lluvias, por lo que probablemente permanezcan en el banco de semillas hasta el siguiente año, cuando sus cubiertas seminales sean permeables y las semillas hayan pasado por un AN.

Las semillas de *Samanea saman* y *Enterolobium cylocarpum*, que presentan latencia física podrían formar un banco permanente en el suelo. Para *S. saman* al igual que para *E. cyclocarpum* se recomienda su escarificación antes de germinarlas o someterlas a cualquier tipo de acondicionamiento. Así mismo, para ambas especies se sugiere hacer pruebas con un



acondicionamiento natural más largo, el cual esté en función con el grado de permeabilidad y de grosor de la cubierta de las semillas y de la época de dispersión. *Samanea saman* mostró resultados mejoras en los parámetros de germinación que solo tuvieron una significancia marginal, sin embargo, tanto para esta especie como para *E. cyclocarpum* se recomienda el AH y en cuanto al AN es necesario probar con tiempos más largos de enterramiento de las semillas..

Por otro lado las semillas en condiciones naturales perciben señales del ambiente externo y del interno, es decir, tanto de la planta madre como durante su etapa independiente en su permanencia en el suelo (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2009), Por esto, toda la información del ambiente percibida por la semilla tiene repercusiones en las etapas consecuentes del desarrollo de la plántula, en su establecimiento y su posterior crecimiento (Bray, 1995). Sin embargo, en las TRC los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas importantes en gran medida porque las altas temperaturas y la amplia variación diurna de la temperatura en el invernadero (Fig. 14), funcionaron como un tratamiento de endurecimiento de las plántulas, así mismo quizá las diferencias no fueron significativas debido a la pérdida de individuos en campo por muerte lo que disminuyó la N muestral, y la variación ambiental entre micrositios generó una desviación estándar amplia. En invernadero se observaron más diferencias significativas que en el campo, donde el ambiente también endurece a las plántulas. El ambiente heterogéneo de la pendiente, en donde se proyecta la sombra de árboles cercanos, hace que se pierdan las diferencias significativas entre tratamientos dada la modificación del microambiente debajo de las sobras proyectadas por las copas de los árboles, que facilitan su establecimiento (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003).

Este mismo efecto se puede derivar de la reducción en el número de individuos plantados en campo debido a la mortalidad. Este mismo problema, derivado de la reducción en el número de

individuos sobrevivientes en campo se observa en trabajo de (Castro-Colina, 2012). Sin embargo, en la sobrevivencia se observó que en cada especie y en cada sitio alguno de los tratamientos de acondicionamiento indujo una mayor sobrevivencia, excepto en *S. saman* en la pendiente (sitio 2). Sin embargo, identificar diferencias significativas entre tratamientos también se dificultó, dado que la mortalidad hizo que el diseño de bloques en la pendiente (sitio2) se perdiera. Diferencias más amplias en la sobrevivencia en campo, derivadas de AN, se encontraron también en *D. viscosa*, la cual fue mayor que en el control (Benítez-Rodríguez *et al.*, 2014).

El AN es un concepto relativamente nuevo (González-Zertuche, 2001) y para algunas especies es un tratamiento que vigoriza más a las semillas que los acondicionamiento de laboratorio. En resumen, en *S. macrophylla* fue notoria la reducción del inicio y el tiempo promedio de germinación, algo muy similar a lo que ocurre con *Cymbopetalum baillonii* y *Cupania glabra* (Becerra-Vázquez, 2013). En estas especies una semana de enterramiento bastó para reducir el tiempo de inicio de la germinación en 9 días. En contraste, en *E. cyclocarpum* el AH, a 25/35°C, fue un tratamiento que modificó notablemente los parámetros evaluados de germinación al incrementar la velocidad. La velocidad de germinación es el parámetro que frecuentemente se incrementa en las especies sujetas a acondicionamiento de laboratorio, como el hídrico (Sánchez *et al.*, 2001). En *S. macrophylla* el AN también indujo un importante incremento en el porcentaje de germinación, lo cual también ocurre en algunas especies como *Wigandia urens* (Gamboa *et al.*, 2006), y puede estar asociado al rompimiento de la latencia en una pequeña fracción de la población de las semillas que la presentan.

