



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ
POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

MÉTODOS PARA POTENCIAR LA GERMINACIÓN
DE *Leucaena leucocephala* EN LOS PRIMEROS DÍAS POSTSIEMBRA

ADRIÁN SÁNCHEZ GÓMEZ

TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS


MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ

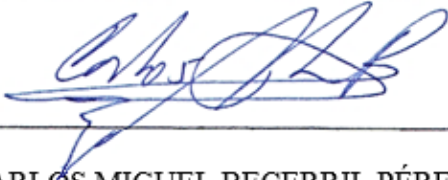
2015

La presente tesis, titulada: **Métodos para potenciar la germinación de *Leucaena leucocephala* en los primeros días postsiembra** realizada por el alumno: **Adrián Sánchez Gómez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO

CONSEJERO: 
Dr. ADALBERTO ROSENDO PONCE

ASESOR: 
Dr. CARLOS MIGUEL BECERRIL PÉREZ

ASESOR: 
Dr. JUAN MANUEL VARGAS ROMERO

ASESOR: 
Dr. DIEGO ESTEBAN PLATAS ROSADO

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, Julio 2015

MÉTODOS PARA POTENCIAR LA GERMINACIÓN
DE *Leucaena leucocephala* EN LOS PRIMEROS DÍAS POSTSIEMBRA

Adrián Sánchez Gómez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2015

El enfoque de agroecosistema en la ganadería tropical, ha propuesto a los Sistemas Silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* como una alternativa sustentable que contribuye a la productividad y mejoramiento ambiental del sistema. Sin embargo, la adopción de ésta tecnología no ha sido la esperada debido a una serie de problemas, entre ellos la baja germinación y lento crecimiento durante los primeros días postsiembra de *L. leucocephala*. Los hábitos de crecimiento de ésta especie, sugieren que una germinación rápida podría ayudar a un mejor desarrollo de la plántula. Se realizó un estudio para determinar qué método de escarificación puede incrementar la germinación de semillas de *L. leucocephala* durante los primeros días postsiembra, utilizando la energía germinativa y valor de germinación como indicadores. Se evaluaron cinco tratamientos en semillas de *L. leucocephala* cv. Cunningham en un diseño completamente al azar bajo condiciones semicontroladas de invernadero. Se concluyó que el tratamiento de inmersión en agua a 24 °C durante 12 h mejoró hasta un 20 % la germinación en los primeros nueve días postsiembra en comparación con el tratamiento hidrotérmico que comúnmente se utiliza; sin embargo la germinación al final del experimento fue mayor para éste último. Se recomienda el uso de inmersión en agua a 24 °C durante 12 h cuando el método de siembra es directo en campo; mientras que en vivero el método hidrotérmico puede resultar más efectivo.

Palabras clave: *Leucaena leucocephala*, energía germinativa, valor de germinación, sistemas silvopastoriles, escarificación.

METHODS TO GERMINATION INCREASE OF *Leucaena leucocephala* IN

EARLY DAYS POST SEEDING

Adrián Sánchez Gómez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2015

The agroecosystem approach to the tropical cattle production it is proposed to intensive silvopastoral systems whit *Leucaena leucocephala* as a sustainable alternative that contributes to productivity and environmental improvement system. However, the adoption of this technology has not been expected due to a number of problems, for example, the low germination rate and low growth in early days post seeding of *L. leucocephala*. The growth habits of this species, suggest that rapid germination could help better seeding developed. This study was conducted to determine which method of seed scarification could increase the germination in *L. leucocephala* in the first post-seeding days, using the germinative energy and germination value as indicators. Five treatments in seed of *L. leucocephala* cv. Cunningham were evaluated in a complete randomized design, under semi-controlled conditions in a greenhouse. It was concluded that the treatment of immersion in water at 24 °C for 12 h improved to 20 % germination in the first nine days post-seeding compared to the hydrothermal treatment that is commonly used; however, final germination was higher for the hydrothermal treatment. The use of immersion water at 24 °C for 12 h method is recommended when direct planting in field; while, in greenhouse hydrothermal method can be more effective.

Index words: *Leucaena leucocephala*, germinative energy, germination value, silvopastoral systems, seed scarification.

DEDICATORIA

A mi padre por haber creído siempre en mí.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para el estudio de maestría. A la Línea Prioritaria de Investigación 12 del Colegio de Postgraduados por el financiamiento otorgado. A la Fundación Produce Michoacán por el material vegetativo y la asesoría brindada.

A mi Consejo Particular por sus enseñanzas y apoyo durante toda la maestría.

Al equipo de trabajo del proyecto Criollo Lechero Tropical por su trabajo, amistad y enseñarme a trabajar en campo.

A mi madre y hermanos, pero sobre todo, a mi esposa e hijos por su apoyo y sacrificios realizados.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Objetivos.....	3
2. Hipótesis.....	4
3. Revisión de literatura.....	5
3.1 El agroecosistema en la ganadería.....	5
3.2 Los Sistemas Silvopastoriles con <i>Leucaena leucocephala</i>	5
3.2.1 Interacción leñosa-animal.....	7
3.2.2 Interacción leñosa-gramínea.....	8
3.2.3 Interacción gramínea-animal.....	9
3.3 Características agronómicas de la <i>Leucaena leucocephala</i>	9
3.4 Calidad de la semilla.....	10
4. Literatura citada.....	12
CAPÍTULO I. ENERGÍA GERMINATIVA EN GUAJE (<i>Leucaena leucocephala</i> cv. Cunningham) CON DIFERENTES MÉTODOS DE ESCARIFICACIÓN	15
1.1 Introducción.....	17
1.2 Materiales y Métodos.....	19
1.3 Resultados.....	23
1.4 Discusión.....	26
1.5 Conclusiones.....	28
1.6 Agradecimientos.....	29
1.7 Literatura citada.....	29
CONCLUSIONES GENERALES	33

LISTA DE CUADROS

Página

Cuadro 1.	Comportamiento germinativo de las semillas de guaje (<i>Leucaena leucocephala</i> cv. Cunningham) bajo diferentes métodos de escarificación.....	24
-----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Página

- Figura 1. Climograma, precipitación (mm) y temperatura media (°C) registradas en el periodo 15/oct/2014-08/nov/2014..... 20
- Figura 2. Germinación diaria acumulada (GDA) de semillas de guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) bajo diferentes métodos de escarificación..... 25
- Figura 3. Velocidad de germinación diaria (VGD) de semillas de guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) bajo diferentes métodos de escarificación..... 26

INTRODUCCIÓN GENERAL

La ganadería bovina en México es una actividad económica que en el 2013 superó las 1.8 millones de toneladas de producción de carne y 10.9 millones de toneladas de producción de leche (SIAP, 2015); además, es concebida como un estilo de vida y fuente de alimentos de calidad para la población rural y urbana (FAO, 2009). Es una actividad distribuida en todo México; sin embargo, en la región tropical de climas cálidos podemos observar una ganadería con un bajo incremento en su productividad, poco eficiente y con una baja contribución a la capitalización del productor y a la generación de empleos dentro del sector rural (Murgueitio *et al.*, 2009).

Desde un enfoque ambiental, la ganadería tropical ha reducido la biodiversidad de especies en los potreros ocasionando un alto grado de transformación de los ecosistemas y paisaje debido a las prácticas de pastoreo que se realizan (Bennett y Hoffmann, 1992).

El estudio de la ganadería tropical bajo un enfoque agroecosistémico ha derivado en el uso de tecnologías sustentables de pastoreo, tal es el caso de los sistemas silvopastoriles intensivos, los cuales incrementan la calidad del ambiente y de los recursos naturales, producen alimentos, son económicamente viables y aumentan la calidad de vida del controlador del sistema y de la sociedad en general (Canudas, 1996; Murgueitio *et al.*, 2009).

