

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

EFFECTO DEL AISLAMIENTO GEOGRÁFICO EN
GERMINACIÓN, DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA Y
TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS DE
Guaiaacum coulteri A. Gray

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

P R E S E N T A:

ROGELIO COATZÍN RAMÍREZ

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2004



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

BIBLIOTECA DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES



EFFECTO DEL AISLAMIENTO GEOGRÁFICO EN GERMINACIÓN, DESCRIPCIÓN
MORFOLÓGICA Y TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS DE *Guaiacum coulteri*
A. Gray

Tesis realizada por ROGELIO COATZÍN RAMÍREZ bajo la dirección del comité asesor
indicado, aprobado por el mismo y aceptado como requisito parcial para obtener el grado
de:

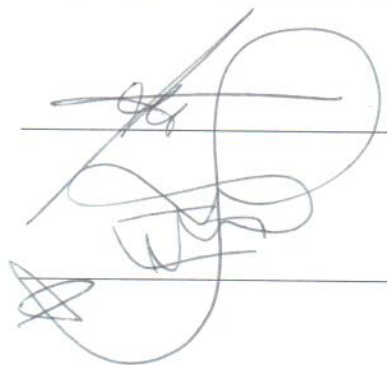
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES.

DIRECTOR: M. C. JOSÉ GPE. ÁLVAREZ MOCTEZUMA



ASESOR: M. C. AÍDA CARRILLO OCAMPO

ASESOR: M. C. GILBERTO MÁRQUEZ SALAZAR



DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació el día 2 de Abril de 1977 en Tepetzitzintla, Huatlatlauca, Puebla. Su instrucción escolar primaria la realizó en la escuela “Agustín Melgar” ubicada en Culiacán, Sinaloa durante el periodo de 1983 a 1989. Posteriormente, su formación media la recibió en la Escuela secundaria federal N° 4 Pablo de Villavicencio durante el periodo 1989 a 1992. Inicio sus estudios de Preparatoria en el ciclo escolar 1992 a 1995. Ingreso a la Universidad Autónoma de Sinaloa en 1995 y culminó su formación profesional en la Facultad de Biología con orientación en Ecología en el año 2000.

Su experiencia profesional laboral inicio en el año 2000. Durante el lapso de un año con dos meses desarrollando actividades en inventarios forestales en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a todas aquellas instituciones y personas que colaboraron en el logro de este objetivo:

Al Consejo Nacional de Ciencia Y tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la oportunidad de superarme académicamente.

Al M. C. José Guadalupe Álvarez Moctezuma quien apoyo decididamente la realización del presente trabajo, por su colaboración y su aporte de experiencia invaluable.

A la M. C. Aída Carrillo Ocampo por formar parte del comité asesor y a su invaluable aportación de conocimientos.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, por su apoyo incondicional y asesoría en el aspecto de análisis de semillas.

Al M. C. Gilberto Márquez Salazar por formar parte del comité asesor y las sugerencias en la realización del presente trabajo.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa Coordinadora de la Maestría de Ciencias Forestales, por las atenciones prestadas en el transcurso de mis estudios.

Al Dr. M. Engleman por su valiosa e invaluable sugerencias en la descripción de semillas de *G. coulteri*.

Al laboratorio de Citología e Histología del Área de Biología de la Preparatoria Agrícola.

A la M. C. M. I. Ebergenyi, a quien agradezco su apoyo incondicional en la traducción del resumen del presente trabajo.

Al M. C. José Adrián Beltrán Magallanes por el apoyo incondicional y sugerencias prestadas al principio del presente trabajo.

Al Biólogo José Saturnino por su valiosa aportación en el ingreso a la Maestría de Ciencias Forestales.

A mis compañeros y amigos que convivimos en el lapso de estudios de la Maestría de Ciencia Forestales, Ma Guadalupe “lupona” Franco Islas, M. Guadalupe “lupilla” Carrillo Benitez, Andrés Flores García, Ana Luz Martínez Rodríguez, Susana Ramírez Sánchez, Octavio Cesar Hernández Álvarez.

DEDICATORIA:

A MIS PADRES:

Pedro e Irene

Quienes me inculcaron los principios básicos para salir adelante en las metas trazadas en el transcurso de mi vida.

A MIS HERMANOS:

Por el apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

En especial a mi gran compañera y amiga, que en las buenas y malas has sido mi respaldo de mis alegrías, triunfos y tristezas.

A las grandes personas que considero amigos por su gran respaldo moral.

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE CUADROS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
SUMMARY	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. General.....	3
2.2. Específicos.....	3
2.3. Hipótesis.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Taxonomía.....	4
3.2. Descripción Botánica.....	4
3.3. Distribución.....	6
3.4. Distribución del género a nivel mundial.....	7
3.5. Distribución de la especie en México.....	7
3.6. Importancia económica.....	8
3.7. Datos sobre comercialización.....	8
3.8. Estudios sobre germinación.....	9
3.9. Dormición.....	9
3.9.1. Dormición física.....	10
3.9.2. Dormición química.....	10
3.9.3. Dormición fisiológica.....	11
4. Germinación.....	11
4.1. Germinación hipógea.....	11
4.2. Germinación epígea.....	11
4.3. Procesos que ocurren durante la germinación.....	12
4.4. Factores internos que afectan la germinación.....	13
4.5. Factores externos que influyen en la germinación.....	13
5. MATERIALES Y METODOS.....	16
5.1. Criterios utilizados para seleccionar las zonas de colecta	16
5.1.1. Zona 1.....	16
5.1.1.1. Localización.....	16
5.1.1.2. Clima.....	16
5.1.1.3. Flora y fauna.....	17
5.1.1.4. Hidrografía.....	17
5.1.1.5. Suelos.....	17
5.1.2. Zona 2.....	18
5.1.2.1. Localización.....	18

5.1.2.2. Clima.....	18
5.1.2.3. Flora y fauna.....	18
5.1.2.4. Hidrografía.....	18
5.1.2.5. Suelos.....	19
5.1.3. Zona 3.....	19
5.1.3.1. Localización.....	19
5.1.3.2. Clima.....	19
5.1.3.3. Flora y fauna.....	20
5.1.3.4. Hidrografía.....	20
5.1.3.5. Suelos.....	20
5.2. Procedimiento de colecta.....	21
5.3. Descripción general de la semilla de <i>G. coulteri</i>	23
5.3.1. Obtención de medidas.....	23
5.3.2. Descripción morfológica.....	23
5.3.3. Pruebas histoquímicas.....	23
5.4. Pruebas para el estudio del efecto del aislamiento geográfico en la germinación.....	24
5.5. Tratamientos pregerminativos en la semilla de <i>G. coulteri</i>	25
5.5.1. Diseño experimental.....	25
5.5.2. Modelo estadístico.....	26
5.5.3. Análisis de semillas.....	27
5.5.3.1. Análisis de pureza.....	27
5.5.3.2. Peso.....	28
5.5.3.3. Contenido de humedad.....	28
5.5.3.4. Imbibición acumulada.....	28
5.5.3.5. Autenticidad y origen.....	29
5.5.3.6. Germinación y energía germinativa.....	29
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
6.1. Descripción morfológica del fruto de <i>G. coulteri</i>	30
6.2. Descripción morfológica de la semilla.....	31
6.2.1. Medidas de la semilla.....	31
6.2.2. La cubierta seminal.....	31
6.2.3. El embrión.....	33
6.2.4. El endospermo.....	33
6.3. Estudio del efecto del aislamiento geográfico en la germinación.....	35
6.4. Tratamientos pregerminativos en la semilla de <i>G. coulteri</i>	43
6.4.1. Análisis de pureza.....	43
6.4.2. Peso de la semilla.....	43
6.4.3. Autenticidad y origen.....	43
6.4.4. Contenido de Humedad.....	43
6.4.5. Imbibición acumulada.....	43
6.4.6. Germinación.....	44
6.4.7. Análisis de varianza.....	45

7. CONCLUSIONES.....	47
8. BIBLIOGRAFÍA.....	49

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Diferencias entre <i>G. coulteri</i> y <i>G. Sanctum</i>	6
Cuadro 2. Concentrado de datos de las poblaciones donde se realizaron la recolecta de <i>G. coulteri</i>	22
Cuadro 3. Resultado de las tinciones en semillas de <i>G. coulteri</i>	33
Cuadro 4. Valores promedio de 5 características relacionadas con la capacidad reproductiva de 3 poblaciones naturales de <i>G. coulteri</i>	35
Cuadro 5. Coeficiente de correlación Pearson. Variables consideradas en la germinación de semillas de tres poblaciones naturales de <i>G. coulteri</i>	36
Cuadro 6. Coeficiente de r^2 entre variables de <i>G. coulteri</i>	37
Cuadro 7. Variables más significativas en el análisis multivariado.....	41
Cuadro 8. Estadísticas de la regresión.....	42
Cuadro 9. Análisis de varianza.....	42
Cuadro 10. Resultados del análisis multivariado.....	42
Cuadro 11. Tabla de análisis de varianza.....	45
Cuadro 12. Tabla de comparación de medias.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de distribución en <i>G. coulteri</i> . a nivel nacional.....	7
Figura 2. El fruto de <i>G. coulteri</i> , es una cápsula que produce de 1 a 5 semillas.....	30
Figura 3. Semillas inmaduras y maduras de <i>G. coulteri</i> contenidas en el fruto	31
Figura 4. Corte mediano de la semilla húmeda y madura de <i>G. coulteri</i>	32
Figura 5. Semillas germinadas en papel destroza después de 6 días en cámara de ambiente, observando longitud del eje hipocótilo-radicular	36
Figura 6. Distancia vs Germinación.....	38
Figura 7. Largo del eje hipocótilar-radicular vs % Germinación.....	39
Figura 8. Índice peso/L, del eje hipocótilar-radicular vs % Germinación.....	39
Figura 9. Peso de semilla vs % Germinación.....	40
Figura 10. de longitud del eje hipocótilo-radicular /Diámetro del eje hipocótilo- radicular vs (%) Germinación.....	41
Figura 11. Imbibición en semillas de <i>G. coulteri</i>	44
Figura 12. El porcentaje de germinación acumulada en semilla de <i>G. coulteri</i>	44

RESUMEN

EFFECTO DEL AISLAMIENTO GEOGRÁFICO EN GERMINACIÓN, DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA Y TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS DE *Guaiacum coulteri*

A. Gray

Rogelio Coatzin Ramírez.

Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales.

Noviembre de 2004.

(Dirección del M. C. José Álvarez Moctezuma)

Se realizó el estudio del efecto de aislamiento geográfico, descripción morfológica y tratamientos pregerminativos en semillas de *G. coulteri*. Para la descripción se utilizaron frutos y semillas maduros, colectados en los municipios de Navolato, Culiacán y El Fuerte, Sinaloa. Se observó que la semilla de *G. coulteri* tiene una sarcotesta roja brillante que rodea completamente a una cubierta oscura, esta es delgada en el polo micropilar y dio pauta al raspado estratégico para facilitar la germinación. En la fase de aislamiento geográfico se evaluó el vigor germinativo de tres poblaciones distantes y se encontró que la distancia no influyó en el nivel de germinación. En la fase de tratamientos pregerminativos se utilizaron 7 tratamientos y un testigo, el tratamiento con ácido sulfúrico al 96% por 8 minutos de remojo fue el mejor, alcanzando el 70% de germinación a los 7 días de puestas.

Palabras claves: *Guaiacum*, vigor germinativo, aislamiento geográfico.

EFFECT OF GEOGRAPHIC ISOLATION ON GERMINATION, MORPHOLOGICAL DESCRIPTION AND PREGERMINATION TREATMENTS OF *Guaiacum coulteri* A.

Gray

Rogelio Coatzin Ramírez.

Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales.

November, 2004.

(Dirección del M. C. José Álvarez Moctezuma)

SUMMARY

A study of the effect of geographic isolation, morphologic description and pre-germination treatments on *G. coulteri* seeds was carried out. Mature fruit and seeds, collected in Navolato municipality, in Culiacán state and El Fuerte, in Sinaloa state, were used for the description. The *G. coulteri* seed has a brilliant red sarcotesta completely surrounding a dark covering, which is thin in the micropyle pole and was where the strategic scratching to facilitate germination was done. During the geographic isolation stage, germination vigor for three distant populations was evaluated and it was found that distance did not influence the germination level. For the pre-germination treatment stage, seven treatments plus a control were used. Treatment with sulfuric acid at 96% and immersion for eight minutes was the best, reaching a germination of 70% seven days after placing them in petri dishes.

Key words: *Guaiacum*, germination vigor, geographic isolation.

1. INTRODUCCIÓN

La familia Zygophyllacea está constituida por árboles pequeños, hierbas anuales o perennes, y está representada por 25 a 30 géneros y cerca de 240 a 250 especies distribuidas en regiones tropicales y subtropicales; algunas se trasladan a lugares de clima semidesértico o a lugares salinos. Las semillas de esta especie tienen su origen en óvulos, hemitropos o campilótropos, crasinucelados y bigumentados, para el caso de semillas de guayacán tienen su origen en óvulos anátropos y se desarrollan en el interior de cápsulas, ezquizocarpos, bayas o drupas (Niembro, 1986a).