Las diferencias en la respuesta de las especies al preacondicionamientos hídrico y natural a la temperatura se puede deber a que la temperatura tiene un efecto importante en la cinética de imbibición del agua. Por otra parte, la velocidad de germinación, en algunos estudios como el de

Conner y Conner (1988) muestran que las semillas de *Arthropodium cirratum* tuvieron un porcentaje de germinación más alto con temperaturas constantes que a temperaturas fluctuantes. La mayor germinación de *C. odorata* en 25/35°C puede estar relacionada al hecho de que en la naturaleza las semillas se encuentran expuestas a temperaturas fluctuantes y por lo general no a temperaturas constantes (Baskin y Baskin, 2001). En *C. odorata* el acondicionamiento hídrico redujo el porcentaje de germinación, lo que puede estar relacionado con daños metabólicos provocados por la rápida imbibición de las semillas, como ocurre en otras especies (Osborne *et al.*, 2002).

Algo importante que hay que resaltar fue el corto periodo de tiempo que permanecieron estas especies en el vivero, que fue de alrededor de 2 meses (julio-septiembre- 2012) en el caso de *E. cyclocarpum* y de mes y medio (agosto-septiembre 2012) para *S. macrophylla*, en comparación con el tiempo de cuidado en vivero propuesto por Benítez (2004) de 7 meses en el caso de *E. cyclocarpum* y 3 meses como mínimo para *S. macrophylla*. Por lo que se reducen los tiempos de cuidado y uso de espacio en vivero de las plántulas, reduciendo el costo económico de insumos para su mantenimiento, que en muchos casos es limitado y que merma la viabilidad económica de los programas de restauración ecológica; así mismo la germinación en un menor tiempo en condiciones naturales ofrece la ventaja de que las plántulas optimicen el periodo de lluvias y se puedan establecer en campo exitosamente en campo.

Así mismo, hay una tendencia a que la probabilidad de sobrevivencia en campo sea mayor en plántulas con AN y AH. Dado que la mortalidad en el sitio 1 se debió a causas diversas, como herbivoría, pisoteo, uso de herbicida en los alrededores y en el caso del sitio 2 a herbivoría, rodamiento de rocas y ramas por la pendiente y a la alta heterogeneidad del terreno, por lo que las diferencias significativas encontradas en la TRC entre los tratamientos fueron diluidas. A

pesar de todo, los resultados del presente estudio, muestran que el uso de tratamientos pregerminativos pueden proporcionar una ventaja para la reintroducción de especies a sitios perturbados. La sobrevivencia en la pendiente representa un éxito dada la pronunciada inclinación y la pedregosidad del terreno. Por otra parte, aplicar AH y AN a las semillas y aclimatar a las plantas a condiciones adversas como ocurrió en el invernadero, por causas fortuitas, endureció a las plantas de manera que con una talla pequeña pudieron ser trasplantadas a campo con un éxito considerable. Por otra parte, estos acondicionamientos en semillas son procedimientos que no representan un costo adicional dentro de cualquier proyecto de restauración, que aunado con estrategias y técnicas apropiadas de restauración ecológica tales como la fecha apropiada de trasplante a campo, un adecuado marco de plantación, selección específica de sitio de plantación (nodrizaje) y acolchados, por mencionar algunos, podrían ampliar el éxito en lo que a reintroducción de especies arbóreas compete.