Los Sistemas Silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit han generado mayor ingreso económico para el productor, a través de un incremento en la producción de forraje y carga animal (González, 2013). Además, se les atribuye servicios ambientales como el incremento de la biodiversidad de flora y fauna del agroecosistema, degradación de estiércol, descompactación y aireación de suelos, reciclaje de nutrientes y regulación de gases de efecto invernadero, entre otros (Zuluaga *et al.*, 2011).

Los Sistemas Silvopastoriles intensivos poseen múltiples beneficios a favor del productor y del ambiente; sin embargo, aún no se ha logrado su difusión y aceptación por la mayor parte de los ganaderos de la región tropical cálida. Lo anterior, se debe al escaso material genético (germoplasma), problemas de plagas y enfermedades, poca información sobre su producción y calidad de los productos finales, y un establecimiento del sistema lento, costoso y demandante de trabajo (Clavero y Suárez, 2006). La baja germinación y lento desarrollo durante la etapa de crecimiento de la *Leucaena leucocephala* y sus hábitos de crecimiento heliófilo provoca que la plántula sea incapaz de competir con otras especies no deseadas, obligando a implementar un protocolo riguroso de control y limpieza durante los primeros 60 días volviendo más complicada y costosa la instalación del sistema (Sánchez-Paz y Ramírez-Villalobos, 2006).

En diversos estudios se han presentado métodos pregerminativos de escarificación para lograr incrementar la capacidad germinativa de la semilla de *Leucaena leucocephala*; sin embargo, los valores máximos de germinación reportados son en periodos largos de tiempo (González y Mendoza, 2008; González *et al.*, 2009; González *et al.*, 2012). De manera general, este trabajo pretende determinar un método de escarificación en semillas de *Leucaena leucocephala* capaz de acelerar el proceso de germinación, de tal forma que le permita a la plántula su establecimiento, por encima de otras especies.

1. OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar el método de escarificación para semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham, que produzca el mayor porcentaje de germinación durante los primeros días postsiembra.

Objetivos específicos

- Determinar la energía germinativa de semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham bajo diferentes métodos de escarificación.
- Determinar la viabilidad de las semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham bajo diferentes métodos de germinación.
- Determinar la velocidad y valor de germinación de las semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham bajo diferentes métodos de germinación durante los primeros días post siembra.

2. HIPÓTESIS

Hipótesis general

- Los métodos de escarificación en semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham modifican su energía germinativa y valor de germinación; que resultan en diferentes porcentajes de germinación durante los primeros días postsiembra.

Hipótesis específicas

- La escarificación de las semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham incrementa su energía germinativa.
- La escarificación de las semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham afecta la viabilidad de la semilla.
- La escarificación de las semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham influye en su velocidad y valor de germinación.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. El agroecosistema en la ganadería

El agroecosistema es un sistema abierto que incluye un conjunto de factores bióticos y abióticos influidos por el ser humano, siendo estos, copartícipes de la actividad agrícola en la cual se concentra y actúan los factores sociales, políticos, económicos, tecnológicos y ambientales (Hart, 1985; Altieri, 1999; Ruiz, 2006).

Un enfoque agroecosistémico, es una herramienta de estudio que al ser aplicado al sector agrícola, genera un panorama amplio sobre una situación específica. Esto, permite al controlador del sistema una mejor toma de decisiones y la capacidad de modificar o prevenir los problemas que puedan presentarse dentro y fuera del sistema.

El sistema de producción bovino puede estar inmerso en el agroecosistema, refiriéndose al conjunto de plantas y animales los cuales se desarrollan en un medio físico-biótico, social y económico; el cual, es controlado por el hombre mediante técnicas y herramientas para la obtención de leche y carne con el objetivo de comercializarla en la sociedad (Vilaboa *et al.*, 2009).

3.2. Los sistemas silvopastoriles con *Leucaena leucocephala*

Los sistemas silvopastoriles se refieren a la aplicación de técnicas agroforestales en un espacio donde se combina la producción animal de forma interactiva con árboles y arbustos. Este sistema de producción, involucra la presencia de leñosas perennes en interacción con componentes forrajeros de estrato herbáceo y animales bajo un sistema de manejo integral, tendiente a mejorar la productividad y beneficio del sistema a largo plazo (Krishnamurthy y Ávila, 1999). Murgueitio *et al.* (2009) define a los Sistemas Silvopastoriles intensivos como un sistema agroforestal para la producción animal que combina arbustos forrajeros en densidades altas (entre 7 y 60 mil plantas

por hectárea) intercalados con pasturas mejoradas y árboles maderables a una densidad de 50 por hectárea establecidos de oriente a poniente para minimizar el efecto de sombra sobre la gramínea. Este sistema adquiere el término de intensivo debido a la alta carga animal, periodos cortos de ocupación y periodos de descanso prolongados.

Los Sistemas Silvopastoriles con mayor éxito en la producción bovina han sido los de *Leucaena leucocephala*, la cual también puede asociarse con árboles maderables. Esto se debe principalmente a la calidad nutricional de la biomasa para el animal, fijación de nitrógeno atmosférico, crecimiento y tolerancia a la sequía; además, de su adaptación al ramoneo de algunas variedades (Uribe *et al.*, 2011).

Las altas densidades de arbustos en estos sistemas, permiten el ahorro en el uso de fertilizantes nitrogenados, mayor captación de carbono, reducción de la emisión de gas metano (CH₄), una mayor duración de las pasturas, mejor retención hídrica en el suelo, reducción del efecto desecante de los vientos un aumento en la biodiversidad y reducción del estrés calórico de los animales. Además, permiten una mayor carga animal debido a las altas producciones de materia seca para el consumo animal por unidad de área y un incremento en la ingesta total de proteína (Bacab *et al.*, 2013).

En un Sistema Silvopastoril intensivo existen interacciones entre sus componentes leñosas-animales-gramíneas.

3.2.1 Interacción leñosa-animal

La presencia de árboles dentro del potrero genera un microclima benéfico para los animales reflejándose en la productividad del sistema. Existe una reducción de la temperatura de hasta 3 °C en Sistemas Silvopastoriles con respecto a Sistemas tradicionales, que puede reflejarse en incrementos en la producción animal (Betancourt *et al.*, 2003). Las especies leñosas perennes protegen a los animales de vientos y lluvia reduciendo el estrés que estos factores pueden causar en los animales. La interacción más importante que se puede encontrar en un Sistema Silvopastoril es la de los animales y leñosas perennes como recurso forrajero, sobre todo en los Sistemas intensivos. El potencial forrajero de una leñosa se expresa en la capacidad de rebrote, resistencia al pastoreo, cantidad de materia seca producida, nutrientes y su digestibilidad. El principal efecto de la presencia de leñosas como fuente de forraje dentro del sistema es el alto contenido de nutrientes y la oferta de forraje en época de estiaje mitigando el efecto de la estacionalidad en la producción de forraje.

La presión del pastoreo sobre las especies leñosas por parte de los animales depende de su palatabilidad, entre otros factores. En Sistemas con estratos leñosos como fuente de forraje, la respuesta a la defoliación sigue los mismos principios que regulan el pastoreo con gramíneas. Es recomendable dejar área foliar remanente después de una defoliación severa (ramoneo o corte) para que el rebrote no haga total uso de las reservas del sistema radicular de la planta (Pezo, 1999).

3.2.2 Interacción leñosa-gramínea

En un sistema donde una o varias especies leñosas comparten el mismo espacio con las gramíneas, pueden suceder interacciones de interferencia y de facilitación. Cuando una leñosa arbustiva o arbórea comparte espacio con una herbácea, por lo general interfiere con el paso de la luz modificando el crecimiento de la gramínea. La reducción en los niveles de radiación solar limita el crecimiento de las especies situadas en estratos inferiores resultando en una marcada reducción en la producción de biomasa dentro del potrero. En términos generales, las plantas forrajeras con ciclo fotosintético C4 (gramíneas tropicales) son más susceptibles al efecto de sombreado que las C3 (gramíneas templadas) (Pezo *et al.*, 1999).