Las semillas son el medio natural de dispersión, propagación y perpetuación de más de 215,520 especies y constituyen hasta el momento la estructura menos conocida de las plantas superiores (Niembro, 1986b). En la actualidad se conocen con detalle varias características de la biología de semillas de plantas cultivadas importantes, y algunas de valor forestal; sin embargo semillas de plantas tropicales y subtropicales no han corrido con igual suerte y su estudio ha quedado muy rezagado (Vázquez, 1997).

Las semillas forestales están consideradas como una de las fuentes más importantes de germoplasma, y constituyen hasta el momento el material más utilizado en todo programa de regeneración artificial, motivo por el cual las investigaciones sobre su biología y mejoramiento genético resultan prioritarias (Niembro, 1985).

Las condiciones geográficas como la altitud, clima y suelo, determinan la distribución de las especies. Martínez, (1979) menciona que *Guaiacum coulteri* se distribuye desde

Sonora hasta Oaxaca. Hoy en día esta especie es escasa en su ambiente natural por diversos factores como la explotación selectiva y baja velocidad de regeneración porque es una especie de lento crecimiento. Según Baskin, (1998) las semilla de selva baja generalmente presentan dormancia física y por las características en semillas de *G. coulteri* es muy posible que éstas presenten dormancia o latencia física. La sobreexplotación de esta especie ha sido tan alta que aparece en la norma NOM-059- (ECOL-1994) con el estatus de protección especial.

G. coulteri es una especie siempre verde que es atractiva por sus flores azules o violáceas, se encuentra en selva baja caducifolia por lo general formando poblaciones aisladas y raras veces en manchones (Martínez 1979). Algunas poblaciones de *G. coulteri* se encuentran aisladas, fragmentadas, y con pocos árboles adultos por unidad de área por lo que su aislamiento, su tamaño reducido y su ubicación marginal pueden reducir la variabilidad intrapoblacional, aumentar la endogamia y disminuir su capacidad reproductiva (Mápula, 2004 citando a Saccheri et al., 1998; Mosseler et al., 2000).

La autopolinización y el cruzamiento entre árboles emparentados incrementan la homocigosis de genes recesivos letales o deletéreos provocando una alta producción de semillas vanas y depresión en la tasa de crecimiento de la progenie (Yazdani y Lingren, 1991).

Con base a lo anterior, el presente trabajo se llevó a cabo con el objetivo de aportar información acerca de la morfología de la semilla de *G. coulteri*, determinar la situación reproductiva de algunas de sus poblaciones silvestres y establecer un protocolo de germinación adecuado para la especie.

2. OBJETIVOS

2.1. General:

Comparar el efecto de aislamiento geográfico en la germinación de *Guaiacum coulteri*.

2.2. Específicos:

- Describir la morfología de la semilla de *G. coulteri*.
- Comparar atributos en los individuos agrupados y aislados con diferente nivel de aislamiento geográfico.
- Identificar el tratamiento más adecuado para promover la germinación en semillas de *G. coulteri*.

2.3. Hipótesis:

1. Las semillas del árbol más aislado tendrán menor vigor germinativo con respecto a los árboles agrupados y con menores distancias entre ellos.
2. La dormición en las semillas de *G. coulteri* es provocada por la dureza del endospermo que inhibe el crecimiento del embrión.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Taxonomía. En México *G. coulteri* se conoce con diversos nombres comunes: guayacán (Puebla, Oaxaca y en la mayor parte de su área de distribución); palo matlacuahuitl (náhuatl); mot-zi (chinanteco, Oaxaca) palo santo (Jalisco., Oaxaca) yaga-gupi, yaga-naa (zapoteco, Oaxaca.), (Pennignton y Sarukhán 1998). Su clasificación taxonómica es la siguiente;

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Sapindales

Familia: Zygophyllacea

Género: *Guaiaacum*

Especie: *Guaiaacum coulteri* A. Gray.

3.2. Descripción Botánica. El árbol de *Guaiaacum coulteri* A. Gray. mide hasta 10 m, tiene un diámetro normal de hasta 30 cm, frecuentemente está ramificado cerca de la base, el fuste es de sección oval y la copa es dispersa. La corteza externa es pardo grisácea, escamosa, las escamas dejan ligeras oquedades de 5 cm de diámetro al desprenderse, las corteza interna es verde en la parte más externa y pardo cremoso hacia el interior. El grosor total de la corteza de 5 a 6 mm (Pennignton y Sarukhán 1998).

La madera es dura de color pardo cremosa, con numerosos vasos solitarios, las ramas jóvenes son angulosas, zigzagueantes ligeramente fisuradas, de color pardo grisáceo; con los nodos hinchados con estípulas tiesas, persistentes; las hojas tienen yemas redondeadas y pubescentes de 2 a 3 mm rodeadas por las estípulas. Las estípulas miden de 2, 3 a 4 mm de largo, son estrechamente triangulares, rígidas persistentes y pubescentes. Las hojas son opuestas y dísticas, paripinnadas de 1.5 a 3.5 cm de largo, con 3-5 pares de folíolos sésiles de 0.8 x 0.2 a 2.7 x 0.6 cm oblongos, elípticos o falcados, con el margen entero, ápice agudo o redondeado, a veces con un mucro, con base redondeada y fuertemente asimétrica, de color verde intenso en ambas superficies. Glabras; generalmente con 3 nervios prominentes desde la base (Pennignton y Sarukhán 1998).

Las flores se producen en fascículos cuando el árbol está sin hojas, o en fascículos en las axilas de las hojas; sus pedicelos escasamente pubescentes miden de 8 a 22 mm de largo, las flores zigomorfas miden de 2 a 3 cm de diámetro, presentan cinco sépalos de 7 a 8 mm de largo, elípticos, imbricados, verdes con el margen azul. Los pétalos son cinco, de color azul añil a morados, de 1 a 1.7 mm de largo y 7 a 13 mm de ancho, unguiculados, con el limbo redondeado, glabros. Los estambres son diez, de color amarillo, de 3 a 10 mm de largo, con anteras oblongas de 3 mm de largo, glabros. El ovario es súpero profundamente 5-lobulado, glabro, con un estilo glabro de 3 a 5 mm de largo y estigma simple. Florece de Febrero a Julio (Pennignton y Sarukhán 1998). Los frutos son cápsulas glabras de 1.5 cm de largo y 2 cm de ancho, profundamente 5-lobuladas con el ápice truncado y la base redondeada, el pericarpio es de textura cartilaginosa, inicialmente de color verde y de color naranja en el fruto maduro que puede contener hasta 5 semillas de 1 cm de largo, de color moreno-oscuros, duras, pendientes del funículo y rodeadas por

una estructura carnosa y roja. Maduran de Marzo a Octubre (Pennignton y Sarukhán 1998).

El género incluye seis especies de árboles y arbustos de América tropical y subtropical : *G. sanctum*, *G. officinale*, *G. guatemalense*, *G. unijugum*, *G. coulteri* var *palmeri*, y *G. coulteri*.

Hasta la fecha todavía no se ha aceptado por unanimidad la taxonomía actual de las diferentes especies de *Guaiacum*. Específicamente con respecto a *G. coulteri* y *G. sanctum* no se han podido establecer diferencias taxonómicas claras. *G. Sanctum* también se encuentra en la norma NOM-059- (ECOL-1994) con el estatus de protección especial.. El Cuadro 1 resume las diferencias morfológicas hasta ahora reportadas para estas dos especies.

Cuadro 1. Diferencias entre *G. coulteri* y *G. Sanctum*. Fuente: (CITES 2004).

Característica	<i>G. coulteri</i>	<i>G. sanctum</i>
Color y forma de la flor	Violeta-azul intenso; pétalos claramente desgarrados	púrpura (puede ser un tono menos intenso que <i>G. coulteri</i>)
Ovario	Glabro	pubescente
Forma del foliolo	Estrecho, elíptico	oblongo, ovado o lanceolado

3.3. Distribución. La información sobre el tamaño y la situación de la población de *G. coulteri* en México es incompleta. Se informa de una amplia distribución de la especie a lo largo de su área de distribución nativa, pero no en forma común. Puede abundar localmente pero darse en densidades bajas (CITES, 2004 citando a Maryland-Report,

2000). *G. coulteri* es explotada para uso local y está sometida a presión debido a los usos de la tierra que suponen una amenaza para la situación y la supervivencia de poblaciones silvestres.

3.4. Distribución del género a nivel mundial. El género *Guaiacum* a nivel mundial se encuentra en el Caribe, Colombia y Venezuela, Centroamérica, Sur de América del Norte (En el arco occidental de la Región del Gran Caribe). Desde el Sur de América Central al Norte y al Este pasando por las Antillas Mayores y más al Noroeste: desde Costa Rica hasta México (Yucatán) y luego al este y noroeste hasta Cuba., los E. U. (Florida meridional), las Bahamas, la Española y Puerto Príncipe)

3.5. Distribución de la especie en México. *G. coulteri* tiene una amplia distribución en la costa del Golfo de México, el sur de Puebla, así como la del Pacífico, de Sonora a Oaxaca y la cuenca del Balsas, en selvas bajas caducifolias o medianas caducifolias y subcaducifolias en diferentes tipos de suelos.

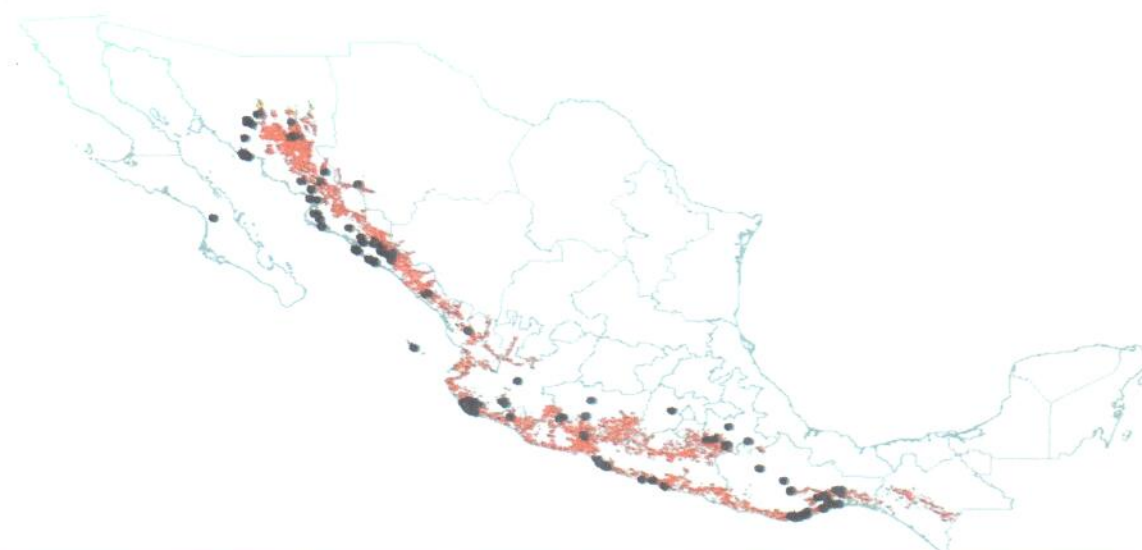


Figura 1. Mapa de distribución en *G. coulteri*. a nivel nacional.

3.6. Importancia económica. La madera del guayacán es muy pesada. La densidad de la madera varía entre 1.20 y 1.36 g /cm³ secada al aire y 1.05 g / cm³ secada al horno. La madera es difícil de secar sin el desarrollo de acebolladura y rajaduras en los extremos. Se reporta que la madera de guayacán es de tres a cuatro veces tan dura como la del roble inglés (*Quercus robur* L.) y más dura que cualquier otra madera común en los Estados Unidos, (Francis, 2004). La madera de *Guaiacum* fue muy utilizada para elaborar soportes de la cola de buques, torneado de bolos, copas, cuencos, cabezas de mazos, para maquinaria diversa: guarniciones y cojinetes de ejes porta hélices, poleas, pivotes y cojinetes de empuje, arandelas, guías, rodillos y ruedas, también fue empleada en la elaboración de durmientes, objetos deportivos y en la industrial textil. *G. coulteri* se ha exportado a América del Norte y Europa para usos medicinales (hojas) durante siglos para curar la sífilis (Grieve, 1995). Como material medicinal también se comercializa la: goma de guayaco, resina, guayacum, Lignum vital y Lignum sanctus. Por lo general la madera de *lignum-vitae* comercializada no va acompañada del nombre científico a nivel especie (CITES, 2004).

En la actualidad el uso de *Guaiacum* está muy reducido por sus escasas poblaciones, resultado de la sobreexplotación y la desaparición de las selvas donde crece.

3.7. Datos sobre comercialización. En general en el comercio del género *Guaiacum* no se hace distinción entre especies (CITES, 2004 citando a Marylandreport, 2000). Lo más probable es que las exportaciones de la costa occidental mexicana sean de *G. coulteri*, si bien sigue sin saberse cuánto se exporta, por no disponerse de estadísticas precisas sobre su comercialización y porque hasta ahora no se han establecido las diferencias entre la

madera de las especies de *Guaiacum* lo cual resulta preocupante, ya que para restaurar y mantener el equilibrio de las poblaciones forestales se deben conocer las características de las especies aprovechadas.