## VII. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

### 7.1. Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos y a la discusión de los mismos, se formulan las siguientes conclusiones:

1. El contenido de humedad en las diferentes especies fue en promedio del 9%, lo que indica que estas especies tienen un comportamiento de almacenamiento de tipo ortodoxo, sin embargo se ha reportado que *S. macrophylla* lo presenta intermedio.
2. En general, el contenido de lípidos fue mayor en la especie de la familia Meliaceae (*Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*), que en las fabáceas (*Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*).
3. La cubierta seminal de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*, son impermeables por lo que presentan una latencia física, limitando obtener una respuesta al acondicionamiento natural, debido a que se ve limitada la toma de agua. A pesar de que la latencia física de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* se rompió exitosamente por medio de la escarificación con agua caliente.
4. En las especies estudiadas la germinación se presentó a temperatura constante (25°C) como también a temperaturas fluctuantes (25/35°C) con éxito.

5. Las semillas de *Swietenia macrophylla*, y *Enterolobium cyclocarpum* responden al acondicionamiento natural al presentar menor tiempo de inicio de germinación así como un menor tiempo promedio de germinación y sincronía.
6. Las semillas de *Enterolobium cyclocarpum* respondieron al acondicionamiento hídrico al presentar menor tiempo de inicio de la germinación, menor tiempo promedio de germinación así como una mayor sincronía.
7. En semillas de *Cedrela odorata* los preacondicionamientos hídrico y natural no respondieron positivamente ante los parámetros de germinación. Hay que hacer notar que en realidad esta especie nunca estuvo enterrada en el campo y nunca se trasplantó en campo, por lo que las conclusiones son limitadas.
8. Las tasa relativa de crecimiento para las variables de altura, diámetro a la base del tallo y número de hojas, de las plántulas resultantes de las semillas con preacondicionamiento natural e hídrico, en general no mostraron diferencias estadísticamente significativas con relación a las control.
9. La sobrevivencia de las plántulas resultantes de las semillas de *S. macrophylla*, *E. cyclocarpum* y *S. saman*, con acondicionamiento hídrico y natural mostraron tener una probabilidad mayor de supervivencia que las plantas control.

## 7.2. Perspectivas

Dada la experiencia obtenida en este trabajo se establecen las siguientes perspectivas de estudio en esta área.

En pocas especies silvestres se ha estudiado el acondicionamiento natural e hídrico, a pesar de que puede tener gran relevancia tanto para entender la dinámica de las comunidades vegetales, como para planear su recuperación con fines de restauración ecológica o de la industria forestal.

Las comunidades rurales que aun cuentan con reductos vegetales originales pueden utilizarlos de forma productiva mejorando sus ingresos y promover la conservación de la biodiversidad, por medio de la producción de plántulas de calidad para el establecimiento de plantaciones maderables comerciales, reconvirtiendo las grandes extensiones de potreros abandonados en Papantla, mediante el establecimiento de cultivos alternativos con mayor, rentabilidad económica y viabilidad social.

Con base a esta trabajo se puede fomentar el restablecimiento de árboles de sombra con buen rendimiento e importancia cultural u económica, que ayuden a incrementar los ingresos de los productores, mediante la elaboración de un manual preciso y sencillo en el que se indique cómo se aplica el preacondicionamiento natural e hídrico a diversas especies usadas para proporcionar sombra en Papantla, Veracruz y repartir entre los alumnos de escuelas de la región y sus padres.