La respuesta que las especies sombreadas presentan puede ser variada, en algunas ocasiones tienden a formar hojas más largas y menos anchas permitiendo mayor intercepción luminosa a una tasa de respiración menor. Al no ser suficientes estos mecanismos de adaptación la tasa fotosintética se reduce (Alonso *et al.*, 2006).

Por otro lado, las interacciones de facilitación más comunes en los Sistemas Silvopastoriles entre especies vegetales leñosas y herbáceas son el incremento en la fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno, reciclaje de nutrientes, mantenimiento de materia orgánica y control de la erosión (Casanova *et al.*, 2007).

Los efectos microclimáticos que las especies leñosas generan en torno a las gramíneas pueden ser favorables. La reducción del estrés térmico y el incremento en la humedad relativa retrasa el proceso de lignificación de las gramíneas mejorando su calidad forrajera. De igual forma, la protección contra vientos que el estrato leñoso ofrece a las gramíneas en un Sistema Silvopastoril intensivo reduce su evapotranspiración haciendo más eficiente el uso del agua en el sistema (Pezo *et al.*, 1999).

3.2.3 Interacción gramínea-animal

En los Sistemas Silvopastoriles intensivos, las gramíneas aportan una gran cantidad de materia seca y nutrientes a los requerimientos de un animal en pastoreo. Dentro de ésta interacción puede haber actos que perjudican a la gramínea como lo son el pisoteo y la defoliación selectiva; sin embargo, el retorno de nutrientes y la dispersión de sus semillas a través de las excretas de los animales son actos que benefician al estrato herbáceo.

Factores como la compactación del suelo, daños por pisoteo, intensidad y frecuencia de la defoliación y deposición de excretas pueden ser controlados mediante un manejo integral de pastoreo rotativo, reduciendo su efecto adverso sobre las gramíneas (Canudas, 1996).

3.3. Características agronómicas de la *Leucaena leucocephala*

La especie *Leucaena leucocephala* es originaria de la península de Yucatán, México y se dispersó de forma natural a lo largo de Centroamérica. Esta especie pertenece a la familia de las leguminosas y se destaca por sus cualidades forrajeras como su alto valor nutricional, rápida recuperación después del ramoneo, fijación de nitrógeno atmosférico y tolerancia a la sequía. Sin embargo, no todas las especies son forrajeras, existe una gran variabilidad genética lo cual hace que sea una especie multipropósito (forraje, leña, semilla, etc.). La *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham generada por las variedades Perú y Salvador se caracteriza por sus aptitudes forrajeras (Uribe *et al.*, 2011).

La *Leucaena leucocephala* requiere temperaturas de 25 a 30 °C para su óptimo crecimiento, se desarrolla en óptimas condiciones desde los 0 hasta los 1500 msnm, requiere suelos de media a alta fertilidad y bien drenados con un pH de entre 5.5 y 7.5 y que no contengan saturación de iones aluminio. La precipitación media anual recomendada para su cultivo es de 800 a 3000 mm año⁻¹.

Es una planta heliófila, es decir, no tolera la intercepción luminosa y requiere de gran cantidad de luz solar para desarrollarse sobre todo en su etapa de crecimiento, por lo que se recomienda mantener en suelo desnudo durante los primeros 45 días después de la siembra ya que tiene dificultades para establecerse en terrenos con dosel denso (Calle *et al.* 2011).

3.4. Calidad de la semilla

La calidad de la semilla está dada por su capacidad de germinar y producir plántulas normales. Esta capacidad de germinación está condicionada por una serie de factores genéticos y ambientales como lo son el medio donde se producen, su cosecha, procesamiento y almacenamiento (Doria, 2010). Para determinar la calidad de las semillas es necesario efectuar una prueba de germinación.

El principal objetivo de una prueba de germinación es determinar el porcentaje de germinación y viabilidad de un lote de semillas, y por tanto, predecir su comportamiento cuando éstas sean sembradas en vivero o en campo (Bonny, 1987).

Existen dos formas para realizar una prueba de germinación en semillas de especies forestales, la primera es la estandarizada por “The International Seed Testing Association” (ISTA) quien determina una serie de condiciones y métodos de laboratorio para cada especie y que garantiza que los resultados de germinación para cada lote de semillas sean idénticos a los obtenidos en cualquier otro laboratorio en otra parte del mundo. Otro tipo de pruebas de germinación se realizan en viveros o directamente en campo para determinar el comportamiento de las semillas en condiciones específicas propias de la región (Ffolliott y Thames, 1983).

La principal variable a medir en este tipo de prueba es la germinación definida como el surgimiento y desarrollo, a partir del embrión de la semilla, de estructuras esenciales que indican la capacidad de la semilla para producir una plántula normal bajo ciertas condiciones ambientales;

se expresa como el porcentaje de semillas que producen plántulas normales o como el número de semillas que germinan por unidad de peso de la muestra (Ffolliott y Thames, 1983). La viabilidad de la semilla, también se determina de manera recurrente en las pruebas de germinación, siendo ésta la porción de semillas vivas al final de la prueba. El porcentaje de viabilidad incluye la porción de semillas germinadas y semillas vivas que por alguna razón no germinaron pero se encuentran en periodo de dormancia y sin daño físico aparente (Bonny, 1987).

Otros tipos de variables a medir en una prueba de germinación, aunque menos recurrentes, son la energía germinativa y el valor de germinación. Ffolliott y Thames (1983) definen a la energía germinativa como el porcentaje de semillas de una muestra determinada que germinan dentro de un período determinado (que se denomina el período de energía) en determinadas condiciones; otra definición que dan los mismos autores es el porcentaje, en número, de semillas de una muestra determinada que germinan hasta llegar al momento de germinación máxima, que generalmente significa el número máximo de germinaciones en 24 horas. En ambos casos el período de energía debe ser considerablemente inferior a la del período del ensayo completo que prescribe la ISTA.

La energía germinativa se puede considerar como una medida de velocidad y vigor de germinación. Su utilidad se basa en que probablemente sólo las semillas que germinan con rapidez y vigor en condiciones favorables serán capaces de producir plántulas vigorosas en las condiciones que existen sobre el terreno, donde una germinación débil o retrasada suele tener consecuencias fatales.

El valor de germinación, propuesto por el científico Czabator en 1962, es un indicador que evalúa la capacidad germinativa de las semillas considerando su velocidad o energía germinativa y el porcentaje de germinación total. Un valor más alto indica una semilla más vigorosa (Djavanshir y Pourbeik, 1976).

4. LITERATURA CITADA

- Alonso, J., G. Febles, T. Ruiz y G. Achang. 2006. Efecto de la sombra en la gramínea asociada en un sistema silvopastoril de leucaena-guinea durante sus diferentes etapas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 40(4): 503-511.
- Altieri, M. A. 1999. *Agroecología bases científicas para una agricultura sustentable*. Ed. Nordan-Comunidad. Montevideo. 339 p.
- Bacab, H. M., Madera, N. B., Solorio, F. J., Vera, F. y Marrufo, D. F. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17(3): 67-81.
- Bennett D., y R. Hoffmann. 1992. La ganadería en el nuevo mundo. En: *Semillas de Cambio*. Hernán V. y Carolin M. Instituto Smithsonian, Washington y Londres, pp. 90-110.
- Betancourt K., M. Ibrahim, C. A. Harvey, y B. Vargas. 2003. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 10(39): 47-51.
- Bonny L. 1987. Seed germination test methods used for Australian tree species at Coffs Harbor Research Centre. Technical paper No. 39. Forestry commission of New South Wales. 38pp.
- Calle Z., E. Murgueitio, C. Giraldo, S. D. Ospina, A. Zapata, C. H. Molina, E. Molina, J. D. Chará, F. Uribe, K. Reyes. 2011. La *Leucaena leucocephala* no se comporta como una planta invasora en Colombia. *Carta FEDEGAN*. 127: 70-80.
- Canudas L., E. 1996. Manejo intensivo y sustentable de praderas. In *XXIV Día del Ganadero: Alternativas Tecnológicas en forrajes, Nutrición y Mejoramiento Genético*. Memoria Técnica No. 3, C.E. "La Posta", CIRGOC-INIFAP-SAGAR, Paso del Toro, Ver., México. 74 p.
- Casanova F., L. Ramírez, F. Solorio. 2007. Interacciones radiculares en sistemas Agroforestales: Mecanismos y opciones de manejo. *Avances en Investigación Agropecuaria* 11(3): 41-52.