3.8. Estudios sobre germinación. Jiménez (1999), señala que *Guaiacum sanctum* L. se reproduce por semilla y se ha logrado sólo un 30 % de germinación en vivero.

Francis (2004) reporta que la germinación de *G. officinale* L. es epígea y comienza de 10 a 12 días después de la siembra. En Cuba hasta un 60 % de las semillas frescas germinan a cero días de almacenamiento. Según este mismo autor en una prueba usando semillas frescas de Puerto Rico se obtuvo una germinación del 9 %, del 5 % con semillas almacenadas por un mes a 5 °C, y del 20 % con semillas almacenadas por dos meses a 25 °C.

3.9. Dormición. Duffus y Slaungher (1985), definen dormancia como el fenómeno de las semillas que con frecuencia no germinan si solo están sujetas a las condiciones que normalmente favorecen la germinación.

Según Camacho (1994), en español se han usado sinónimos de dormancia, como dormición, latencia, letargo, reposo y vida latente, para referirse a la ausencia o inhibición del crecimiento en particular de la germinación. Los mecanismos causantes de la dormición son:

a) Impermeabilidad al agua.

- b) Baja permeabilidad a los gases.
- c) Resistencia mecánica al crecimiento del embrión.
- d) Permeabilidad selectiva a los reguladores del crecimiento.
- e) Bloqueo metabólicos.
- f) Presencia de inhibidores.
- g) Embriones rudimentarios.
- h) Adquisición de mecanismos inhibidores.

3.9.1. Dormición física. En semillas que presentan exclusivamente dormición física, la cubierta impermeable es el único bloqueo a la germinación. Este tipo de semillas no germinan hasta que sus cubiertas se ablanden por efecto del agua o de hongos, se rompan por alternancia de frío y calor o sean corroídas por un ácido en el tracto digestivo de un animal (Cuadra, 1993). También cuando el embrión es extraído de estas semillas, éste se desarrolla rápidamente y da origen a una plántula normal (Rolston citando a Nikolaeva, 1969).

3.9.2. Dormición química. La cubierta más expuesta al ambiente contiene sustancias solubles en agua que impiden el crecimiento vegetal, las cuales se denominan inhibidores; para que la germinación ocurra se requiere que dichas sustancias sean eliminadas. Esto se puede lograr eliminando toda la cubierta en forma manual o mecánicamente, aunque es más fácil remojar las semillas en agua, de preferencia corriente; lo que produce la lixiviación de los inhibidores, es decir que salgan de los tejidos disueltos en el líquido.

3.9.3. Dormición fisiológica. En muchas especies el retraso de la germinación puede resultar de la presencia de un embrión rudimentario, o sea poco desarrollado o no diferenciado en el momento en que la semilla madura. Esta es una característica de las especies que no depende del período transcurrido desde la fertilización de los óvulos hasta la maduración de las semillas, o sea que no es resultado de una cosecha temprana. Para que la germinación se realice se requiere que el embrión haya completado su desarrollo lo cual se puede acelerar artificialmente con aplicación de estratificación calida u hormonas vegetales. Este tipo de embriones se presentan frecuentemente en la familia de las palmeras, y anonáceas.

4. Germinación La germinación se define como el proceso de reactivación de la maquinaria metabólica de la semilla y la emergencia de la radícula (raíz embrionaria) y de la plúmula (vástago embrionario), conducente al desarrollo de una plántula. Fisiológicamente, la germinación comienza con las etapas iniciales de reactivación bioquímica y termina con la emergencia de la radícula. Morfológicamente y para el ensayo de semillas y propagación de plantas, la definición debe incluir la producción de una plántula normal, (Hartmann y Kester, 1990).

4.1. Germinación hipógea. En la germinación hipógea, los cotiledones permanecen bajo el suelo y la plántula es llevada a la superficie por el alargamiento del epicótilo (Thomson, 1979).

4.2. Germinación epígea. En la germinación epígea los cotiledones emergen de la superficie gracias al alargamiento del hipocótilo, (Thomson, 1979).

4.3. Procesos que ocurren durante la germinación.

- 1- Se produce absorción de agua, principalmente por imbibición.
- 2- Comienza el alargamiento y división celular.
- 3- Se activan las enzimas.
- 4- Los carbohidratos insolubles, el almidón, los lípidos y las proteínas se hidrolizan para dar origen a sustancias químicas simples solubles en agua, que se traslocan del endospermo al embrión.
- 5- La tasa de respiración aumentan rápidamente y la energía liberada se utiliza para el crecimiento y desprendimiento de calor.
- 6- Tiene lugar un incremento en el crecimiento y la división celulares.
- 7- Se produce una rápida disminución del peso.
- 8- Comienza la diferenciación de las células para dar origen a los distintos tejidos y estructuras de la plántula.
- 9- La germinación está esencialmente completa cuando la plántula cuenta con suficiente superficie fotosintética para satisfacer sus propias necesidades de carbohidratos.

Según Hartmann y Kester (1990), para que se inicie la germinación se requiere de tres condiciones: 1) La semilla debe ser viable; es que el embrión debe estar vivo y ser capaz de germinar. 2); La semilla no debe presentar dormancia. No deben existir barreras fisiológicas o físicas que induzcan letargo ni barreras químicas para la germinación. 3) La semilla debe estar expuesta a las condiciones ambientales apropiadas: disponibilidad de agua, temperatura adecuada, provisión de oxígeno y en ocasiones luz. Debido a las complejas interacciones entre el ambiente y condiciones específicas de letargo, dichas exigencias pueden cambiar con el tiempo y los métodos de manejo de las semillas

también. Así el segundo requisito para evitar el letargo se puede a veces satisfacer proporcionando las condiciones ambientales apropiadas.

4.4. Factores internos que afectan la germinación. Cuando la semilla no responde con rapidez ante la exposición a condiciones ambientales favorables se dice que está en estado de latencia; en el caso de árboles son varios los factores que ocasionan la latencia:

- El embrión puede estar fisiológicamente inmaduro y necesitar de un período de estratificación antes de germinar, la latencia del embrión es muy común.
- La semilla cuenta con una cubierta impermeable al oxígeno o al agua, o generalmente a los dos. También es común la latencia debida a la cubierta impermeable.
- La cubierta de la semilla puede resultar demasiado fuerte para que el embrión en desarrollo la pueda romper; esta causa de latencia es rara.
- La semilla se desprende del árbol antes de que el embrión madure.

4.5. Factores externos que influyen en la germinación. La semilla madura solo puede germinar cuando las condiciones externas son favorables; los principales factores externos son:

- **Agua.** El agua se introduce a la semilla por imbibición y va acompañada por hinchazón y posteriormente de la ruptura de la cubierta de la semilla. Durante la imbibición la testa se suaviza y se hace más permeable al agua y los gases y a medida que se diluye el protoplasma concentrado, las enzimas se activan

(Departament of Agricultura, 1965).

➤ **Oxígeno.** La intensa respiración de las semillas en proceso de germinación requiere de una dotación de oxígeno; por lo general este gas está fácilmente disponible, pero su cantidad puede ser una limitación cuando la semilla está sumergida en aguas estancadas, profundamente enterrada, o en un suelo excesivamente fertilizado que produce grandes cantidades de CO_2 . Los requerimientos de oxígeno varían mucho, pero en general los problemas surgen en los suelos de baja porosidad o demasiada humedad. La mayoría de las especies no germinan cuando las semillas están sumergidas bajo el agua; incluso las especies que habitan los pantanos tienen que estar expuestas al aire para germinar y por lo común se establecen durante periodos de desecación, cuando el suelo está expuesto al viento (Daniel, 1982).

➤ **Dióxido de carbono.** Los altos niveles de CO_2 retardan la germinación debido a la inhibición de la respiración; por esta razón, las semillas se deben almacenar dentro de envases sellados, de modo que las pequeñas cantidades de dióxido que se desprende debido a la respiración de las semillas maduras y secas producen una atmósfera rica en dicho gas, dentro del envase. La mayoría de los suelos que contienen una gran cantidad de materia orgánica tiene altos niveles de CO_2 que rápidamente se difunden en la atmósfera si la materia orgánica está cerca de la superficie, pero en los horizontes profundos, la atmósfera edáfica puede contener elevadas concentraciones de este gas; ésta es una de las razones por las que las semillas sembradas a demasiada profundidad no pueden germinar. (Daniel, 1982).

➤ **Temperatura.** La germinación de la mayoría de las semillas de árboles puede producirse dentro de una escala más o menos amplia de temperatura. La

germinación es más rápida cuando la temperatura se encuentra dentro de 25 a 40 °C. La velocidad de la germinación se produce mejor, en general, cuando la temperatura fluctúa y no permanece constante. El hecho de conocer los requerimientos de temperatura para la germinación tiene importancia práctica debido a que puede utilizarse para determinar el momento de la siembra en los almácigos de vivero y en el campo.

- **Aireación.** El intercambio de gases entre el medio de germinación y el embrión, permite una germinación rápida y uniforme (Hartmann Y Kester, 1990). La principal necesidad del oxígeno se produce en la respiración, que suministra energía para conservar la vida mediante la oxidación de los alimentos debido a que la semilla, aun en su condición de letargo continúa respirando (Departament of Agriculture, 1965).
- **Luz.** Algunas semillas tiene necesidades de luz absoluta para germinar, en otras la exposición a la luz actúa como inhibidora de la germinación y en un tercer grupo, la germinación está relacionada con una respuesta fotoperiódica, es decir, con una alternancia de períodos de luz y oscuridad (Devlin, 1976).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Criterios utilizados para seleccionar las zonas de colecta

5.1.1. Zona 1

5.1.1.1. Localización. El municipio de El Fuerte se localiza en la parte noroeste del estado, entre los meridianos 108° 16' 47" longitud oeste y los paralelos 25° 53' 29" y 26° 38' 47" latitud norte. Su altura sobre el nivel del mar varia desde los 82 metros en sus valles hasta los 1000 metros en sus partes más altas. Colinda al norte con el estado de Sonora y el municipio de Choix; a sur con los municipios de Ahome, Guasave y Sinaloa; al oeste con el municipio de Choix y al oeste con el estado de Sonora y el municipio de Ahome. En su territorio existen más de 300 localidades, de las que destacan por su importancia su cabecera municipal El Fuerte, San Blas, Mochicahui. La Constanica y Jahuara (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

Su superficie es de 3, 843 Km² cifra que representa el 6.6% de la superficie estatal y el 0.19 del país, y ocupa el 7° por su existencia, entre los municipios de la entidad

5.1.1.2. Clima. El municipio de El Fuerte cuenta en su territorio con una gran variedad de climas. En su extremo orientales cálido subhumedo con lluvias en verano; en su parte norte-centro presenta un clima semicalido; en su zona centro-sur es seco-cálido: en sus extremos sur y oeste es muy seco cálido, y en su parte noroeste, junto al estado de Sonora, es seco semicalido (Los Municipios de Sinaloa, 1998). El periodo de lluvias es de Julio a

Octubre y la precipitación pluvial media es de 564 milímetros anuales. La temperatura promedio anual es de 25° C con máximos de 46° C en verano y mínimos de 4° C. Los meses más calurosos son de Mayo a Septiembre (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

5.1.1.3. Flora y fauna. La parte norte y sureste del municipio está cubierto por selva baja caducifolia y al oeste por matorral crasicaule, el cual ocupa gran parte del territorio. Con respecto a la fauna conejo, mapache, venado cola blanca y escorpión entre otras especies son las que se encuentran en la región (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

5.1.1.4. Hidrografía. El principal recurso hidrológico con que cuenta el municipio es el río Fuerte, uno de los más importantes de la vertiente del Pacífico, penetra por el norte proveniente del municipio de Choix, cruza el municipio en dirección noroeste-suroeste y después de recorrer el municipio de Ahome desemboca en el Golfo de California, sus aguas son controladas por la presa Miguel Hidalgo, que abarca parte de los municipios de el Fuerte y Choix, y la presa Josefa Ortiz de Domínguez. Sus principales afluentes en el municipio son los arroyos de Chino bampo, Baymena, San Felipe y Sabajahui y el río Álamos (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

5.1.1.5. Suelos. El municipio está constituido por terrenos del cenozoico y del terciario. Predominan los suelos cambisol y feozem y, en menor medida, suelos vertisol, regosol, solonchak, yermosol y litosol. La zona de las llanuras se utiliza para la agricultura, y al norte su uso es ganadero (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

5.1.2. Zona 2

5.1.2.1. Localización. Navolato se localiza en la parte central del estado entre las coordenadas extremas 107 ° 14' 00'' y 108 ° 04' 50'' de longitud oeste del Meridiano de Greenwich y a una latitud norte de 24 ° 25' 45'' Y 24° 59' 30''. Colinda al norte con los municipios de Mocosito y Angostura, al sur, oeste, noroeste, sureste y suroeste con el Golfo de California y al este y noreste con Culiacán (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

5.1.2.2. Clima. En de Navolato predomina un clima seco calido con lluvias en verano y escasas a lo largo del año. La temperatura media anual varia de los 20 °C a los 26 °C, según la altitud. La precipitación media anual oscila de los 400 a los 600 milímetros (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

5.1.2.3. Flora y fauna. El municipio esta constituido por la llanura que esta cubierta por abundante vegetación halófila, manglar, y en menor proporción vegetación de dunas costeras. La selva baja caducifolia es escasa. La fauna principal la componen pato, caimán y variadas especies marinas (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

5.1.2.4. Hidrografía. La principal corriente hidrológica es el río Culiacán, que atraviesa el municipio de Navolato dicho escurrimiento se forma con la afluencia de los ríos Humaya y Tamazula en la ciudad de Culiacán, penetra al municipio por el este, diigiendose al oeste, hasta llegar a la altura de la ciudad de Navolato, de donde se dirige al sur inclinándose al suroeste, para desaguar en el Golfo de California (Enciclopedia de los

Municipios de México, 1988).