## VIII.LITERATURA CITADA

- Allen, O.N. y Allen, E.K. 1981. The Leguminosae: a source book of characteristics, uses, and nodulation. Wisconsin. EE.UU.. University of Wisconsin. 812 pp.
- Allen, P. S., Meyer, S. E. y Khan, M. A. 2000. Hydrothermal time as a tool in comparative germination studies. Seed Biology: Advances and Applications. Wallingford. Reino Unido. CABI Publishing: 528pp.
- Anese, S., Amaral da Silva, E.A., Davide, A.C., Rocha Faria, J.M., Soares y G.C.M., Matos, C.B., Toorop, P.E. 2011. Seed priming improves endosperm weakening, germination, and subsequent seedling development of *Solanum lycocarpum*. St. Hil. Seed Science and Technology. **39**: 125–139.
- Arriaga, V., Cervantes, M.V. y Vargas-Mena, A. 1994. Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. México. Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología y Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 186 pp.
- Ashraf, M. y Foolad. M.R. 2005. Pre-sowing seed treatment: a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. Advances in Agronomy. **88**: 223-271.
- Barneby, R.C. y Grimes, J.W. 1996. Silk tree, Guanacaste, Monkey's Earring. A generic system for the synandrous Mimosaceae of the Americas. Part 1. Abarema, Albizia. *Memoirs of the New York Botanical Garden*. **74**: 117–126.
- Baskin, C.C. y Baskin, J.M. 1998. Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press. San Diego. EE.UU. 666 pp.
- Baskin, J.M., Nan, X. y Baskin, C.C. 1998. A comparative study of seed dormancy and germination in an annual and a perennial species of *Senna* (Fabaceae). Seed Science Research. **8**: 501–512 pp.
- Baskin, C.C. y Baskin, J.M. 2001. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press. EE.UU: . 667 pp.
- Becerra-Vázquez, A.G.. 2010. Germinación de semillas y crecimiento inicial de especies arbóreas del bosque seco en la Depresión Central de Chiapas. Tesis de Licenciatura. Instituto de Ecología. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 110 pp.
- Beer J., Ibrahim M., Somarriba E, Barrantes A y Leakey R. 2003. Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. En: Cordero J, Boshier DH (eds.). Árboles de Centroamérica. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza.San José. Costa Rica. pp. 197-242.
- Beer J., Muschler R, Kass D y Somarriba E., 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*. **38**:139-164.



- Benítez, G., Pulido, Ma. y Equihua, M. 2004. Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación, restauración y plantaciones. Instituto de Ecología- Sistema de Investigación Regional del Golfo de México-Comisión Nacional Forestal, Xalapa. México. pp 288.
- Benítez-Rodríguez L., Gamboa de Buen, A., Sánchez-Coronado M.E., Alvarado-López S., Soriano, D., Méndez, I., Vázquez-Santana, S., Carabias-Lillo, J. y Bradbeer, J.W. 2013. Effects of seed burial on germination, protein mobilisation and seedling survival in *Dodonaea viscosa*. *Plant biology*. 1-8 .
- Bewley, J.D. y Black M. 1994. Seeds: physiology of development and germination. 2<sup>nd</sup>. Plenum Press. Nueva York. 445 pp.
- Bewley, D. J., 1997. Seed Germination and Dormancy. *The Plant Cell*. **9**(7): 1055-1066.
- Bradbeer J.W., 1994. Seed dormancy and germination. Ipswich Book Company Ltd. Ipswich. Reino Unido. 146 .
- Bradshaw, A.D. 1987. The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. Jordan III WR, Gilpin ME, Aber JD (eds) Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research. Reino Unido. Cambridge University press. Cambridge. 244 pp.
- Bray, C.M ..1995. Biochemical processes during the osmopriming of seeds. Kigel J, Galili G (eds) Seed Development and Germination. M. Dekker. Nueva York. pp 767-789 .
- Bligh E.G., Dyer W.J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol*. **37**:911-917 pp.
- Caddick L. 2002. Store canola cool and dry to enhance oil quality. *Farming Ahead*. **132**: 19-21.
- Caddick, L. 2005. Moisture isotherms and conversion of indices used to describe moisture relations in stored grain. En <http://sgrl.csiro.au/storage/moisture/conversion.html>. consultado el 8 de octubre del 2013.
- Chambers, J.C., MacMahon, J.A. 1994. A day in the life of a seed: movements and fates of seeds and their implications for natural and managed systems. *Annual Review of Ecological Systems*. **25**:263-292.
- Castro-Colina L., Martínez-Ramos M., Sánchez-Coronado M.E., Huante P. , A.Mendoza y Orozco Segovia A.. 2012. Effect of hydropriming and acclimatation treatments on *Quercus rugosa* acorns and seedlings. *European Journal of Forest Research*. **131**:747-756.
- Ching T.M.. 1972. Metabolism of germinating seeds. Seed biology. Ed. T.T. Kozłowski. Academic Press, Nueva York . EE.UU. pp 103-218.
- Côme, D. y C. Thèvenot. 1982. Environmental control of embryo dormancy and germination. The physiology and biochemistry of seed development, dormancy and germination,. In: A.A. Khan (ed.). Elsevier Biomedical Press. pp.27 1-298 .