- Clavero, T. y J. Suárez. 2006. Limitaciones en la adopción de los sistemas silvopastoriles en Latinoamérica. *Pastos y Forrajes* 29(3): 1-6.
- Djavanshir K., y H. Pourbeik. 1976. Germination value: A new formula. *Silvae Genética* 25(2): 79-83.
- Ffolliott P., F., y J. Thames L. 1983. Recolección, manipuleo, almacenaje y pre-tratamiento de las semillas de *Prosopis* en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.
- González J., M. 2013. Costos y beneficios de un sistema silvopastoril intensivo (sspi), con base en *Leucaena leucocephala* (Estudio de caso en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México). *Avances en Investigación Agropecuaria* 17(3): 35-50.
- González, Y., y F. Mendoza. 2008. Efecto del agua caliente en la germinación de las semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú. *Pastos y Forrajes* 31(1): 47-52.
- González, Y., J. Reino, y R. Machado. 2009. Dormancia y tratamientos pregerminativos en las semillas de *Leucaena spp.* cosechadas en suelo ácido. *Pastos y Forrajes* 32(4): 1-6.
- González, Y., J. Reino, J. A. Sánchez, y R. Machado. 2012. Efecto del almacenamiento al ambiente en semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham sometidas a hidratación parcial. *Pastos y Forrajes* 35(4): 393-399.
- Hart, R. D. 1985. Conceptos básicos sobre Agroecosistemas. Turrialba, C. R. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. 160 p.
- Krishnamurthy L., y M. Ávila. 1999. Agroforestería Básica. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Oficina Regional para América Latina y el Caribe Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México D. F. 340 pp.
- Murgueitio R., E., C. A. Cuartas C., y J. F. Naranjo R. (Eds). 2009. Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. Segunda Edición. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 490 pp.

- Pezo, D., e M. Ibrahim. 1999. Sistemas silvopastoriles. 2da ed. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 276p.
- Ruiz R., O. 2006. Indicadores de sustentabilidad agroecológica. En: López, B. O., Ramírez, G. S., Ramírez, G. M., Moreno, B. G. y Alvarado, G. A. E. (eds.). Agroecología y Agricultura Orgánica en el trópico. Universidad Autónoma de Chiapas. México. pp 59-67.
- Sánchez-Paz, Y., y M. Ramírez-Villalobos. 2006. Tratamientos pre germinativos en semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. Revista de la Facultad de Agronomía 23(3): 257-272.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural). 2015. SAGARPA. México, D. F. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=214. Consultado el 05 junio 2015.
- Uribe F., A. F. Zuluaga, L. Valencia, E. Murgueitio, A. Zapata, L. Solarte, C. A. Cuartas, J. F. Naranjo, W. F. Galindo, J. G. González, J. A. Sinisterra, J. C. Gómez, C. H. Molina, E. J. Molina, A. Galindo, V. A. Galindo, y R. Soto. 2011. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 78p.
- Vilaboa-Arroniz, J., P. Díaz-Rivera, O. Ruiz, R., D. E. Platas-Rosado, S. González-Muñoz, F. Juárez-Lagunes. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. Tropical and Subtropical Agroecosystems 10: 53-62.
- Zuluaga A., F., C. Giraldo, J. Chará. 2011. Servicios ambientales que proveen los sistemas silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad. Manual 4, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 36 p.

CAPITULO I. ENERGÍA GERMINATIVA EN GUAJE (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) CON DIFERENTES MÉTODOS DE ESCARIFICACIÓN

RESUMEN

La capacidad germinativa del guaje (*Leucaena leucocephala*) en los primeros días postsiembra es una de las principales limitantes para su utilización en la reforestación de espacios dedicados al pastoreo animal en la zona intertropical de climas cálidos. Se compararon cinco tratamientos de escarificación en semillas de guaje con el objetivo de evaluar su efecto sobre la energía germinativa y el valor de germinación. Los tratamientos fueron: sin escarificación (SE), inmersión en agua a 80 °C durante tres minutos (IA80), e inmersiones por 12 h en: agua a 24 °C (IA24), alcohol etílico de 70 °GL (IAE), diluyente orgánico thinner (IDO) y peróxido de hidrógeno diluido a 2 % (IPH). Las semillas se depositaron en un sustrato de suelo tipo franco arcilloso y permanecieron expuestas a la intemperie. La germinación total fue mayor en IA80 con 55 %, pero con el valor más bajo de energía germinativa y viabilidad. En IA24 se presentó una mayor energía germinativa respecto a IA80 con valor de 31.7 %. En los demás tratamientos se observaron valores intermedios. Se concluyó que IA24 incrementa la energía germinativa de las semillas de guaje sin afectar su valor de germinación y viabilidad. El método IA80 favorece la germinación total y valor de germinación; sin embargo afecta la energía germinativa y viabilidad de las semillas ocasionando un retraso de nueve días respecto a los otros tratamientos.

Palabras clave: germinación, velocidad de germinación, valor de germinación, sistemas silvopastoriles.

ABSTRACT

The germination capacity of *Leucaena leucocephala* is one of the main impediments for its use in reforestation of animal grazing areas in the warm tropic climates. Five seed scarification treatments were compared in *L. leucocephala* in order to evaluate their effect on the germination energy and germination value. The treatments were: no scarification (SE), water immersion at 80 °C for three minutes (IA80), and immersions for 12 hours in: water at 24 °C (IA24), ethyl alcohol 70 °GL (IAE), organic diluent thinner (IDO) and hydrogen peroxide at 2 % (IPH). The seeds were planted in a clay loam soil substrate and exposed to natural weather. The total germination value was higher with IA80 with a value of 55 %, but had the lowest germination energy and viability value. The treatment IA24 was higher in germination energy than IA80 with 31.7 %. The other treatments were middle values. In conclusion, the scarification seed method of water immersion at 24 °C increases the germination energy of guaje's seeds without affecting their germination value and viability. The water immersion method at 80 °C increased the total germination and germination value; but, affected their germination energy and viability inducing a delay of nine days compared to the other treatments.

Key words: germination, germination velocity, germination value, silvopastoral systems.

1.1 INTRODUCCIÓN

La ganadería basada en el pastoreo es responsable del mayor cambio en el paisaje de bosques y selvas tropicales, y que tiene fuertes repercusiones ambientales y sociales (Chará 2011). La *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., guaje, ha sido propuesta como una alternativa sostenible para la reforestación de espacios dedicados a la producción animal en la zona intertropical de climas cálidos (Bacab *et al.* 2013). Esto se debe a su impacto positivo en el restablecimiento del estrato arbóreo que ayuda a contrarrestar la desertificación, proporcionar servicios ambientales e incrementar la productividad y calidad de los productos de origen animal (Cuartas *et al.* 2014).

Las semillas ortodoxas de guaje (Arriaga *et al.* 1994) están cubiertas por una ligera capa de polisacáridos: galactosa y manosa (Gutiérrez *et al.* 2007), que al impedir el paso de agua y oxígeno, ocasionan una disminución en el vigor germinativo y porcentajes de germinación inferiores de 20 %, lo que limita su utilización (Sánchez-Paz y Ramírez-Villalobos 2006).