5.1.2.5. Suelos. En el municipio de Navolato predominan rocas sedimentarias, pertenecientes al cenozoico de la era cuaternaria. Predominan los suelos solonchak, cambisol y vertisol (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

5.1.3. Zona 3

5.1.3.1. Localización. El municipio de Culiacán se encuentra en la región central del Estado de Sinaloa, entre los meridianos 106° 56'50'' y 107° 50'15'' de longitud oeste del Meridiano y las coordenadas de Greenwich y las coordenadas extremas de los paralelos 24° 02' 10'' y 25° 14' 56'' de latitud norte. Su altitud sobre el nivel del mar varía desde el nivel del mar en la costa hasta los 2,100 metros en la zona de los altos. Su cabecera municipal tiene una altitud media de 53 metros sobre el nivel del mar. Colinda al norte con el municipio de Badiraguato al sur con el Golfo de California, al este con el municipio de Cosalá y el Estado de Durango; al noroeste con Navolato y Mocorito; al sureste con Elota y Cosalá, y al suroeste con Navolato y el Golfo de California

Su superficie es de 4,758 kilómetros cuadrados que significa el 8.16 por ciento de la superficie de la entidad y el 1.24 por ciento del país, ocupando el tercer lugar como municipio más extenso (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

5.1.3.2. Clima. El municipio tiene una temperatura media anual de 24 °C con una mínima de 2 °C con una precipitación pluvial promedio de 658 milímetros; el clima es húmedo

y caliente en verano, mientras que en invierno su temperatura es agradable con escasas precipitaciones, los vientos dominantes se desplazan en dirección noroeste, desarrollando una velocidad aproximada de dos metros por segundo (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

5.1.3.3. Flora y fauna. En el municipio es abundante la selva baja caducifolia, existiendo también bosque de encino y de pino-encino. En el área costera se encuentra vegetación halófila y manglar. Constituyen la fauna: conejo, mapache, pato pichihiula, paloma, codorniz, golondrina, tortuga, lagarto, cocodrilo, iguana, serpiente, venado cola blanca, jabalí, puma, escorpión y caimán (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

5.1.3.4. Hidrografía. El municipio de Culiacán es atravesado por cuatro corrientes hidrológicas: los ríos Humaya, Tamazula, Culiacán, y San Lorenzo; el Humaya tiene su origen en el estado de Durango, entrando a Sinaloa por el municipio de Badiraguato, sus aguas son controladas por la presa Adolfo López Mateos. El río nace en la Sierra Madre Occidental en las cercanías del valle de Topia, su corriente es controlada por la presa Sanalona; los ríos Humaya y Tamazula se unen frente a la ciudad de Culiacán para formar el río Culiacán, que finalmente desemboca en el Golfo de California; el río San Lorenzo nace en la Sierra Madre Occidental dentro del estado de Durango, se interna a Sinaloa a través del municipio de Cosalá y desemboca en el Golfo de California.

5.1.3.5. Suelos. Las características geológicas del municipio de Culiacán son: la faja costera que esta formada por capas recientes del pleistoceno, formaciones geológicas del principio de la era cuaternaria. La región central por la naturaleza rocosa del cenozoico y

las partes elevadas de la sierra, principalmente, por rocas metamórficas de la era mesozoica. Predominan los suelos feozem, vertisol, regosol y cambisol, la mayor parte del suelo es de uso agrícola (Enciclopedia de los Municipios de México, 1988).

Para seleccionar las zonas de colecta se consultaron programas de manejo y cartografía para el estado de Sinaloa. De acuerdo a esta literatura consultada solamente en el municipio de El Fuerte crece *G. coulteri*. Los municipios de Navolato y Culiacán se selecciono con base a referencias personales, y debido a la escasez de individuos se colectaron semillas de todos los árboles observados.

5.2. Procedimiento de colecta

En Junio del 2003 se colectaron flores en diferentes estados de desarrollo en El fuerte, Sinaloa; y en Septiembre del mismo año se colectaron semillas maduras de 17 árboles de tres poblaciones naturales de *G. coulteri*, en los municipios de El Fuerte, Culiacán y Navolato, Sinaloa (ver cuadro 2). En Junio del 2004 nuevamente se colectaron flores en diferentes etapas de desarrollo ahora en el municipio de Culiacán Sinaloa; cabe señalar que en todos los casos el número de árboles muestreados siempre fue uno en todas las localidades. En Selva Baja es raro encontrar manchones o poblaciones de *Guaiacum*, esto explica en parte la restricción en el número de muestras obtenidas. Las semillas se colectaron directamente de los árboles, las cuales aun se encontraban en el fruto, cubiertas de una sarcotesta color roja que fue removida manualmente para su almacenamiento.

Cuadro 2. Concentrado de datos geográficos de las poblaciones donde se realizaron la recolecta de *Guaiacum coulteri*.

Población	Municipio	Estado	Latitud N	Longitud W	Altitud (msnm)	Día/Mes	Año
Altata	Navolato	Sinaloa	24° 38' 50.6''	107° 38' 37.2''	3	6/9	2003
Altata	Navolato	Sinaloa	24° 39' 47.5''	107° 57' 35.5''	5	6/9	2003
Altata	Navolato	Sinaloa	24° 39' 54''	107° 57' 37.39''	5	6/9	2003
Culiacán	Culiacán	Sinaloa	24° 51' 0.06'	107° 21' 02.4''	67	7/9	2003
Culiacán	Culiacán	Sinaloa	24° 51' 0.9'	107° 21' 03.6''	72	7/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 30' 28.7'	108° 36' 58.8''	114	8/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 30' 30''	108° 37' 00''	120	8/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 30' 30.9''	108° 37' 01.2''	118	8/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 30' 32.1''	108° 36' 42.9''	115	8/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 30' 33''	108° 36' 48.8''	112	8/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 30' 34''	108° 36' 50.4''	122	8/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 30' 40.1''	108° 36' 57.5''	134	9/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 30' 46.9''	108° 37' 14.00''	121	9/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 30' 56.8''	108° 37' 11.7''	131	9/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 31' 01.4''	108° 37' 16.6''	123	9/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 31' 01.9''	108° 37' 16''	132	9/9	2003
Mahone	El Fuerte	Sinaloa	26° 31' 4.2''	108° 37' 15.7''	120	9/9	2003

* Las coordenadas geográficas y la elevación promedio se tomaron con un posicionador geográfico marca Garmin 12XL.

5.3. Descripción general de la semilla de *G. coulteri*.

5.3.1. Obtención de medidas. Para la obtención de las medidas y peso de la semilla de *G. coulteri* se utilizaron un total 110 semillas sin sarcotesta (testa carnosa). Con ayuda de un vernier se midió el ancho, alto y largo de la semilla tomando como referencia la cicatriz de la rafe que queda sobre la cubierta seminal interna cuando se desprende la sarcotesta. El peso promedio a partir de 110 semillas se obtuvo utilizando una balanza granataria (electrónica marca Ohaus.).

5.3.2. Descripción morfológica. La descripción morfológica de la semilla de *G. coulteri* se hizo con base en la estructura de la semilla madura la cual primeramente se observó completa bajo el microscopio estereoscópico y luego se diseccionó con ayuda de una cuchilla para cortar papel en los planos medio, transmedio, y transversal. Las partes internas de la semilla se reconocieron bajo el microscopio estereoscópico.

5.3.3. Pruebas histoquímicas. También se realizaron algunos cortes frescos de la semilla madura con micrótopo de mano para probar la presencia de diversas sustancias.

- **Taninos.** Se tiñen de rojo con la vainillina (detecta la presencia de catequinas y leucoantocianidinas).
- **Lípidos y cutículas (cutina).** Se tiñen de rojo con el .Rojo O de aceite.
- **Polisacáridos de reserva y estructurales** Se tiñen de color rosa con el Ácido periódico-reactivo de Schiff (APS).
- **Lignina.** Se tiñe de color rojo violeta con la floroglucina + ácido clorhídrico concentrado.

- **Almidón.** Se tiñen de azul-morado con $I_2 K$ (Prueba del lugol).

5.4. Pruebas para el estudio del efecto del aislamiento geográfico en la germinación

El estudio del efecto del aislamiento geográfico, se realizó en Agosto del 2004 en el laboratorio de Semillas del Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Esta fase de la investigación consistió en la evaluación del vigor germinativo, el cual es definido por Perry (1981) como la suma total de las propiedades de la semilla la cual determina el nivel de actividad y funcionamiento durante la germinación. El estudio se hizo con respecto al aislamiento geográfico de tres poblaciones (ver cuadro 2), la prueba para evaluar la germinación fue el método “entre papel” de López (2002), el cual consiste en poner 25 semillas con el micrópilo dirigido hacia el centro de la tierra, en la parte central de tres hojas de papel destaza sobrepuestas de 34 cm X 20 cm, previamente humedecidas con agua destilada. Estas hojas con las semillas contenidas posteriormente se enrollaron en forma de “taco” sobre una superficie plana. Cada “taco” se metió en una bolsa de polietileno, con el fin de retener la humedad, el total de muestras se colocaron en forma vertical en un recipiente y se mantuvieron en una germinadora de ambiente controlado marca Conviron por seis días, con 12 horas de fotoperiodo a 30 °C y por 12 horas a 27 °C con luz incandescente y fluorescente. Solo se hizo una repetición por árbol debido a la limitación de individuos silvestres encontrados en campo. Cabe señalar que las semillas se escarificaron por 8 minutos en ácido sulfúrico al 96 % y posteriormente fueron raspadas en el polo micropilar con una lija fina para metal, con la finalidad de favorecer la germinación y que además fueron tratadas con Captan al 3% como fungicida. Como criterio de germinación se utilizó la emergencia del

eje hipocótilo-radicular cuando éste alcanzó un centímetro de longitud lo cual ocurrió en la mayoría de las semillas al cuarto día. A partir de este evento se inició el conteo de días después de la germinación. Para el análisis estadístico se utilizaron los promedios de 25 mediciones de 17 lotes (ver cuadro 5). También se obtuvo el peso promedio de las semillas mediante una balanza granataria (se pesaron 25 semillas maduras por lote)

5.5. Tratamientos pre-germinativos en la semilla de *G. coulteri*.

Para la fase de tratamientos pre-germinativos en semillas de *G. coulteri*, se realizaron las pruebas de análisis de pureza, peso, contenido de humedad, imbibición acumulada, autenticidad y origen, germinación y energía germinativa en el laboratorio de Semillas Forestales de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, en Octubre del 2004.

5.5.1. Diseño experimental. El diseño experimental utilizado, fue el de bloques al azar. Para el modelo experimental se consideraron los siguientes tratamientos pregerminativos.

Testigo

- Remojo en agua por 18 horas.
- Remojo en agua oxigenada (H_2O_2) por 18 horas.
- Remojo en agua por 18 horas y raspadas en la zona del micrópilo.
- Remojo en agua oxigenada (H_2O_2) por 18 horas y raspadas en la zona del micrópilo.
- Raspados en la zona del micrópilo.
- Remojo en ácido sulfúrico (H_2SO_4) por 8 minutos.

- Remojo en ácido sulfúrico (H_2SO_4) por 8 minutos y raspadas en la zona del micrópilo.

Se usaron semillas de *G. coulteri* completamente desarrolladas a las cuales se les retiró la sarcotesta de manera manual. Se colocaron 25 semillas en cajas de Petri de vidrio de 5 cm de diámetro, utilizando agrolita como sustrato y el fungicida Bravo al 10%. El sustrato se mantuvo húmedo empleando agua destilada. Las cajas de Petri con las semillas se mantuvieron en cámaras de ambiente controlado marca Conviron, con un régimen de temperatura día – noche de 30 – 27-° C, con luz flourecente e incandescente las 24 horas del día.

Por cada unidad experimental se hicieron 4 repeticiones por tratamiento, con un total de 400 semillas.

5.5.2. Modelo y análisis estadístico. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + T_j + e_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, b \quad j = 1, 2 \dots, t$$

Donde:

b= Número de bloques.

t = Número de tratamientos.

Y_{ij} = Respuesta obtenida en el j-énesimo tratamiento de i-énesimo bloque

μ = Efecto medio general.

β_i = Efecto atribuido al i-ésimo bloque.

T_j = Efecto atribuido al j-ésimo tratamiento.

e_{ij} = Terminos de error aleatorio. Donde los e_{ij} tienen una distribución Normal e independiente con media 0 y varianza σ^2 .

Para el análisis estadístico se usó el procedimiento (Proc GLM) de SAS versión 8. La prueba de comparación de medias fue la de Tukey.

5.5.3. Análisis de semillas. En general se siguieron las normas de ISTA (Asociación Internacional de Análisis de Semilla) Y AOSA (Asociación de Analistas Oficiales de Semilla), citadas por Bonner (1993).