- Comisión Nacional del Agua, México. 2014. Normales Climatológicas. En <http://smn.cna.gob.mx/>. climatología. Normales climatológicas. Veracruz . Papantla. NORM-51-195-2010. Consultado el 22 de junio del 2013.
- Connor K.F., Booner F.T. y Vozzo J.A. 1996. Effects of desiccation on temperate recalcitrant seeds: differential scanning calorimetry, gas chromatography, electron microscopy, and moisture studies on *Quercus nigra* and *Quercus alba*. *Canadian Journal of Forest Research* **26**: 1813-1821.
- Dubrovsky, J. G. 1996. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. *American Journal of Botany*. **83**:624-632.
- Durr, P.A. 2001. The biology, ecology and agroforestry potential of the raintree, *Samanea saman* (jacq) Merr. *Agroforestry Systems*. **1**: 223-237.
- Durr, P.A. 1997. The Effects of *Samanea saman* on the Agroecology of a Subhumid Tropical Grassland. PhD thesis. James Cook University. Townsville. Australia. pp 290 .
- Durr, P. A., y Rangel, J. 2002. Enhanced forage production under *Samanea saman* in a subhumid tropical grassland. **54**(2): 99-102 pp.
- Ellis, R.H. y Roberts, E. H. 1980a. Improved equations for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany*. **45**:13-30.
- Ellis, R.H. y Roberts, E. H. 1980a. The influence of temperature and moisture on seed viability period in barley (*Hordeum distichum* L.). *Annals of Botany* . **45**: 31-37 Improved equations for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany*. **45**:13-30.
- Fenner, M. y K. Thompson. 2006. The ecology of seeds. Cambridge, Cambridge. 110-131 pp.
- Flores, E. M. 2010. *Samanea saman* (Jacq.) Merr. Manual de Semillas de Árboles Tropicales Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. 685-688 pp.
- Frankie, G. W., Baker, H. G., y Opler, P. A. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the low lands of Costa Rica. *The Journal of Ecology*. **3**(62): 881-919.
- García, C. R., Castillo, G. V., Anzures, F. C., y Magaña-Torres, O. S. 2008. El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) como alternativa de reconversión en terrenos abandonados por la agricultura comercial en el sur de Tamaulipas. *Agricultura Técnica en México*. **34**(2): 243-250.
- Gamboa de Buen, A., Cruz-Ortega, E., Martínez-Barajas, M.E., Sánchez-Coronado & Orozco-Segovia, A. 2006. Natural priming as an important metabolic event in the life story of *Wigandia urens* (Hydrophyllaceae) seeds. *Physiologia Plantarum*. **128**: 520-530.