La escarificación es un tratamiento pregerminativo que logra incrementar la germinación de guaje, mediante la remoción de la capa de polisacáridos que cubre a la semilla para interrumpir el periodo de dormancia. Diversos autores proponen métodos de escarificación mecánicos y químicos, como la remoción de la testa manualmente, escarificación con papel lija, tratamientos hidrotérmicos, inmersión en agua a temperatura ambiente o inmersión en ácido sulfúrico (Teles *et al.* 2000, Gómez-Merino *et al.* 2010, González *et al.* 2012). Para la escarificación de semillas de los géneros *Prosopis* y *Acacia*, Ffolliott y Thames (1983) recomiendan el uso de alcohol etílico, mientras que otros autores consideran al peróxido de hidrógeno como potencializador metabólico de la germinación de algunas semillas (Barba-Espín *et al.* 2012).

Sanchez-Paz y Ramírez-Villalobos (2006) señalan un incremento en la germinación total cuando se utiliza agua a 80 °C durante diez minutos. Por otro lado, al estudiar el efecto de almacenamiento y método de escarificación sobre la germinación de semillas de guaje, se muestra que el agua a 80 °C durante dos minutos incrementa su germinación más de 20 % (González y Mendoza 2008, González *et al.* 2009, González *et al.* 2012). Teles *et al.* (2000) indican porcentajes de germinación superiores de 90 % cuando se escarifica con agua a 80 °C durante cinco y diez minutos. Sin embargo, en la mayoría de los estudios realizados, el elevado porcentaje de germinación obtenido al escarificar con agua caliente ocurre transcurridos al menos 30 días después de la siembra. Es por ello, que para asegurar el establecimiento exitoso del guaje, es necesario aplicar un riguroso protocolo de siembra, el cual debe incluir un tratamiento pregerminativo que permita una germinación temprana menor de siete días, ya que el guaje tiene dificultades para propagarse cuando existe competencia con otras especies y en terrenos con dosel denso (Calle *et al.* 2011).

La energía germinativa (EG) definida como el porcentaje de semillas de una muestra que emerge hasta llegar al momento de germinación máxima (NFD 2012), y el valor de germinación (VG), que combina la energía germinativa y la velocidad de germinación (Djavanshir y Pourbeik 1976) son indicadores pertinentes del vigor en la semilla durante los primeros días de la germinación. Estos indicadores son apropiados, debido a que las semillas que germinan con rapidez y vigor en condiciones controladas, tienen mayor probabilidad de generar plántulas vigorosas en terrenos naturales (Ffolliott y Thames 1983). El comportamiento heliófilo del guaje, sugiere que un método de escarificación que permita una mayor energía germinativa debe favorecer su establecimiento (Calle *et al.* 2011).

Métodos de escarificación que remueven casi por completo la capa de polisacáridos pueden retrasar la germinación de las semillas de guaje, debido a que permiten el paso de agua en exceso y pueden disminuir su energía germinativa, aunque se desconoce el nivel de afectación que éstos pueden ejercer sobre la germinación durante los primeros días postsiembra. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de cinco métodos de escarificación sobre la energía germinativa y valor de germinación en semillas de guaje bajo condiciones semicontroladas de invernadero.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se realizó en el predio “El Huilango” ubicado en la Carretera Federal Veracruz-Córdoba km 35, Cotaxtla, Veracruz, México; a 18° 53' N y 96° 15' O y 30 msnm durante octubre y noviembre de 2014. La temperatura y precipitación media anuales son 25.4 °C y 1,042 mm, clima Aw0(w)(i')g cálido subhúmedo, con poca oscilación térmica tipo Ganges sin canícula con lluvias en verano (García 1988).

Material vegetativo. Se utilizó semilla de guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) del ciclo de producción Otoño-Invierno 2012/2013 tratada con N-triclorometiltio-4-ciclohexeno-1,2-dicarboximida 50 % y Deltametrina a una dosis de 1.5 l Mg⁻¹ y 60 ml Mg⁻¹. Las semillas tenían 18 meses de almacenadas al realizarse el estudio.

Desarrollo experimental. Se formaron 18 grupos de 100 semillas, asignando seis tratamientos completamente al azar a tres repeticiones cada uno. Los tratamientos fueron: sin escarificación (SE), inmersión en agua a 80 °C durante tres minutos (IA80), e inmersiones por 12 horas en: agua a 24 °C (IA24), alcohol etílico de 70 °GL (IAE), diluyente orgánico thinner (tolueno 50 %, alcohol metílico 15 %, acetona 5 %, hexano 5 %, alcohol etílico 5 %, xileno 5 % y acetato de etilo 15 %, acetona 5 %, hexano 5 %, alcohol etílico 5 %, xileno 5 % y acetato de etilo 15 %,

IDO) y peróxido de hidrógeno diluido a 2 % (IPH). Todas las semillas fueron colocadas en papel absorbente a la intemperie durante 3 horas y sembradas en charolas de plástico termoformado de 200 cavidades y 3.81 cm de altura con un sustrato compuesto de suelo franco arcilloso (pH de 6.8, 2.15 % de materia orgánica y densidad aparente de 1.1 g cm⁻³), a una profundidad de siembra de 1 cm.

Las charolas fueron mantenidas en un vivero expuesto a condiciones naturales (Figura 1), delimitado y cubierto con maya sombra (50 % de filtración de irradiación solar) y con riegos de auxilio los días 0, 2 y 13 postsiembra.

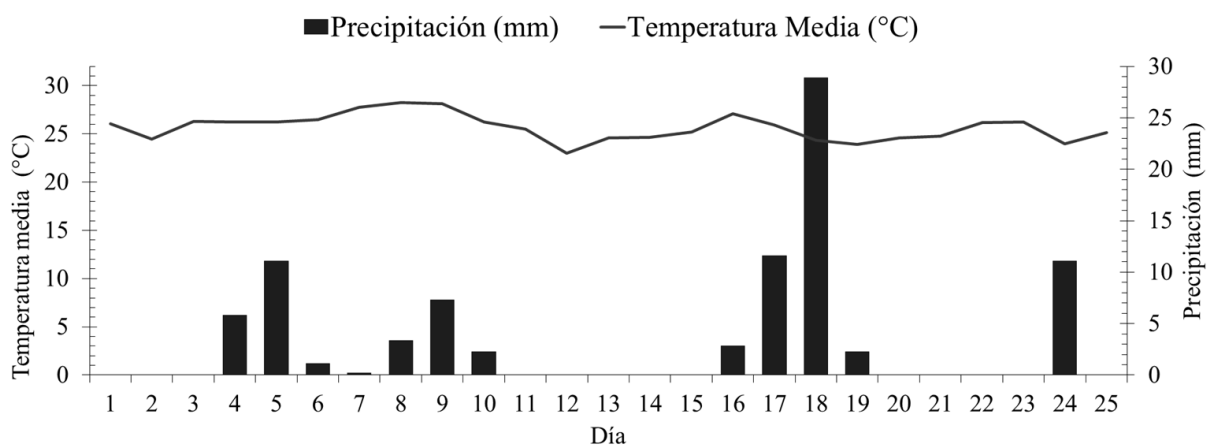


Figura 1. Climograma, precipitación (mm) y temperatura media (°C) registradas en el periodo 15/oct/2014 – 08/nov/2014 (INIFAP 2014).
Climograph, precipitation (mm) and average temperature (°C) recorded in the period 15/oct/2014 – 08/nov/2014.

Se contaron las semillas germinadas cada 48 horas a partir de la fecha de siembra durante 25 días, considerando como semilla germinada el momento en que el hipocótilo y los cotiledones sobresalieron a la superficie. Al día 25 del estudio se extrajo el material vegetativo no germinado

de las charolas y se consideró como semilla viable no germinada a aquellas que no mostraban daño físico aparente.

Variables de respuesta. Se determinó la germinación total (GT, %), semillas viables no germinadas (SV, %), viabilidad (VI, %, ecuación 1), germinación diaria acumulada (GDA, %, ecuación 2) y velocidad de germinación diaria (VGD, ecuación 3).

$$VI = GT + SV \quad [1]$$

Donde,

VI = Viabilidad.

GT = Porcentaje de germinación total.