5.5.3.1. Análisis de pureza. Usualmente es la primera prueba que se practica al llevarse a cabo los análisis, y provee semilla pura para la realización de otras pruebas, y determina que proporción de la muestra de trabajo es semilla pura de la especie designada, y que proporción corresponde a otros materiales. La muestra de trabajo se divide en cuatro componentes.

- a) semilla pura de la especie de interés.
- b) semillas de otras especies forestales.
- c) semillas de malezas (no es tan importante como la semilla de arbustos y árboles, pero tiene valor potencial para el viverista) material inerte (hojas, escamas de conos, piedras, y cualquier otro material ajeno a las semillas) (Bonner, 1993)..

Cada componente se expresa como porcentaje de peso, en relación a la muestra de

trabajo original como sigue:

$$\text{Porcentaje} = \frac{\text{Peso del componente}}{\text{Peso total de la muestra de trabajo}} \text{ por } (100)$$

5.5.3.2. Peso. El peso de la semilla es un valor muy útil para el cálculo de la cantidad de ésta, que se debe utilizar en la siembra de semilleros, o en la siembra directa en el terreno. Este valor es afectado por el tamaño de la semilla, así como por su contenido de humedad, y por la proporción de semillas llenas (no vanas) en el lote. En el presente estudio se utilizó el peso en gramos de 1000 semillas. Para calcular el número de semillas por kilo, se realizó la siguiente operación.

$$\text{Peso de semillas por kilo} = \text{Peso (g) de 1000 semillas} / 1000$$

5.5.3.3. Contenido de humedad. El contenido de humedad de las semillas se expresa como el porcentaje de su peso previo al secado o con respecto al peso seco. El contenido de humedad (CH), base anhidrate las semillas de *G. coulteri* se determinó introduciéndolas en una estufa de secado a una temperatura de 100 °C, hasta obtener peso constante y luego se aplicó la siguiente fórmula (Bonner, 1993).

$$\text{CH} = \frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} (100)$$

5.5.3.4. Imbibición acumulada. Se pesaron 150 semillas secas, las cuales posteriormente fueron puestas en agua. El peso se registró cada hora hasta que se estabilizó la absorción de agua por las semillas.

5.5.3.5. Autenticidad y origen. A partir de los árboles muestreados se recolectó material con flores y fruto para su herborización. Este material se identificó como *G. coulteri* mediante comparación con ejemplares de la misma especie depositados en el herbario de la Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Las muestras de semillas utilizadas en todos los experimentos fueron recolectadas in situ. Siempre se revisaron para determinar que correspondieran a la especie indicada en la etiqueta. Todas las semillas utilizadas en este trabajo se colectaron directamente de frutos aun colgantes en tres áreas diferentes (ver cuadro 2)

5.5.3.6. Germinación y energía germinativa. Una forma tradicional de expresar el vigor en semillas forestales ha sido la “energía germinativa”, término que ha sido definido y medido de varias maneras. La definición más común indica que corresponde al porcentaje de germinación en la tasa pico de germinación. Otra expresión de tasa de germinación que ha sido utilizada, es el número de días requeridos para que ocurra determinada proporción de la germinación total. Para los fines del presente trabajo la energía germinativa fue considerada como el número de días requerido para alcanzar el 70% de germinación. Los datos sobre la germinación se registraron diariamente durante seis días consecutivos.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Descripción morfológica de la semilla del guayacán *G. coulteri*

El fruto de *G. coulteri* es una cápsula que mide de 1 a 1.5 cm de diámetro, su consistencia es coriácea y su superficie presenta un fino indumento. Inicialmente es verde y cuando madura su color es ocre. El número de carpelos y lóculos que la integran puede variar de 1 a 5 por posible aborto de los mismos durante el desarrollo del fruto (ver figura 2). La placentación es apical según Moreno (1998), dentro de cada lóbulo separados por tabiques está un óvulo anátropo suspendido de la placenta la cual se ubica cerca de la cicatriz estigmática del fruto (figura 3a). El fruto maduro y completamente seco se abre mediante dehiscencia longitudinal loculicida (figura 3b), cuando esto ocurre las semillas maduras provistas de una sarcotesta rojo brillante quedan expuestas y colgantes. Los principales dispersores de estas semillas en las zonas de estudio son los cenizales según versión de los pobladores de las comunidades visitadas.



Figura 2. El fruto maduro de *G. coulteri* A. Gray. es una cápsula que produce de 1 a 5 semillas.

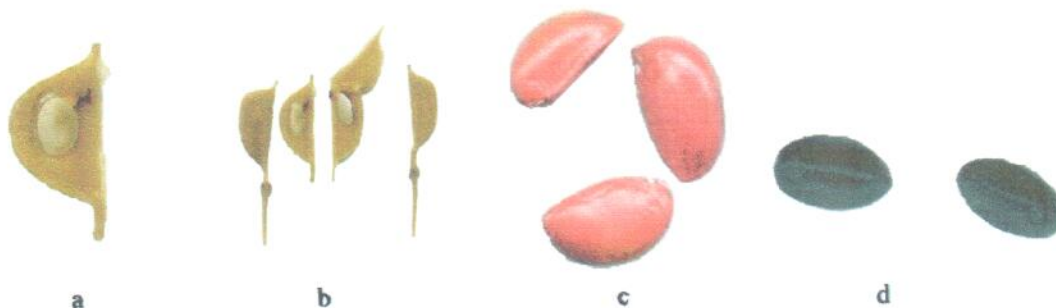


Figura 3. Semillas inmaduras y maduras de *G. coulteri* contenidas en el fruto. El óvulo está suspendido de la placenta con el polo calazal hacia la base del fruto. (a) y (b). La semilla completamente desarrollada está provista de una sarcotesta testá carnosa de color rojo brillante. Obsérvese la cicatriz del hilo de color blanco. (c), En la semilla desprovista de sarcotesta, la rafe deja su huella que queda como un surco sobre la cubierta seminal de color oscuro (d).

6.2. Descripción morfológica de la semilla

6.2.1. Medidas de la semilla. La semilla de *G. coulteri* mide de 9 a 10 mm de largo, y de 5 a 6 mm de ancho y altura y tiene un peso aproximado de .22 g.

6.2.2. La cubierta seminal. Está formada por una sarcotesta carnosa de 1-2 mm de grosor, de color rojo brillante en su superficie y amarillo mate en su parte interna (figura 3c). Esta sarcotesta contiene el haz vascular de la rafe y ha sido confundida por arilo por Niembro (2000) y Pennington y Sarukhan (1998). Sin embargo Corner (1976) en la descripción que hace de las semillas de la familia Zygophyllaceae indica que son exariladas, i.e. carentes de arilo, por lo que en este trabajo se apoya este mismo punto de vista. En la sarcotesta es posible observar la cicatriz ovoide, hundida y de color blanco del hilo, sin embargo el micrópilo ya no es visible por estar completamente ocluido. La sarcotesta cubre totalmente la cubierta seminal interna (figura 4) que es de consistencia dura, color castaño oscuro a negro mate y está foveolada. Los pequeños agujeros que se observan corresponden a los canalículos formados por las invaginaciones de esta cubierta

hacia el endospermo (figura 4). Al quitar la sarcotesta sobre el lado ventral queda un surco longitudinal que corresponde a la cicatriz de la rafe contenida en la sarcotesta (figura 3d). Con la prueba del lugol se detectó la presencia de almidón en la sarcotesta (en los estratos más externos se observaron granos de almidón más abundantes), solamente el haz vascular de la rafe se tiñó de rojo con la prueba del floroglucinol + HCl debido a la presencia de lignina en las paredes celulares de los elementos traqueales. Este resultado coincide con lo reportado por Engler (1931), citado por Corner (1976) quien señala que la cubierta interna de *Guaiacum* no está lignificada. Las paredes celulares de la cubierta seminal se tiñeron de rosa con la prueba del APS-reactivo de Schiff. No se detectó la presencia de taninos.

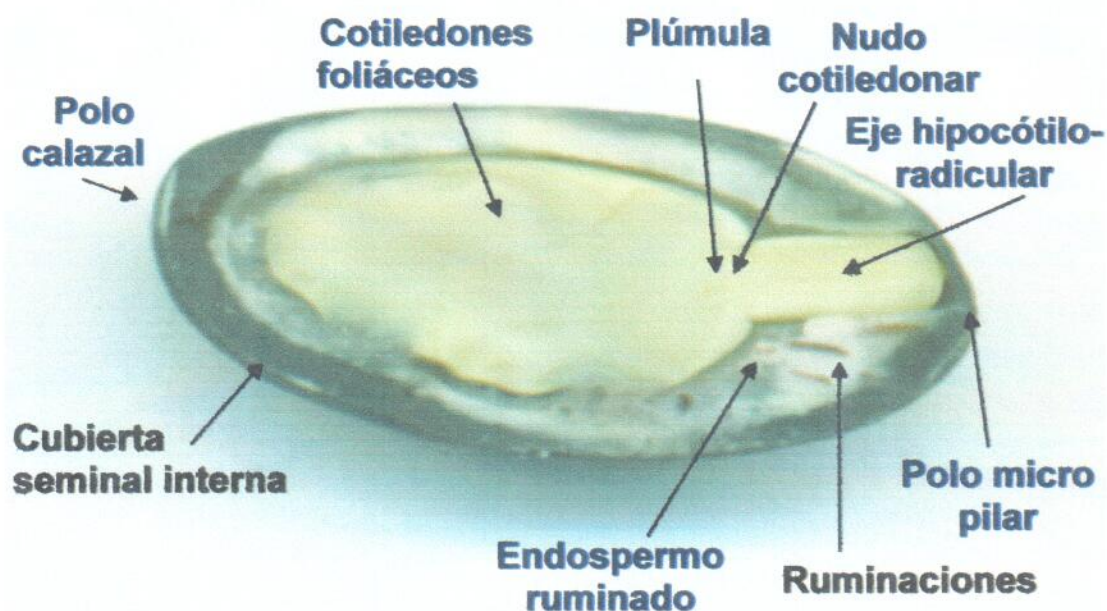


Figura 4. Corte mediano de la semilla húmeda y madura de *G. coulteri*, a la que se le ha retirado la cubierta seminal externa (sarcotesta).

6.2.3. El embrión. Es recto, de color amarillo mostaza y se ubica en la parte central de la semilla (figura 4); la plúmula es apenas notoria; los cotiledones son delgados y foliáceos; lo cual es común que ocurra en semillas de *Zigophyllaceae* que presentan endospermo (Corner, 1976). El eje hipocótilo-radicular es recto, grueso y cilíndrico. El meristemo apical de la radícula está dirigido hacia el polo micropilar (figura 4).

6.2.4. El endospermo. El endospermo es ruminado, de color blanco grisáceo, abundante y rodea completamente el embrión. En la semilla seca es duro y cuando la semilla ha sido remojada durante varias horas las ruminaciones se hacen más conspicuas (figura 4) y el endospermo que está en contacto con el embrión adquiere una consistencia viscosa. En las pruebas de tinción con rojo O de aceite se observó la presencia de lípidos (gotitas de grasa) y de polisacáridos (granos de almidón y paredes celulares engrosadas) con la prueba de APS-reactivo de Schiff.

Cuadro 3. Resultado de las tinciones en semillas de *G. coulteri*

COLORANTE HISTOQUIMICO	COLORACIÓN	TIPO DE REACCIÓN	SUSTANCIA DETECTADA	ESTRUCTURA
Vainillina	Rojo brillante	-	Taninos	No se detectaron
Floroglucinol + HCl	Rojo oscuro	-	lignina	No se detectó
I ₂ I K (Lugol)	Azul violeta	+	Almidones	Sarcotesta
Rojo O aceite	Rojo-oscuro	+	Lípidos	Endospermo
Ácido peryódico-reactivo de Schiff (APS)	Rosa mexicano	+	Polisacaridos	Endospermo

En la disección de ovarios de flores procedentes de la zona de El Fuerte (zona 1), se observo un arreglo de 6 óvulos por loculo en la parte superior del ovario, según Moreno (1984), este tipo de placentación es apical, cabe señalar que el ovario tiene 5 lóculos. En disección de ovarios de la zona de Culiacán (zona 3), el numero de óvulos por lóculo varió de 8 a 12, por lo que podría ser un indicio para diferenciar especies dentro del género *Guaiacum*. Para esto sería importante hacer muestreos muy detallados en poblaciones de *Guaiacum* en plena floración, para observar el número de óvulos por loculo de poblaciones aisladas en diferentes municipios del estado de Sinaloa, esto debido a que hay confusión entre *G. coulteri* y *G. palmeri*, y no hay características bien marcadas para diferenciar una especie de otra, por lo que esta posible variable podría ser un carácter diagnóstico a nivel de especie. El fruto es una cápsula que produce de 1 a 5 semillas, lo más común es ver frutos produciendo de 2 a 3 semillas cada una encerrada dentro de un solo carpelo, lo cual nos indica que el aborto de óvulos es alto. Sería interesante establecer un estudio para determinar las causas de este fenómeno.