- Godínez-Álvarez, H., Valverde, T. y Ortega-Baes, P. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review*. **69**(2): 173-201.
- Gómez-Pompa, A. y del Amo, S. 1985. Investigaciones sobre regeneración de selvas. Vol. II. Editorial Alambra. México, Distrito Federal.
- González-Zertuche, L. 2005. Preacondicionamientos de endurecimiento en semillas de *Buddleja cordata* (Loganiaceae) y *Wigandia urens* (Hydrophyllaceae), dos especies útiles para reforestar o restaurar áreas perturbadas. México.
- González-Zertuche, L., Orozco-Segovia, A. y Vázquez-Yanes, C. 2000. El ambiente de la semilla en el suelo: su efecto en la germinación y en la sobrevivencia de la plántula. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. **65**: 73-81.
- González-Zertuche, L., Vázquez-Yanes, C., Gamboa, A., Sánchez-Coronado, M.E., Aguilera, P. y Orozco-Segovia, A. 2001. Natural priming of *Wigandia urens* seeds during burial: effects on germination, growth and protein expression. *Seed Science Research*. **11**: 27-34 pp.
- González-Zertuche, L., Orozco-Segovia A., Baskin C. y Baskin J.M. 2002. Effects of priming on germination of *Buddleja cordata* ssp. *cordata* (Loganiaceae) seeds and possible ecological signification. *Seed Science and Technology*. **30**: 535-548.
- Janzen, D. H., y Martin, P. S. 1982. Neotropical anachronisms: the fruits the gomphotheres ate. *Science*. **215**(4528):19-27.
- Jeller, H., Perez, S. C. J. G. A. y Raizer, J. 2003. Water uptake, priming, drying and storage effects in *Cassia excelsa* Schrad seeds. *Brazilian Journal of Biology*. **63**(1): 61-68.
- Kermode, A. R. 1995. Regulatory mechanisms in the transition from seed development to seed germination: interaction between the embryo and the seed environment. Kigel J, Galili G. (eds) *Seed Development and Germination*. M. Dekker, EE.UU. Nueva York. 273-332 pp.
- Long, R.L., Kranner, I., Panetta, F.D., Birtic, S., Adkins, S.W., Steadman, K.J. 2011. Wet-dry cycling extends seed persistence by re-instating antioxidant capacity. *Plant Soil*. **338**:511-519.
- Harvey, C. A. y Villalobos, J. A. G. 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity and Conservation*. **16**(8): 2257-2292.
- Henckel, P.A., Martyanova K.L. y Zubova L.S. 1964. Production experiments on pre-sowing drought hardening of plants. *Soviet Plant Physiology* 11: 457-461.
- Henckel, P. A. 1982. Fisiología de las plantas al calor y a la sequía. Nauka, Moscú. 280pp.

- Herrera Alegría, Z., Morales Vargas, A. 1993. Propiedades y Usos Potenciales de 100 Maderas Nicaraguenses. Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente. Cooperación Sueca al Sector Forestal. Managua. Nicaragua. Servicio Forestal Nacional. 178 pp.
- Hoekstra, F.A., Haigh, A.M., Tettero, F.A.A. y Van Roekel, T. 1994. Changes in soluble sugars in relation to desiccation tolerance in cauliflower seeds. *Seed Science Research*. **4**: 143-147.
- Holdridge, L.R. y Poveda, L.J. 1975. Árboles de Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. 546 pp.
- Hong, T.D., Ellis, R.H., 1996. A Protocol to Determine Seed Storage Behaviour. IPGRI Technology Bulletin No. **1**. Intl. Plant Genetic Resources Institute. Roma.
- Hunt, R. 1982. Plant Growth Curves: The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold. Londres. 243pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 2001-2009.
- Musálem, S.M .A. 2001. Sistemas Agrosilvopastoriles: Una alternativa de desarrollo rural para el trópico mexicano Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 95 p.
- Monsalud, R.G., Reyes, G.D. y Trillana, N.U.1989. Nodulating competitiveness of some high N<sub>2</sub>-fixing Rhizobium from agroforest legumes. *The Philippine Agriculturalist*. **72**: 373–380.
- Nahmad, D. 2009, Tajín patrimonio cultural y territorio. *Ollin*, Número 6. Nueva época. Centro Instituto Nacional de Antropología e Historia. Veracruz, México. 53-60 pp.
- Nahmad, D. y Rodríguez, C. 2003. Informe del programa de difusión de la Declaratoria Federal de Zona de Monumentos Arqueológicos de El Tajín y diagnóstico social de la zona. Mecanoscrito. Centro Instituto Nacional de antropología e Historia. Veracruz.
- Nair, P.K.R. 1993. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. México. 543pp.
- Nkang, A., Omokaro, D., Egbe, A. y Amanke, G. 2003. Variations in fatty acid proportions during desiccation of *Telfairia occidentalis* seeds harvested at physiological and agronomic maturity. *Afric. J. Biotech.* **2**: 33-39.
- Niembro-Rocas A., Vázquez-Torres M. & Sánchez Sánchez, O. 2010. Árboles de Veracruz. Universidad Veracruzana. 253 pp.