SV = Porcentaje de semillas viables no germinadas.

$$GDA = \frac{SG}{d} \quad [2]$$

Donde,

GDA = Germinación diaria acumulada.

SG= Porcentaje acumulado de semillas germinadas.

d = días postsiembra.

$$VGD = \frac{GDA}{d} \quad [3]$$

Donde,

VGD = Velocidad de germinación diaria.

GDA = Germinación diaria acumulada.

d = días postsiembra.

La energía germinativa (EG, %) se estimó de manera indirecta, calculando la germinación diaria acumulada al momento en que la mayoría de los tratamientos alcanzaron su velocidad de germinación diaria máxima, denominado periodo de energía (Ffolliott y Thames 1983). El valor de germinación (VG) se obtuvo con la ecuación propuesta por Czabator (1962):

$$VG = (VGD \text{ final}) \times (VGD \text{ máxima}) \quad [4]$$

Donde,

VG = Valor de germinación.

VGD final = Velocidad de germinación diaria al final del experimento.

VGD máxima = Velocidad de germinación diaria máxima durante el experimento.

Análisis estadístico. Los datos fueron analizados con un modelo completamente al azar para las variables de germinación total, semillas viables no germinadas, viabilidad, energía germinativa y valor de germinación. La variable germinación diaria acumulada se analizó con un modelo mixto con mediciones repetidas:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + D_j + (TD)_{ij} + R_{k(i)} + E_{ijk} \quad [5]$$

Donde:

Y_{ijk} = Medición del i-ésimo tratamiento del j-ésimo día de la k-ésima repetición.

μ = Constante que caracteriza a la población.

T_i = Efecto fijo del i-ésimo tratamiento. $i = 1, 2, 3, 4, 5$ y 6 .

D_j = Efecto fijo del j-ésimo día. $j = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25$.

$(TD)_{ij}$ = Efecto de la interacción de los factores tratamiento y día.

$R_{k(i)}$ = Efecto aleatorio de la k-ésima repetición anidada en el i-ésimo tratamiento. $k = 1, 2, \text{ y } 3$. $R_{k(i)}$

$\sim \text{IIDN}(0, \sigma_r^2)$.

E_{ijk} = Error experimental. $E_{ijk} \sim \text{IIN}(0, \sigma^2)$.

Aunque las variables de respuesta se midieron en porcentaje, tuvieron una distribución normal. Los datos se procesaron con el procedimiento Mixed del SAS[®] 9.4 con una estructura de covarianzas en modelo autorregresivo integrado de promedios móviles (SAS Institute 2010). La comparación de medias entre tratamientos de los días de muestreo se realizó con la prueba de Tukey.

1.3 RESULTADOS

El intervalo de germinación total fue de 45 a 55 % en los tratamientos de inmersión en agua a 80 y 24 °C (Cuadro 1). Los demás tratamientos que usaron solventes, no fueron diferentes al tratamiento sin escarificación ($P \geq 0.05$), todos con medias inferiores a 40 %.

Las medias de las semillas viables no germinadas (SV) fueron superiores de 40 % ($P \leq 0.05$), excepto en el tratamiento hidrotérmico (IA80) que fue menor de 1 % y solo se encontró restos de semilla en estado de descomposición al finalizar el experimento; mientras que para el diluyente orgánico thinner, las semillas no viables tuvieron un aspecto seco y poroso, lo que sugiere daño físico por el solvente utilizado.

Las medias estimadas para la viabilidad (VI) fueron superiores de 90 %, excepto para IA80 e IDO, que fueron inferiores de 60 y 75 % ($P \leq 0.05$).

Al tercer día postsiembra, todos los tratamientos tuvieron una germinación diaria acumulada (GDA) menor de 5 % (Figura 2).

Cuadro 1. Comportamiento germinativo de las semillas de guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) bajo diferentes métodos de escarificación.
Seed germination behavior of guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) under different scarification methods.

Tratamiento *	Variable de respuesta ^				
	GT	SV	VI	EG	VG
	%	%	%	%	
SE	39.0 ^b	54.3 ^a	93.3 ^a	20.3 ^{bc}	5.0 ^{ab}
IA80	55.0 ^a	0.7 ^b	55.7 ^c	10.3 ^c	8.1 ^a
IA24	45.3 ^{ab}	48.7 ^a	94.0 ^a	31.7 ^a	8.9 ^a
IAE	36.0 ^b	54.0 ^a	90.0 ^a	26.3 ^{ab}	5.9 ^{ab}
IDO	31.0 ^b	40.3 ^a	71.3 ^b	22.0 ^{ab}	4.0 ^b
IPH	37.0 ^b	53.0 ^a	90.0 ^a	26.0 ^{ab}	5.7 ^{ab}
Error Estándar ±	2.6	2.9	2.2	2.6	0.8

*SE = Sin escarificación; IA80 = Inmersión en agua a 80 °C durante 3 minutos; IA24 = Inmersión en agua a 24 °C por 12 horas; IAE = Inmersión en alcohol etílico de 70 °GL por 12 horas; IDO = Inmersión en diluyente orgánico thinner por 12 horas; IPH = Inmersión en peróxido de hidrógeno diluido al 2% por 12 horas. ^ GT= Germinación Total; SV= Semillas viables no germinadas; VI= Viabilidad (GT + SV); EG= Energía germinativa; VG= Valor de germinación. Diferente literal en la misma columna indica diferencia ($P \leq 0.05$).

*SE = No scarification; IA80 = Immersion in water at 80 °C for 3 minutes; IA24 = Immersion in water at 24 °C for 12 hours; IAE = Immersion in ethyl alcohol 70 °GL for 12 hours; IDO = Immersion in organic diluent thinner for 12 hours; IPH = Immersion in hydrogen peroxide diluted at 2% for 12 hours. ^ GT= Total Germination; SV= Viable seeds non germinated; VI= viability (GT + SV); EG= Germination energy; VG= Germination value. Different literal in the same column indicates difference ($P \leq 0.05$).

Al día siete la germinación diaria acumulada varió de menos de 10 % para el IA80, hasta más de 30 % para IA24 ($P \leq 0.05$) que presentó los valores más altos al día nueve. IA80 fue similar a los demás, hasta el día nueve ($P \geq 0.05$). A partir del día 13, tuvo una tendencia superior a los demás, mostrando significancia con respecto a IDO (la respuesta más baja), ($P \leq 0.05$).