En la actualidad el estudio de las semillas de plantas tropicales y subtropicales se ha quedado muy rezagado (Vázquez, 1997), es por esta razón que los datos aquí presentados pretenden contribuir al conocimiento de la semilla de *G. coulteri*, sobre todo si tomamos en cuenta que en la mayoría de los trabajos en donde se describe a esta semilla se señala que la cubierta carnosa es un arilo, o bien solo se menciona su presencia sin especificar a que estructura corresponde. En este trabajo se tomó como evidencia principal la presencia del haz vascular de la rafe dentro de los tejidos de la cubierta carnosa para afirmar que se trata de una sarcotesta.

En el corte medio de las de semillas de *G. coulteri*, se observó que hacia la zona micropilar el endospermo se hace muy delgado, lo que dio pauta al tratamiento de raspado estratégico en la zona mencionada con el fin de estimular la germinación. Cabe mencionar que se observó la presencia de un opérculo en esta misma zona.

6.3. Estudio del efecto del aislamiento geográfico en la germinación *G. coulteri*

Cuadro 4. Valores promedio de 5 características relacionadas con la capacidad reproductiva de 3 poblaciones naturales de *G. coulteri*.

Lote	Municipio	DAAMC	% G	L. E. H-R.	D. E-H-R.	P. S	L. S	AL. S	AN. S
1	Altata	7498	45	1.10	0.11	3.23	0.84	0.51	0.49
2	Altata	28	60	1.37	0.15	2.98	0.86	0.49	0.44
3	Altata	28	80	2.17	0.20	4.47	1.01	0.55	0.53
4	Culiacán	18	90	3.10	0.24	4.46	0.88	0.51	0.60
5	Culiacán	18	100	3.36	0.27	4.42	1.07	0.52	0.50
6	El Fuerte	103	100	3.91	0.26	3.53	0.89	0.47	0.49
7	El Fuerte	86	95	2.47	0.24	3.97	0.94	0.53	0.50
8	El Fuerte	86	100	3.23	0.25	3.5	0.86	0.49	0.51
9	El Fuerte	331	95	2.85	0.25	4.01	0.91	0.63	0.47
10	El Fuerte	108	75	1.68	0.21	5.75	1.09	0.54	0.56
11	El Fuerte	108	35	1.02	0.12	4.85	0.94	0.57	0.56
12	El Fuerte	6	60	1.12	0.15	5.52	1.01	0.57	0.57
13	El Fuerte	6	15	0.44	0.04	4	0.92	0.50	0.52
14	El Fuerte	391	30	0.76	0.10	4.34	1.04	0.50	0.50
15	El Fuerte	45	25	0.39	0.07	3.96	0.87	0.51	0.55
16	El Fuerte	45	65	1.56	0.20	4.76	0.93	0.54	0.54
17	El Fuerte	142	75	1.55	0.40	4.05	0.86	0.53	0.54

DAAMC. diámetro al árbol más cercano, % G. porcentaje de germinación, L. E. H-R.

largo del eje hipocótilo-radicular, D. E. H-R. diámetro del eje hipocótilo-radicular, P. S.

peso de semilla, L. S. largo de semilla, A. L. altura de semilla, AN. S. ancho de semilla.



Figura 5. Semillas germinadas en papel destaza después de 6 días en cámara de ambiente, observando diferente longitud del eje hipocótilo-radicular.

Cuadro 5. Coeficiente de correlación Pearson (r). Variables consideradas en la germinación de semillas de tres poblaciones naturales de *G. coulteri*

	DAA MC*	G (%)	L. E. H-R.	L.	L. S/L E. H- R.	AN.	L/AN.	AL.	P.	D. E. H-R.	L E. H-R/D E. H-R	PS/L E- H-R
DAAMC*												
G (%)	-0.20											
L.												
E. H-R.	-0.18	0.93*										
L.	-0.29	0.04	-0.01									
L. S/L E. H- R.	-0.00	-0.89*	-0.81*	-0.02								
AN.	-0.24	-0.14	-0.16	0.18	0.17							
L/AN.	-0.08	0.15	0.13	0.68*	-0.16	-0.58*						
AL.	-0.11	0.08	-0.06	0.27	-0.13	0.14	0.11					
P.	-0.35	-0.04	-0.15	0.74*	0.03	0.69*	0.08	0.48				
D. E. H-R.	-0.23	0.82*	0.69*	-0.04	-0.76*	0.00	-0.03	0.11	0.00			
L E. H-R/D E. H-R	0.04	0.52*	0.74*	-0.06	-0.45	-0.27	0.16	-0.23	-0.32	0.09		
PS/L E- H-R	-0.05	-0.88*	-0.81*	0.02	0.98*	0.28	-0.20	-0.05	0.15	-0.74*	-0.49	
%G/P	-0.08	0.93*	0.91*	-0.22	-0.84*	-0.38	0.11	-0.10	-0.39	0.74*	0.59*	-0.87*

* Correlaciones más significativas en variables de *G. coulteri*.

DAAMC. distancia al árbol más cercano, G (%) porcentaje de germinación, L. E. H-R. largo del eje hipocótilo-radicular, L. largo de semilla, L. S/L. E. H-R. índice de largo de semilla entre largo del eje hipocótilo-radicular. A. ancho de semilla, L/AN índice de largo de semilla entre ancho de semilla, AL. Altura de semilla, P. peso de semilla, D. E. H-R. diámetro del eje hipocótilo-radicular, L. E. H-R/D. E. H-R. índice de largo del eje hipocótilo-radicular entre diámetro del eje hipocótilo-radicular, PS/L. E. H-R. índice de peso de semilla entre largo del eje hipocótilo-radicular. %G/P índice de porcentaje de germinación entre peso.

Cuadro 6. Coeficiente de r^2 entre variables de *G. coulteri*

	DAAM C*	G (%)	L. E. H- R.	L.	L/L E. H- R.	AN.	L/AN.	AL.	P.	D. E. H- R.	L E. H- R/D E. H-R	PS/L E-, H- R
DAAMC*												
G (%)	0.041											
L.												
E. H-R.	0.035	0.868										
L.	0.090	0.002	0.000									
L/L E. H-R.	0.000	0.800	0.661	0.001								
AN.	0.059	0.020	0.028	0.033	0.031							
L/AN.	0.007	0.025	0.018	0.467	0.028	0.348						
AL.	0.013	0.007	0.005	0.075	0.017	0.022	0.012					
P.	0.123	0.002	0.025	0.557	0.001	0.484	0.008	0.240				
D. E. H-R.	0.056	0.677	0.480	0.002	0.588	0.000	0.001	0.012	0.000			
L E. H-R/D E. H-R	0.002	0.274	0.556	0.005	0.206	0.077	0.028	0.056	0.102	0.009		
PS/L E-, H-R	0.003	0.778	0.669	0.000	0.979	0.082	0.044	0.003	0.025	0.552	0.249	
%G/P	0.007	0.866	0.829	0.050	0.711	0.151	0.014	0.011	0.153	0.555	0.351	0.759

DAAMC. distancia al árbol más cercano, G (%) porcentaje de germinación, L. E. H-R. largo del eje hipocótilo-radicular, L. largo de semilla, L. S./L. E. H-R índice de largo de semilla entre largo del eje hipocótilo-radicular. A. ancho de semilla, L/AN índice de largo de semilla entre ancho de semilla, AL. Altura de semilla, P. peso de semilla, D. E. H-R. diámetro del eje hipocótilo-radicular, L. E. H-R/D. E. H-R. índice de largo del eje hipocótilo-radicular entre diámetro del eje hipocótilo-radicular, PS/LR. índice de peso de semilla entre largo del eje hipocótilo-radicular. %G/P índice de porcentaje de germinación entre peso.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, la hipótesis planteada se rechazó, por lo que se concluye que la distancia no influyó en la germinación de la semilla y tampoco en las siguientes variables: el largo del eje hipocótilo-radicular, largo de la semilla, diámetro del eje hipocótilo-radicular, ancho de la semilla, altura de la semilla, peso de la semilla, largo entre ancho de la semilla, largo de la semilla entre diámetro de la semilla, % de germinación entre peso de la semilla.

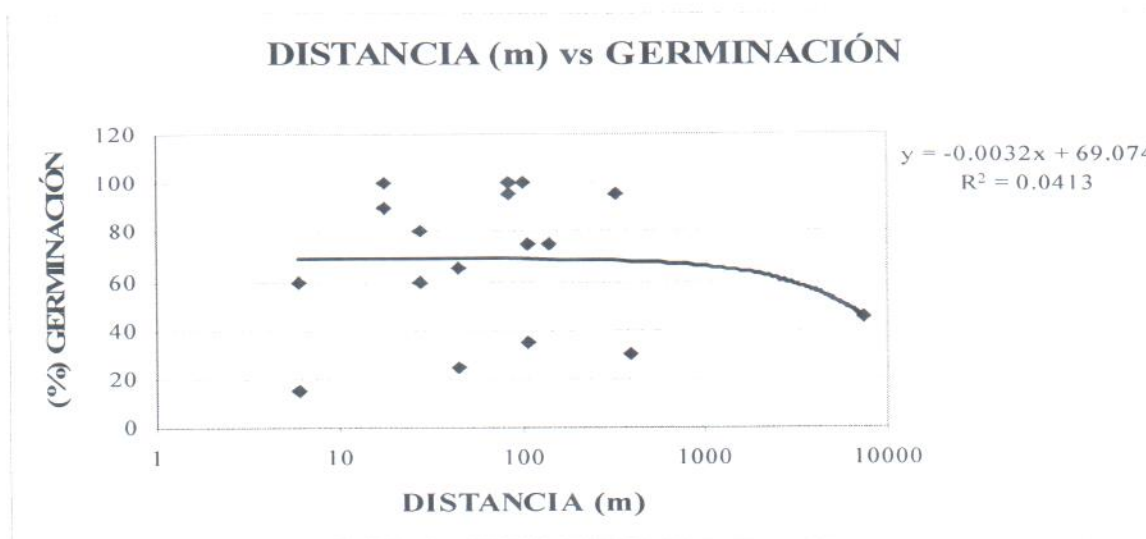


Figura 6. Distancia vs Germinación. El coeficiente de determinación señala el porcentaje de la variación de la variable dependiente que es explicado por la variable independiente, en este caso la germinación explica el 4 % de la variación de distancia al árbol más cercano, lo que no es representativo o no influye la distancia con el nivel de germinación presentado. En el cuadro superior se observa el resto de las variables con respecto a la distancia, que no fue significativo, esto puede deberse al bajo número de muestras.

El 86% de germinación es explicada por la longitud del eje hipocótilo-radicular, por lo que se estableció un óptimo de 2 a 3 cm para considerar que la semilla está germinada, el 67% del diámetro del eje hipocótilo-radicular explica la germinación de *G. coulteri*. El 55% explica que las semillas entre más pesadas son más largas.

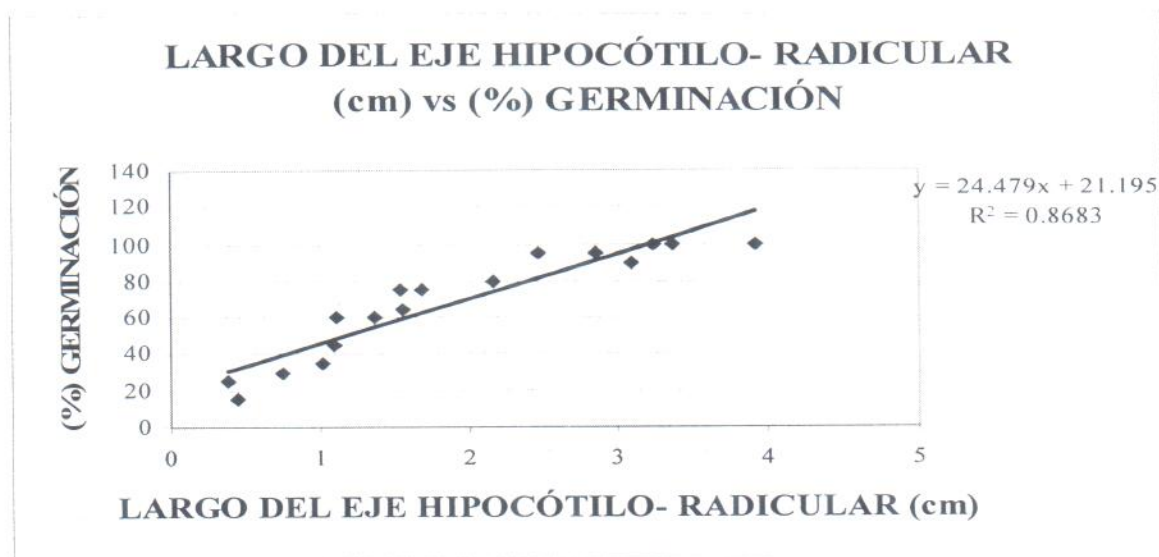


Figura 7. Largo del eje hipocótilo-radicular vs % Germinación. La germinación esta altamente relacionada con el largo del eje hipocótilo-radicular, en este caso el 86 % de la variación del porcentaje de la germinación es explicado por la longitud del eje hipocótilo-radicular. Se observa que a mayor largo del eje hipocótilo-radicular, se afianza más la germinación por lote o semilla, en este caso se puede decir que de 2 a 4 cm de largo del eje hipocótilo-radicular la semilla se considera germinada en *G. coulteri*.