- Nicasio-Arzeta, S., Sánchez-Coronado, M.E., Orozco-Segovia, A., Gamboa de Buen, A. 2011. Efecto del preacondicionamiento y el sustrato salino en la germinación y el crecimiento de plántulas de maíz, (*Zea mays*) raza Chalqueño. *Agrociencia*. **45**:195–205.
- Black, M. y Pritchard, H.W. 2002. Rehydration of Dried Systems: Membranes and the Nuclear Genome. Desiccation and survival in plants: Drying without dying. 412pp.
- Orozco-Segovia, A., Márquez-Guzmán, J., Sánchez-Coronado, M., Gamboa de Buén, A., Baskin, J. y Baskin C. 2007. Seed Anatomy and Water Uptake in Relation to Seed Dormancy in *Opuntia tomentosa* (Cactaceae, Opuntioideae). *Annals of Botany*. **99**:581-592.
- Orozco-Segovia, A., Márquez-Guzmán J. , Sánchez-Coronado, M.E., Gamboa de Buen A., Baskin, J.M., Baskin, C.C. 2007. Seed anatomy and water uptake in relation to seed dormancy in *Opuntia tomentosa* (Cactaceae, Opuntioideae). *Annals of Botany*. **99**: 581–592 pp.
- Orozco-Segovia, A. y Sánchez-Coronado, M.E. 2009. Functional Diversity among seeds and its implications for ecosystem functionality and restoration ecology. En: A. Gamboa-de Buen, A. Orozco-Segovia y F. Cruz-García (Eds.). *Functional Diversity of Plant Reproduction*. Research Signpost. Kerala. India. 175-216 pp.
- Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 2005. Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. 3ra ed. Universidad Nacional Autónoma de México -Fondo de Cultura Económica. México. 523pp.
- Pinedo, G. J. V., y Ferraz, I. D. K. 2008. Hidrocondicionamento de *Parkia pendula* [Bent ex Walp]: semente com dormência física de árvore da Amazônia. *Revista Árvore, Viçosa, MG*. **32**(1): 39-49.
- Rodríguez Luna, E., Gómez Pompa A. , López Acosta J. C., Velázquez Rosas Y. N. y Aguilar Domínguez, Vázquez Torres M. 2011. Atlas de los Espacios Naturales Protegidos de Veracruz. Gobierno del Estado de Veracruz. 350pp
- Rodríguez, M.C., Orozco-Segovia, A., Sánchez-Coronado, M.E. & Vázquez-Yanes, C. 2000. Seed germination of six mature neotropical rain forest species in response to dehydration. *Tree Physiology*. **20**: 693-699.
- Sae-Lee, S., Vityakon, P. y Prachaiyo, B.1992. Effects of trees on paddy bund on soil fertility and rice growth in northeast Thailand. *Agroforestry Systems*. **18**: 213–223.
- Sautu, A., Baskin, J.M., Baskin, C.C. y R. Condit, R. 2006. Studies on the seed biology of 100 native species of trees in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Forest Ecology and Management*. **234**: 245-263.
- Sánchez-Coronado, M.E., Coates, R., Castro-Colina, L., Gamboa, A., Páez-Valencia, J., Barradas, V.L., Huante, P. y Orozco-Segovia, A. 2007. Improving seed germination and seedling growth of *Omphalea oleifera* (Euphorbiaceae) for restoration projects in tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*. **243**:144-155.
- Sánchez, J.A., Orta, R. & Muñoz, B.C. 2001. Preacondicionamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense*. **25**: 67-91.