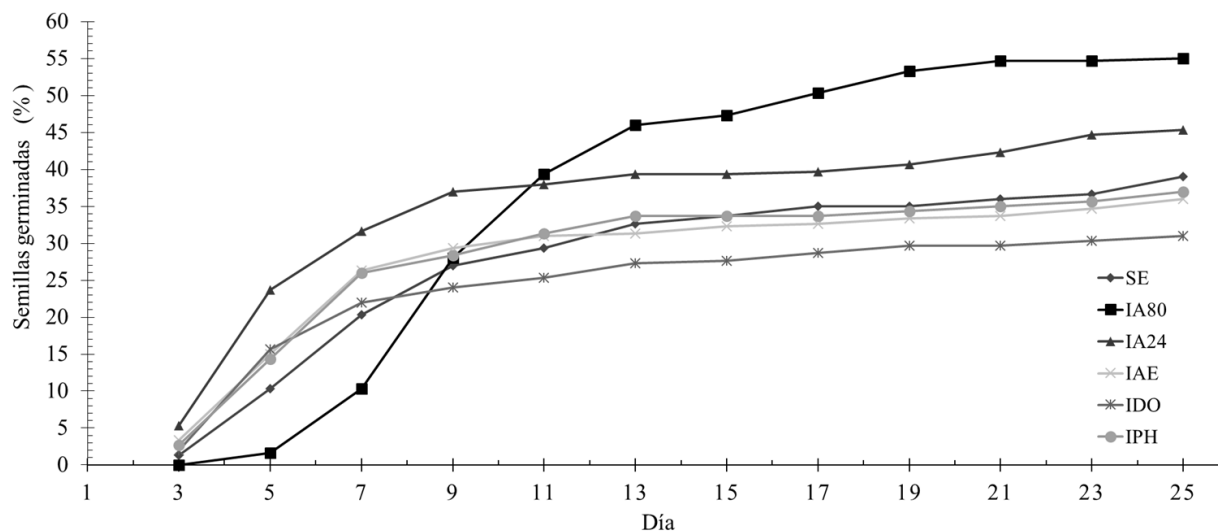


Figura 2. Germinación diaria acumulada (GDA) de semillas de guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) bajo diferentes métodos de escarificación. SE = Sin escarificación; IA80 = Inmersión en agua a 80 °C durante 3 minutos; IA24 = Inmersión en agua a 24 °C por 12 horas; IAE = Inmersión en alcohol etílico de 70 °GL por 12 horas; IDO = Inmersión en diluyente orgánico thinner por 12 horas; IPH = Inmersión en peróxido de hidrógeno diluido al 2% por 12 horas.
Cumulative daily germination (GDA) of guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) under different seed scarification methods. SE = No scarification; IA80 = Immersion in water at 80 °C for 3 minutes; IA24 = Immersion in water at 24 °C for 12 hours; IAE = Immersion in ethyl alcohol 70 °GL for 12 hours; IDO = Immersion in organic diluent thinner for 12 hours; IPH = Immersion in hydrogen peroxide diluted at 2% for 12 hours.

La velocidad de germinación diaria alcanzó valores máximos los primeros siete días, excepto en la semilla sin escarificar y el tratamiento hidrotérmico quienes lo lograron a los días nueve y once (Figura 3); por lo que el periodo de energía considerado para el cálculo de la energía germinativa fue de siete días (Ffolliott y Thames 1983).

La velocidad de germinación diaria en IA24 fue superior a los otros tratamientos hasta el día nueve ($P \leq 0.05$), después del cual todos los tratamientos fueron similares con pendientes negativas.

Para la energía germinativa, IA24 e IAE fueron superiores a IA80 con valor superior de 30 % y diferencia máxima de 21.4 % ($P \leq 0.05$, Cuadro 1), los demás tratamientos observaron valores intermedios.

El valor de germinación fue superior de ocho unidades para IA24 e IA80, con diferencia máxima de 4.9 con respecto al diluyente orgánico ($P \leq 0.05$, Cuadro 1), que resultó el tratamiento más bajo, los demás tratamientos se mostraron en el intervalo 5 – 6.

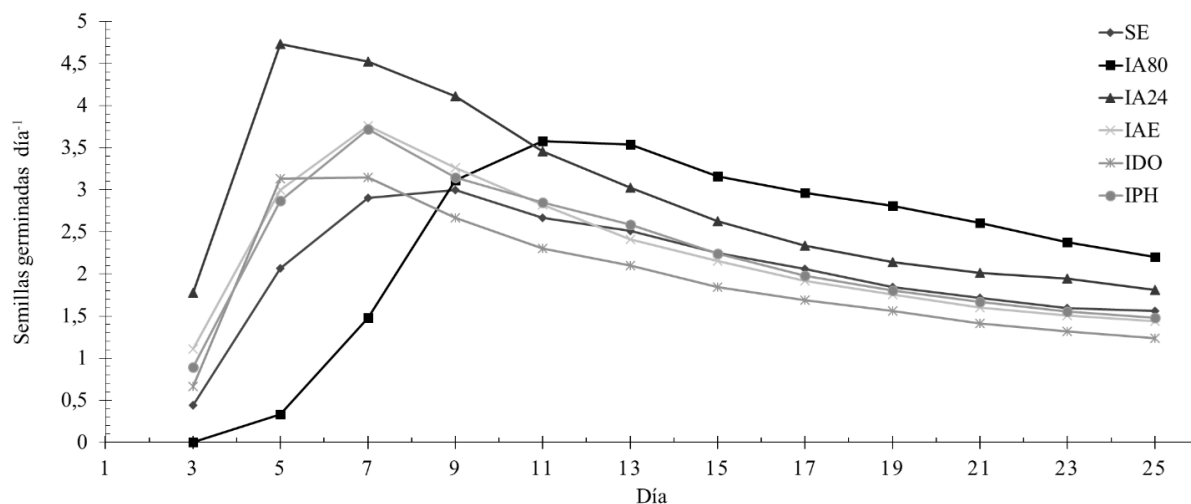


Figura 3. Velocidad de germinación diaria (VGD) de semillas de guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) bajo diferentes métodos de escarificación. SE = Sin escarificación; IA80 = Inmersión en agua a 80 °C durante 3 minutos; IA24 = Inmersión en agua a 24 °C por 12 horas; IAE = Inmersión en alcohol etílico de 70 °GL por 12 horas; IDO = Inmersión en diluyente orgánico thinner por 12 horas; IPH = Inmersión en peróxido de hidrógeno diluido al 2% por 12 horas.
Daily germination speed (VGD) of guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) under different seed scarification methods. SE = No scarification; IA80 = Immersion in water at 80 °C for 3 minutes; IA24 = Immersion in water at 24 °C for 12 hours; IAE = Immersion in ethyl alcohol 70 °GL for 12 hours; IDO = Immersion in organic diluent thinner for 12 hours; IPH = Immersion in hydrogen peroxide diluted at 2% for 12 hours.

1.4 DISCUSIÓN

Los resultados de germinación total (GT) se muestran por debajo a lo señalado por González y Mendoza (2008) en semilla de guaje cv. Perú almacenada durante 18 meses al ambiente sin escarificar e inmersión en agua a 80 °C por 2 minutos, con 81.8 y 97.7 %; pero similares a los obtenidos por Gonzalez *et al.* (2012) en semilla de guaje cv. Cunningham con 51 y 61.3 % bajo los

mismos tratamientos que el estudio anterior. Durante el periodo experimental frecuentemente ocurrieron temperaturas medias inferiores de 25 °C (Figura 1) y la mejor germinación de la semilla de guaje se obtiene entre 25 y 30 °C (Sánchez *et al.* 2005). En otro sentido, la dormancia es un factor genético que influye directamente en esta variable; se han presentado medias de germinación total entre 5 y 35 % para semillas de guaje (provenientes de diferentes cultivares y/o accesiones) sin escarificar, y 45 a 96 % cuando se aplica un tratamiento hidrotérmico (González *et al.* 2009). Lo anterior sugiere que es de poca utilidad hacer comparaciones entre semillas de guaje provenientes de diferente accesión para germinación total.

En semillas viables no germinadas y viabilidad se obtuvieron resultados similares a los de González *et al.* (2012), quienes reportaron para semilla de guaje cv. Cunningham almacenada durante 18 meses medias de semillas podridas entre 30 y 40 % cuando se aplica tratamiento hidrotérmico y para cuando a éste mismo se le aplica un periodo de hidratación parcial de 28 horas. La alta ocurrencia de semillas podridas puede presentarse debido a que el método de escarificación hidrotérmico, al remover casi en su totalidad la capa de polisacáridos de la semilla, provoca la saturación por agua que impide la entrada de oxígeno al embrión (Doria 2010). La baja viabilidad del tratamiento hidrotérmico y el diluyente orgánico thinner se debe a que el primero presentó un bajo porcentaje de semillas viables no germinadas y el segundo una baja germinación total.

Se han realizado diversos estudios sobre el efecto de la escarificación de semilla de guaje donde la inmersión en agua a 80 °C durante dos o tres minutos fue superior en la germinación total (Teles *et al.* 2000, Sánchez-Paz y Ramírez-Villalobos 2006, González y Mendoza 2008,); sin embargo, para el establecimiento del guaje la germinación durante la primera semana posterior a la siembra es la más importante, debido a que puede ser superada por otras especies.