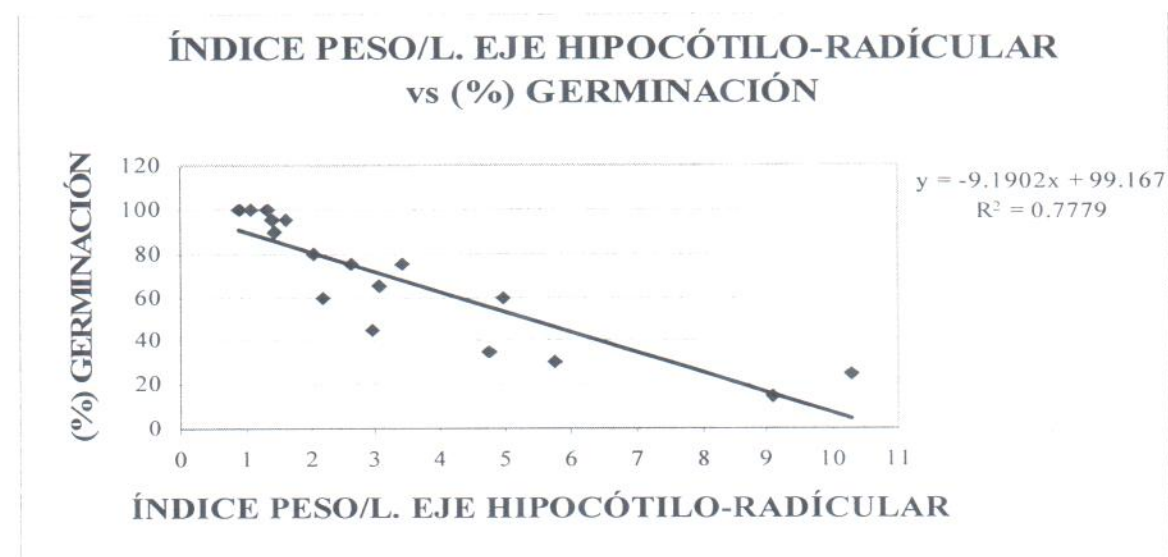


Figura 8. Índice peso/L, del eje hipocótilo-radicular vs % Germinación. El índice de peso de semilla entre el largo del eje hipocótilo-radicular explica el 77 % de la germinación,

en este caso la relación es negativa, cuando una variable aumenta la otra disminuye, el índice es un promedio del peso entre el largo del eje hipocótilo-radicular que influye en el porcentaje de germinación.

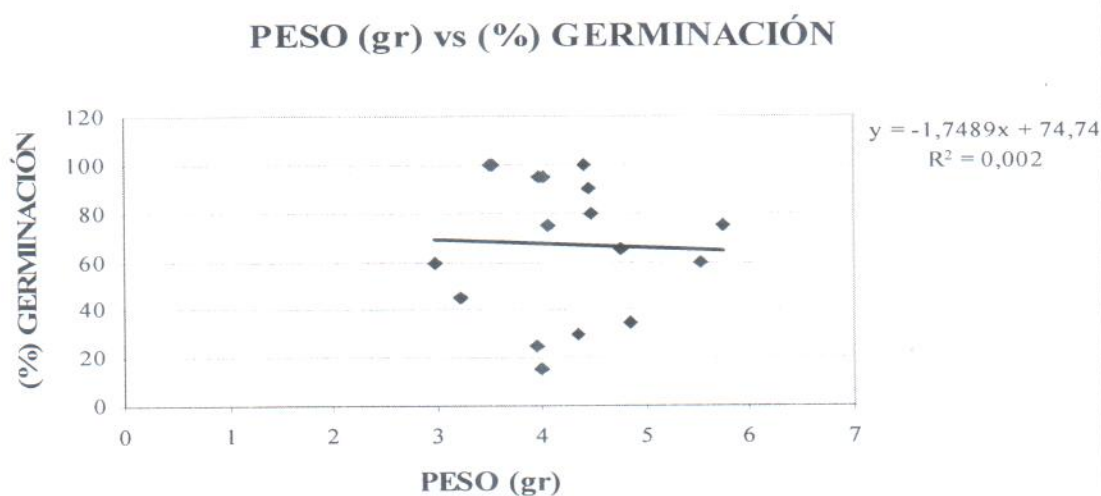


Figura 9. Peso de semilla Vs % Germinación. De acuerdo a Thomson, (1979), el tamaño (que es un parámetro de la calidad física de la semilla) es el carácter más influenciado por el ambiente. Valle (1994) citando a Abdullahi y Vanderlip, (1979), mencionan que dentro de un lote, la semilla grande produce las plántulas más vigorosas; entre lotes, las semillas grandes tienen más vigor, y entre especies, hay una pequeña relación entre tamaño y vigor. En semilla de *G. coulteri*, el largo y peso están estrechamente correlacionados, el 55 % del peso está explicado por el largo de la semilla. De acuerdo a la gráfica en este caso el peso no está relacionado con la germinación así, mostrado por la r^2 .002 que es baja, una explicación de esto puede ser el bajo número de muestras.

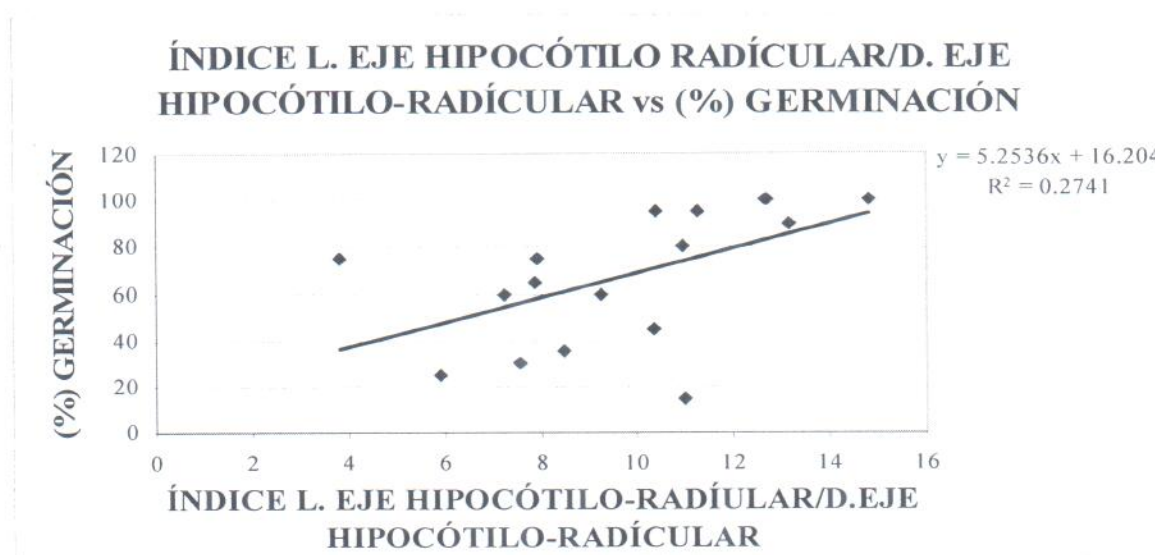


Figura 10. Índice de longitud del eje hipocótilo-radicular /Diámetro del eje hipocótilo-radicular vs (%) Germinación. El índice del largo del eje hipocótilo-radicular entre el diámetro del eje hipocótilo-radicular no es significativa, no se ajusta en la grafica superior, por lo que no existe correlación significativa con el porcentaje de germinación.

Cuadro 7. Variables más significativas en el análisis multivariado.

MODEL	Coeff var	Root MSE	Dist mean	F value	Pr > F	R-Square
GERM=L. E. H-R	15.92424	10.72544	67.35294	98.93	<.0001	0.8683
GERM=D. E. H-R	24.93132	16.79198	67.35294	31.48	<.0001	0.6768
GERM=L. E. H-R/D. E. H-R	37.39159	25.18434	67.35294	5.66	0.0310	0.2741
GERM=PES/L. E. H-R	20.68564	13.93239	67.35294	52.52	<.0001	0.7779
GERM=GER/PES	16.05508	10.81357	67.35294	97.08	<.0001	0.8661

GERM. (%) de germinación, **L. E. H-R.** Largo del eje hipocótilo-radicular **D. E. H-R.** Diámetro del eje hipocótilo-radicular, **L. E. H-R/D. E. H-R.** Índice del largo del eje hipocótilo-radicular entre diámetro del eje hipocótilo-radicular. **PES/L. E. H-R.** Índice del peso de la semilla entre diámetro del eje hipocótilo-radicular, **GER/PES.** Índice de (%) de germinación entre peso.

El porcentaje de germinación se analizo mediante un análisis multivariado relacionando el porcentaje de germinación con el largo del eje hipocótilo-radicular, diámetro del eje hipocótilo-radicular, el índice largo del eje hipocótilo-radicular entre el diámetro del eje

hipocótilo-radicular, el índice peso entre largo del eje hipocótilo-radicular, índice de (%) germinación entre peso.

Cuadro 8. Estadísticas de la regresión.

Coeficiente de correlación múltiple	0.979
Coeficiente de determinación R^2	0.958
R^2 ajustado	0.939
Error típico	7.057
Observaciones	17

Cuadro 9 Análisis de varianza

	<i>G. L.</i>	Promedios de los cuadrados			<i>Valor crítico de F</i>
		<i>SC</i>	2511.60	<i>F</i>	3.2564E-07
Regresión	5	12558.02	49.81	50.43	<i>Valor crítico de F</i>
Residuos	11	547.86	Prom, Cuadr	<i>F</i>	3.2564E-07
Total	16	13105.88	2511.60	50.43	<i>Valor crítico de F</i>

Cuadro 10. Resultados del análisis multivariado.

Intercepción	PROBABILIDAD	SUPERIOR 95%	INFERIOR 95.0%
	0.0310	105.4534763	6.136689743
LARGO DE RADICULA	0.0113	40.1732003	6.41667558
DIÁMETRO DEL EJE H-R	0.8048	119.4170329	-150.4672536
LARGO DEL EJE H-R/DIÁMETRO DEL EJE H-R	0.1097	0.917781707	-7.843316966
PESOS/LARGO DEL EJE H-R	0.1655	1.001969982	-5.161658286
%GER/PESO	0.3140	2.161151475	-0.760526647

De acuerdo al análisis multivariado con un 95% de probabilidad se puede afirmar que la germinación está relacionada con el largo del eje hipocótilo-radicular, Para el caso de *G. coulteri* el óptimo de largo del eje hipocótilo-radicular es de 2 a 4 cm, el diámetro del eje hipocótilo-radicular no se correlacionó con el largo del eje hipocótilo-radicular, pero un diámetro mayor implica más vigor para el investigador o viverista.

6.4. Tratamientos pregerminativos en la semilla de *G. coulteri*

Dentro del estudio pregerminativo se realizó el análisis de semillas de *G. coulteri* y los resultados son los siguientes:

6.4.1. Análisis de pureza. La pureza fue igual a 99.87 %, las impurezas fueron hojas y ramillas molidas, entre otras. Se estimó el peso de 1000 semillas y la estimación de 4453 semillas por kilo;

6.4.2. Peso de la semilla. El peso de 1 000 semillas de *G. coulteri* A. Gray, fue de 224.52 g. Para obtener el número de semillas por kilo fue igual a $1\ 000/224.52 = 4453.94$

6.4.3. Autenticidad y origen. La semilla debe corresponder al nombre y en algunos casos se le deben comparar con una muestra conocida para evaluar su identidad botánica. En este caso se verificó la autenticidad y origen, consultando bibliografía botánica especializada, así como comparación de muestras en herbarios Botánicos.

6.4.4. Contenido de Humedad. El contenido de humedad de esta semilla fue de 10.16%, con base anhidra al año de almacenamiento.

6.4.5. Imbibición acumulada. El peso de 150 semillas fue de 33.40 gr, al cabo de 45 horas el peso se estabilizó con un registro de 50.54 gr.

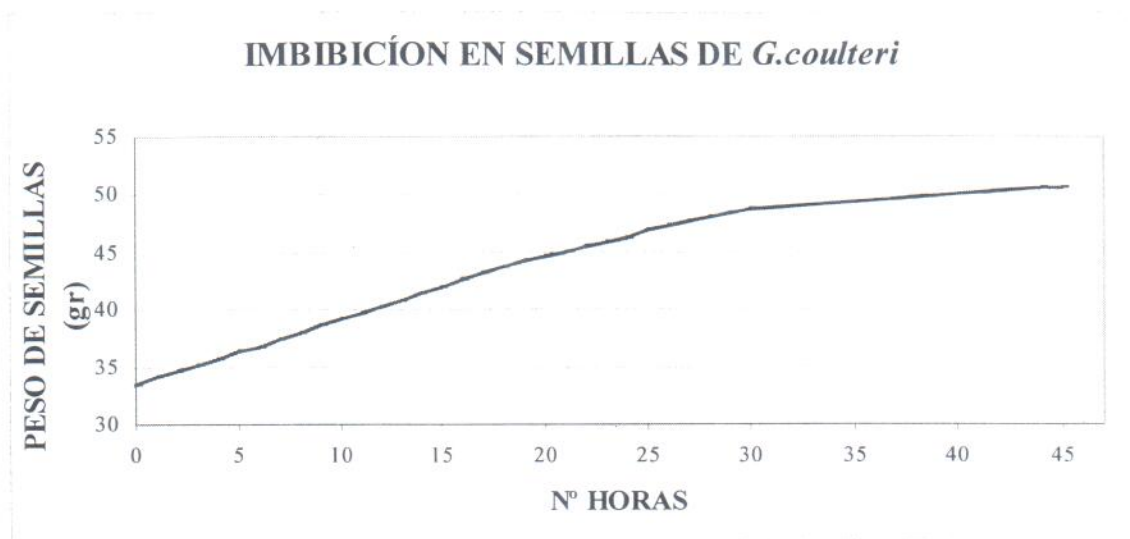


Figura 11. Imbibición en semillas de *G. coulteri*. El registro de imbibición acumulada se llevó a cabo a las 45 horas de puestas las semillas en agua.