- Sánchez, J.A., Muñoz, B. y Montejo, L. 2003. Efectos de precondicionamientos robustecedores de semillas sobre la germinación y establecimiento de árboles pioneros bajo condiciones de estrés. *Ecotrópicos*. **16**: 91-112.
- Sánchez, J.A., Muñoz, B.C., Hernández, L., Montejo, L. Suárez, A.G. y Torres-Arias, Y. 2006. Preacondicionamientos robustecedores de semillas para mejorar la emergencia y el crecimiento de *Trichospermum mexicanum*, árbol tropical pionero. *Agronomía Costarricense*. **30**: 7-26.
- Scott S.J., Jones R.A. y Williams W.A., 1984. Review of data analysis methods of seed germination. *Crop Sci*. **24**: 1192-1199
- Soto Pinto, M.L. 1999. Informe final Proyecto Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. M018. Manejo de especies arbóreas para sistemas agroforestales en la región maya tzotzil-tzeltal del norte de Chiapas. 25 p.
- Soto-Pinto L., Perfecto I., Castillo-Hernández J. y Caballero- Nieto J. 2000. Shade effect on coffee production at the Northern Tzeltal zone of the state of Chiapas. Mexico. Agriculture. *Ecosystems and Environment*. **80**:61-69.
- Soto-Pinto L., Romero-Alvarado Y., Caballero-Nieto J., Segura-Warnholtz G. 2001. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee-plantations in Northern Chiapas. Mexico. *Biología Tropical*. **49**(3-4):977-987.
- Soto-Pinto L., Villalvazo-López V., Jiménez-Ferrer G., Ramírez- Marcial N., Montoya G, Sinclair F.L. 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas. Mexico. *Biodiversity and Conservation*. **16**(2):419-436.
- Sung, J. M., y Jeng, T. L. 1994. Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes associated with accelerated aging of peanut seed. *Physiologia Plantarum*. **91**(1): 51-55.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. 3<sup>ra</sup>Ed. Sinauer Associates. Sunderland, MA. 690 pp.
- Varier, A., Vari, A.K. y Dadlani, M. 2010. The subcellular basis of seed priming. *Current Science*. **99**: 450-45.
- Vázquez-Yanes, C., y Orozco-Segovia, A. 1990. Seed Dormancy in the Tropical Rein Forest. en K. S. Bawa y M. Hadley (compiladores). Reproductive Ecology of Tropical Forest Plants. Man and the Biosphere Series. The Parthenon Publishing Group. París. **7**. 247-259 pp.
- Vázquez-Yanes, C. y Batis, A.I. 1996. La restauración de la vegetación, árboles exóticos contra árboles nativos. *Revista Ciencias*. Facultad de Ciencias. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 4316-23.
- Vázquez-Yanes, C., Orozco, S. A., Rojas, M., Sánchez, M. A. y Cervantes, V. 1997. La reproducción de las plantas: semillas y meristemos. Fondo de Cultura Económica. 170 pp.

- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz y C. Sánchez Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - Instituto de Ecología. México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Villanueva, G.R. 1994. Plantas de importancia apícola en el ejido de Plan del río. Veracruz, México: *Biótica*, **9**, 279-340.
- Washitani, I. 1988. Effects of high temperatures on the permeability and germinability of the hard seeds of *Rhus javanica*. *Annals of botany*. **62**: 13-16.
- Welbaum, E.G., Shen, Z., Olouch, M.O. y Jett, L.W. 1998. The evolution and effects of priming vegetable seeds. *Seed Technology* **20**: 209-235.
- Woodson, R. E. y Schery, R.W. 1950. Mimosoideae. Flora of Panama. *Annals of Missouri. Botanical Garden*. **37**: 184-314.
- Zabala, M.D.A. 2010. Evaluación de plantas proteicas y su efecto en la población microbial de metanógenos y metanogénesis ruminal in vitro. Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.Ecuador. 99 pp.
- Zar, J.H. 1974. Bioestadística analysis. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. Londres.
- Zamora, N. 1991. Tratamiento de la familia Mimosaceae (Fabales) de Costa Rica. *Brenesia*. **36**: 63-149.