Durante la fase de imbibición el proceso respiratorio se realiza por enzimas del ciclo de Krebs y oxidasas que generan el ATP (Adenosín trifosfato) necesario para mantener esta primera fase de germinación (Herrera *et al.* 2006); el calor aplicado a la semilla en el tratamiento hidrotérmico y el deficiente intercambio de gases y agua al no escarificar la semilla, pudo afectar a las enzimas mencionadas, retrasando el metabolismo del embrión y reduciendo la energía germinativa.

Tomando en cuenta que las plántulas que emergen durante los primeros días tomarán ventaja sobre otras plantas (Bonny 1987) y las necesidades del guaje durante su establecimiento, la inmersión en agua a 24 °C por 12 horas o en alcohol etílico pudieran ser más eficaces cuando la siembra de guaje se realiza directamente en campo, ya que obtuvieron los valores más altos de energía germinativa y no afectaron la viabilidad de la semilla al término del experimento; no obstante si las condiciones de siembra se llevan a cabo bajo condiciones controladas como es el caso de un invernadero, tratamientos que logren una mayor germinación total durante periodos prolongados pueden ser mejores, como en el caso de la inmersión en agua a 80 °C.

El indicador de valor de germinación (VG) es muy sensible a cambios en cualquiera de sus componentes (Djavanshir y Pourbeik 1976). La inmersión en agua a 24 y 80 °C, que obtuvieron las medias más altas, fueron favorecidos por su alta velocidad de germinación diaria máxima y final respectivamente; debido a esto, al emplear el valor de germinación como referencia de la capacidad germinativa en semillas de guaje es importante tener en cuenta el método de siembra.

1.5 CONCLUSIONES

El método de escarificación de inmersión en agua a 24 °C incrementa la energía germinativa de las semillas de guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) sin afectar su valor de germinación

y viabilidad. El método de inmersión en agua a 80 °C favorece la germinación total y valor de germinación; sin embargo afecta la energía germinativa de las semillas ocasionando un retraso de nueve días respecto a otros tratamientos.

1.6 AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) el financiamiento otorgado para la realización de estudios de posgrado del primer autor; al Colegio de Postgraduados (CP) Campus Veracruz y a la Línea Prioritaria de Investigación 12 por los recursos materiales y económicos brindados, a la Fundación Produce Michoacán por la asesoría y material vegetativo otorgado, al equipo interdisciplinario de trabajo del Proyecto Criollo Lechero Tropical del CP por su apoyo y trabajo para la realización de este estudio y a José Luis de la Cruz Martínez del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca quien a través de su residencia profesional, apoyó durante la fase experimental.

1.7 LITERATURA CITADA

Arriaga V, Cervantes GV, Vargas-Mena A (1994) Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México. 186 p.

Bacab HM, Madera NB, Solorio FJ, Vera F, Marrufo DF (2013) Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. Avances en Investigación Agropecuaria. 17(3): 67-81.

Barba-Espín G, Hernández JA, Diaz-Vivancos P (2012) Role of H₂O₂ in pea seed germination. *Plant Signaling & Behavior*. 7(2): 193–195.

Bonny L (1987) Seed germination test methods used for Australian tree species at Coffs Harbour Research Centre. Forestry Commission of New South Wales. Australia. 38 p.

Calle Z, Murgueitio E, Giraldo C, Ospina SD, Zapata A, Molina CH, Molina EJ, Chará JD, Uribe F, Reyes K (2011) La *Leucaena leucocephala* no se comporta como una planta invasora en Colombia. *Carta FEDEGAN*. 127: 70-80.

Chará J, Murgueitio E, Zuluaga A, Giraldo C (2011) Ganadería colombiana sostenible. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 158 p.

Cuartas CA, Naranjo JF, Tarazona AM, Murgueitio E, Chará JD, Ku J, Solorio FJ, Flores MX, Solorio B, Barahona R (2014) Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 27: 76-94.

Czabator FJ (1962) Germination value: An index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science*. 8(4): 386-396.

Djavanshir K, Pourbeik H (1976) Germination value: A new formula. *Silvae Genética*. 25(2): 79-83.

Doria J (2010) Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*. 31(1): 74-85.

Ffolliott PF, Thames JL (1983) Recolección, manipuleo, almacenaje y pre-tratamiento de las semillas de *Prosopis* en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.
<http://www.fao.org/docrep/006/q2180s/Q2180S00.htm#TOC> Fecha de consulta 13 de octubre de 2014.

García E (1988) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía UNAM. Distrito Federal, México. 191 p.

Gómez-Merino FC, Vidal-Morales B, Trejo-Téllez L, Molinos da Silva C (2010) Escarificación y germinación *in vitro* de semillas de Heliconias. Universidad y Ciencia. 26(3): 293-297.

González Y, Mendoza F (2008) Efecto del agua caliente en la germinación de las semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú. Pastos y Forrajes. 31(1): 47-52.

González Y, Reino J, Machado R (2009) Dormancia y tratamientos pregerminativos en las semillas de *Leucaena spp.* cosechadas en suelo ácido. Pastos y Forrajes. 32(4): 1-6.

González Y, Reino J, Sánchez JA, Machado R (2012) Efecto del almacenamiento al ambiente en semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham sometidas a hidratación parcial. Pastos y Forrajes. 35(4): 393-399.

Gutiérrez GO, Añez O, León G, Abed D, Molina E (2007) Análisis fisicoquímico y estructural del polisacárido de la goma de semilla de *Leucaena leucocephala*. Ciencia. 15(4): 481-487.

Herrera J, Alizaga R, Guevara E, Jiménez V (2006) Germinación y crecimiento de la planta. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 108 p.

INIFAP (2014) Red de estaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Estación meteorológica Cotaxtla-Medellín. <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=35925> Fecha de consulta 11 noviembre de 2014.

NFD (2012) Silvicultural terms in Canada. National Forestry Database. Ottawa Canadá. http://nfdp.ccfm.org/terms/terms_e.php?letter=g Fecha de consulta 09 noviembre 2014.

Sánchez JA, Reino J, Muñoz B, González Y, Montejo L, Machado R (2005) Efecto de los tratamientos de hidratación-deshidratación en la germinación, la emergencia y el vigor de las plántulas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. Pastos y Forrajes. 28(3): 209-220.

Sánchez-Paz Y, Ramírez-Villalobos M (2006) Tratamientos pre germinativos en semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. Revista de la Facultad de Agronomía. 23(3): 257-272.

SAS Institute (2010) User's guide, version 9.4. Statistical Analysis System Institute. Carolina del Norte, Estados Unidos de América.

Teles MM, Azevêdo A, Gomes de Oliveira JC, Esmeraldo BA (2000) Métodos para Quebra da Dormência em Sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Revista Brasileira de Zootecnia. 29(2): 387-391.

CONCLUSIONES GENERALES

La energía germinativa de la *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham se puede modificar de manera positiva utilizando un método práctico de escarificación como lo es la inmersión en agua a 24 °C durante 12 horas. Este incremento en su energía germinativa se traduce en un mayor porcentaje de plántulas emergidas en los primeros siete días postsiembra y ofrece una ventaja de hasta 9 días en comparación al método de escarificación hidrotérmico recomendado en la mayoría de los paquetes tecnológicos.

Por su parte, el método de escarificación hidrotérmico presenta un mayor porcentaje de germinación al final de la prueba y el valor de germinación más alto. Sin embargo, su baja energía germinativa y viabilidad son una desventaja cuando las condiciones ambientales y competencia con otras especies no son controladas.

Aunque por los resultados observados se puede recomendar la inmersión en agua a 24 °C como método de escarificación en semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham para el establecimiento directo en campo de esta especie debido a su rápida germinación, lo que le permite a la plántula desarrollarse sin competir con otras especies, es necesario confirmar estos resultados con estudios en condiciones de campo.

El método de inmersión en agua a 80 °C durante tres minutos en semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham se recomienda utilizarlo en plantaciones controladas como invernaderos ya que su porcentaje de germinación es el más efectivo y no tiene problemas de competencia con otras especies o condiciones ambientales adversas.