6.4.6. Germinación. La germinación se registró durante 7 días (después ya no hubo germinación) con 7 tratamientos pregerminativos y un testigo. El porcentaje máximo registrado al séptimo día, fue del 70% con el tratamiento de ácido sulfúrico (H_2SO_4) por 8 minutos, en segundo lugar fue del 60% con el tratamiento de semillas remojadas por 18 horas en agua oxigenada (H_2O_2) y luego raspadas en la zona micropilar, en tercer lugar el tratamiento, embebidas por 18 horas y luego raspadas en la zona del opérculo con el 32%.

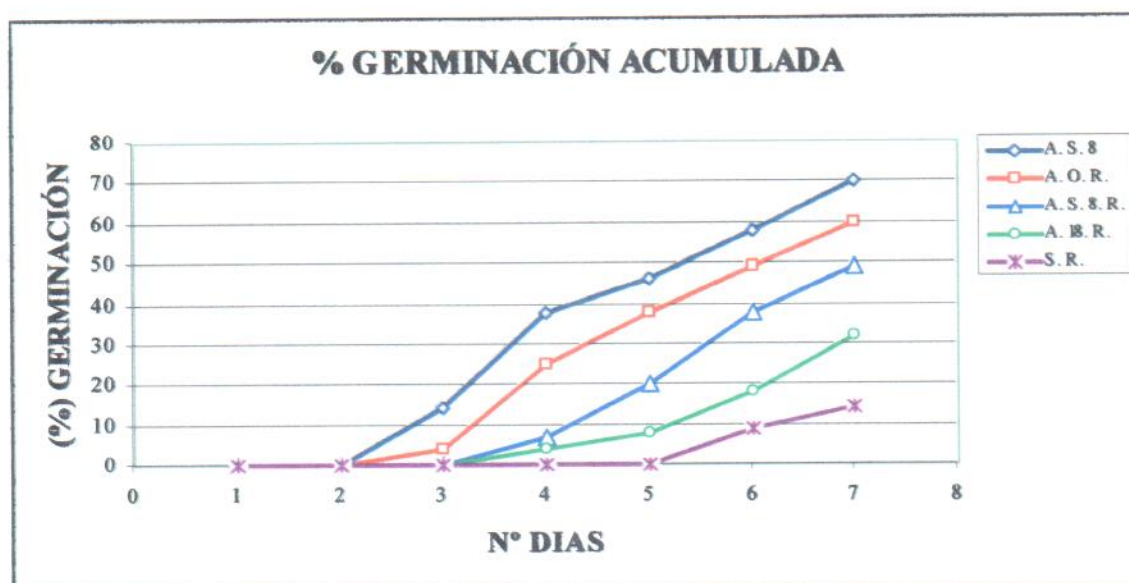


Figura 12. El porcentaje de germinación acumulada en semilla de *G. coulteri*. El mejor tratamiento es representado por la serie A.S.8., que es con ácido sulfúrico por 8 minutos, y la A.O.R. que son embebidas en agua oxigenada por 18 horas y luego raspadas en la zona del micrópilo.

6.4.7. Análisis de varianza. El análisis de varianza sólo indica si el efecto de algunos de los tratamientos es diferente de los demás, se tiene que $(Pr > F) < \alpha$, se concluye que con una confiabilidad del 95% al menos un tratamiento es diferente.

Cuadro 11. Tabla de análisis de varianza.

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	1404.500000	140.450000	19.88	<.0001
Error	21	148.375000	7.065476		
Corrected total	31	1552.875000			
R-Square		Coeff Var.	Root MSE	PRODUC Mean	
0.904451		36.98221	Root MSE	7.187500	

Para saber conocer cuál de los tratamientos es el mejor, se realizó la prueba de comparaciones múltiples de medias. La prueba de comparación utilizada fue la de Tukey.

Prueba de comparación de medias, en este análisis se utilizó la prueba de medias de Tukey.

Cuadro 12. En la tabla de comparación de medias.

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	17.500	4	7 (Remojadas en ácido sulfúrico por ocho minutos).
A	15.000	4	5 (Remojadas en agua oxigenada por 18 horas y raspadas en la zona del opérculo).
B A	12.250	4	8 (Puestas en ácido sulfúrico por 8 minutos y raspadas).
B C	8.000	4	4 (Remojadas en agua por 18 horas y raspadas)
D C	3.500	4	6 (Raspadas).
D	0.500	4	3 (Remojadas en agua).
D	0.500	4	2 (Remojadas en agua oxigenada por 18 horas).
D	0.250	4	1 (Testigo).

Los dos primeros tratamientos (7 y 5) si fueron superiores al resto (8, 4, 6, 3, 2, 1).

7. CONCLUSIONES

El poco conocimiento de la estructura morfológica y anatómica de muchas semillas forestales, explica en parte que el nivel de reforestación por este medio sea una alternativa poco utilizada. Las especies forestales que se encuentran dentro de la Norma ecológica 059 con estatus de protección especial o en peligro de extinción, deberían tener prioridad en cuanto a su estudio morfo-anatómico con el fin de superar el empirismo en cuanto a su propagación por medio de semilla.

La medición del eje hipocótilo-radicular en lugar de medir solamente la radícula seguramente influyó en el rechazo de la hipótesis planteada en cuanto al efecto del aislamiento geográfico en relación a la variable “largo de la radícula”, por lo que sería necesario repetir esta parte del experimento.

El tratamiento escarificador mediante el remojo en ácido sulfúrico por 8 minutos, fue el que mejor resultado presento, alcanzando el 70% de la germinación en semillas de *G. coulteri* a los 7 días de tratadas. En segundo lugar fue el tratamiento de imbibición por 18 horas con agua oxigenada y luego raspadas en la zona micropilar, alcanzando el 60% de germinación a los 7 días de tratadas. En cuanto al testigo, solo germinó 1 semilla.

Estos resultados se obtuvieron con semillas de 1 año de almacenamiento a temperatura ambiente, por lo que se concluye que al año se puede encontrar hasta un 70% de germinación con la escarificación de ácido sulfúrico por 8 minutos de remojo. El tratamiento de imbibición de la semilla con agua oxigenada y su posterior raspado en la

zona micrópilar es otra opción para promover la germinación.

Al realizar los tratamientos germinativos, se recomienda utilizar un buen fungicida en el control de hongos para semillas de *Guaiacum coulteri*, debido a que el endospermo a los 5 días se torna viscoso y da las condiciones propicias al crecimiento de hongos que merman el proceso de germinación.

El raspado en la zona del micrópilo debe ser cuidadoso para no dañar la radícula, de ser así podría influir en la calidad y establecimiento de la plántula en campo.

La escarificación en ácido sulfúrico se puede hacer en un rango de 5 a 10 minutos, con un óptimo de 8, no más de 10 debido a que el embrión es dañado y la germinación no se activa.

En cuanto a la hipótesis planteada de que la semilla presenta dormancia física, esta se aceptó debido a que con tratamientos escarificatorios la semilla germinó, contrario a los resultados que presentó el testigo.

BIBLIOGRAFÍA

Baskin C. C., Baskin. J. M. 1998. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. 1a. ed. Ecademic Pres. E. U. A.. 666 pp.

Besnier R. F. 1989. Semillas, Biología y Tecnología. 1a. ed. Mundi-prensa. España. 637 pp.

Bonner F. T. 1993. Análisis de Semillas Forestales. Traducción libre del ingles por Dante Arturo Rodríguez Trejo. División de Ciencias Forestales. UACH. México. 53 pp.

Camacho M. F. 1994. Dormición de Semillas, causas y tratamientos. 1a. ed. Trillas. México. 125 pp.

CITES. 2004. Examen de las propuestas de enmienda a los apéndices I y II
<http://www.cites.org/esp/cop/12/prop/S12-P54.pdf>

Corner, E.J.H. 1976. The seeds of Dicotyledons. Vols. I y II. Cambridge University Press. Cambridge 556 pp.

Cuadra. C. 1993. Germinación, Latencia y Dormición de las Semillas. Rivadeneira. 3:23.

Daniel W. T., Helms. J. A. 1982. Principios de Silvicultura. Traducido por Ramón Elizondo Mata. 2a. ed. Mc Graw – Hill. México. 492 pp.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. 1994. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-059-ECOL. México. 10:110 pp.

Department of agriculture, U. S. A. 1965. Semillas: Manual para el análisis de su calidad. 1a. ed. Herrero. México. D.F. 514 pp.

Devlin R. M. 1976. Fisiología vegetal. 3a. ed. Omega. Barcelona. 517 pp.

Duffus. C., Slaungher. C. 1985. Las semillas y sus usos. 1a. ed. A. G. T. . México. 188 pp.

Enciclopedia de los Municipios de México. 1988. Los Municipios de Sinaloa. 1a. ed. Nación. México. 104 pp.

Francis K. 2004. *Guaiacum officinale* L. Guayacán, lignumvitae www.Fs.fed.us/global/iitf/Guaicumofficinale.pdf. In. 9/9/2004.

Grieve.M.1995..<http://www.botanical.com/botanical/mgmh/g/guaiac42.html&prev=/search%3Fq%3Dguaiacum%26hl%3Des%26lr%3D%26sa%3DG>

Hartman, H. T. D. E. Kester. 1990. Propagación de plantas. 3a. ed. Continental, México. 760 pp.

Internacional Seed testing association. 1999. Internacional Rules For Seed Testing. Seed Sci. & Technol. 27, Supplement. Zurich, Switzerland. 333 pp.

Jiménez, Q. 1999. <http://darnis.inbio.ac.cr/FMPro?-DB=UBIpub.fp3&-lay=WebAll&-Format=/ubi/detail.html&-Op=bw&id=2176&-Find>. In. 15/09/2004.

López H., A. 2002. Manual de prácticas de laboratorio de producción y tecnología de semillas. Departamento de Fitotecnia; Laboratorio de semillas, UACH, Chapingo, México. 27 pp.

Mápula L. M. 2004. Indicadores reproductivos para poblaciones naturales de *Pseudotsuga* CARR. en México. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 46 pp.

Martínez M. 1979. Catalogo de nombres vulgares y científicos de plantas Mexicanas. 1a. ed. Fondo de Cultura Económica. México. 1218 pp.

Moreno. N. P. 1984. Glosario Botánico Ilustrado. 1a. ed. Continental. México. 299 pp.

Niembro R. A. 1985. La importancia del conocimiento y la necesidad de investigación en semillas forestales para el establecimiento de plantaciones en México. División de Ciencias Forestales. UACH. México. 24: 1-2.

Niembro R. A. 1986a. Árboles y arbustos de México. 1a. ed. Limusa. México. 206 pp. |

Niembro R. A. 1986b. Semillas de árboles y arbustos. 1a. ed. Limusa. México. 285 pp.

Niembro R. A. 2000. Estructura de diásporas de árboles y arbustos nativos e introducidos comunes en la Republica Mexicana. Tesis como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias. División de Ciencias Forestales. UACH, México. 382 pp.

Pennington, T, D., Sarukhán. J. 1998. Árboles tropicales de México. 2a. ed. Fondo de Cultura Económica. Instituto de Ecología, Universidad Nacional de México. 521 pp.

Perry. D, A. 1981. Handbook of Vigour Test Methods. Publisher by: The Internacional Seed Testing Association. Switzerland. 72 pp.

Reglas Internacionales para el Ensayo de Semillas. 1963. Traductor. Centro Regional de Ayuda Técnica (RTAC), Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), Departamento de Estado de Gobierno de los Estados Unidos de América. 3a. ed. Rebase, México. 128 pp.

Rolston P. M. 1978. Water impermeable seed dormancy. In: The botanical Review. 44: 365-396.

Saccheri, I., M. Kuussaari, M. Kankare, P. 1998. Inbreeding and extinction in a butterfly metapopulation. Nature 392: 491-494.

Valle de la P. A. R. 1994. Relación entre tamaño y vigor de semilla de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Especialista en Fitotecnia. UACH. México. 53 pp.

Yazdani, R. 1991. The impact of self-pollination on production of sound selfed seeds in: Biochemical markers in the population genetics of forest trees. S. Fineschi, F. Cannata and H. H. Hattemer (Eds). SPB Academic Publishing bv. The Netherlands pp: 143-147.

Thomson. J, R. 1979. Introducción a la Tecnología de las semilla. 1a. ed. Acriba, España. 301 pp.

Vázquez Y. C., O. A. 1997. La reproducción de las plantas: Semillas y meristemas. 1 a. ed. Fondo de Cultura Económica. México. 167 pp.