

188
2ej.



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

EFFECTO DEL TRATAMIENTO CON AGUA CALIENTE, TEMPERATURAS CONSTANTES Y OSCILANTES SOBRE LA GERMINACION DE SEMILLAS DE TAMARINDO (Tamarindus indica L.)

T E S I S

Que para obtener el Título de

B I O L O G O

p r e s e n t a

ARACELI SOSA CASTILLO

Director Ing. Francisco Camacho Morfin



México, D. F.

1987



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	Pág.
I. RESUMEN -----	1
II. INTRODUCCION-----	2
A. Hipótesis -----	3
B. Objetivos -----	3
III. ANTECEDENTES -----	4
A. Aspectos generales de <u>Tamarindus indica</u> L.	
1. Clasificación taxonómica y nombres comunes -----	4
2. Origen de la especie -----	4
3. Características morfológicas -----	5
4. Distribución en México y ecología -----	6
5. Fenología -----	8
6. Usos -----	8
7. Propagación -----	9
B. Generalidades de germinación	
1. Proceso germinativo -----	10
2. Latencia -----	12
C. Aspectos sobre semillas con cubiertas impermeables al -- agua. -----	15
1. Factores ambientales que afectan la impermeabilidad -	19
a) Humedad atmosférica-----	19
b) Temperatura-----	23
2. Tratamientos para eliminar la impermeabilidad -----	23
IV. MATERIALES Y METODO -----	28
A. Efecto del agua caliente sobre la germinación -----	28
B. Efecto de temperaturas constantes y oscilantes sobre la germinación -----	31
C. Variables de respuesta -----	31
V. ANALISIS ESTADISTICO APLICADO A RESULTADOS -----	32

VI.	RESULTADOS -----	36
	A. Efecto del agua caliente sobre la germinación -----	36
	B. Efecto de temperaturas constantes y oscilantes sobre la germinación-----	39
VII.	DISCUSION -----	44
VIII.	CONCLUSIONES -----	48
IX.	BIBLIOGRAFIA -----	50

I. RESUMEN

A fin de reducir la impermeabilidad y estimular la germinación de las semillas de Tamarindus indica L, se probó el efecto de la inmersión en agua caliente a temperaturas de 75°C y 92°C por períodos de 0,5, 1, 2, 4 y 8 minutos, como testigos se efectuaron siembras de semillas sin tratamiento y semillas escarificadas. Aunque la inmersión de semillas a 75°C durante 8 minutos incrementó significativamente el porcentaje de ruptura de la testa y de germinación, no igualo el porcentaje obtenido por las semillas escarificadas manualmente; lo mismo sucedió con temperatura de 92°C y 0,5 minutos de exposición, períodos mayores de inmersión con esta temperatura resultarán letales para la semilla.

En un experimento separado se estudió el efecto de la temperatura de incubación sobre la integridad de la testa de semillas de T. indica. - Tanto con la incubación a temperaturas constantes de 16°C como de 26°C al término de 22 días se tuvieron semillas que no se habían embebido, en cambio con 36°C en 15 días se tuvo casi un 100% de semillas con la testa rota de lo que germinó aproximadamente un 70%; con 45°C se tuvo el mismo porcentaje de ruptura, pero el porcentaje de germinación fue nulo, pues todas las semillas murieron.

En esta parte se evaluaron también regímenes térmicos oscilantes, los tratamientos probados consistieron en mantener las semillas ocho horas de cada día a 16, 36 y 45°C respectivamente y 16 horas a una temperatura de 26°C.

En general, los tratamientos con temperatura oscilante no incrementaron el porcentaje de ruptura de testa y de germinación a excepción del régimen de 45 - 26°C que produjo casi un 100% de ruptura de testa y una germinación similar a la obtenida con 36°C.

Se concluyó que las semillas del tamarindo pertenecen al tipo de semillas de leguminosas que requieren cierta temperatura para permeabilizar los tegumentos y propiciar su ruptura y que a diferencia de otras especies no es necesario dejarlas largos períodos de incubación.

II. INTRODUCCION.

Desde épocas muy remotas el hombre ha utilizado los diferentes recursos naturales; entre ellos con cierta preferencia el de las plantas, que han sido una fuente alimenticia básica, que en el transcurso del tiempo determinó marcadamente dependencia del hombre por los vegetales. Así que para mejorar su aprovechamiento como factor alimentario, ecológico, medicinal, etc., las plantas han sido objeto de diversos estudios para aumentar y acelerar su propagación y mejorar las especies.

La familia de las leguminosas es un grupo bastante amplio dentro del reino vegetal; incluye especies como Tamarindus indica L. comúnmente denominado "tamarindo", planta de gran relevancia dentro de la industria, la medicina, la alimentación e incluso como planta de ornato, la que sin embargo, al igual que muchas especies no se le ha prestado la atención debida, siendo por ello pocos los estudios realizados hasta la fecha, que den noticias y bases para obtener rendimientos máximos de frutos.

En el ciclo biológico de Tamarindus indica se presentan ciertos fenómenos que impiden una continuidad satisfactoria, ocurre que en el proceso de propagación un número considerable de semillas no germinan o la germinación es lenta, En estas situaciones radica el interés del presente trabajo en el que se pretende llegar a determinar condiciones óptimas para que las semillas de tamarindo germinen en algun lapso razonable, igualmente óptimo, para lo cual se propone la aplicación de algunos tratamientos que se caractericen por conllevar simplicidad, gasto mínimo de tiempo, recursos económicos y resultados significativamente satisfactorios.

A. Hipótesis

Si el tamarindo presenta semillas impermeables y requiere de una temperatura mayor de 30°C para eliminar la impermeabilidad, entonces - al aplicar tratamientos con agua a 75°C y 92°C o incubar las semillas a temperaturas constantes y oscilantes el porcentaje de ruptura de testa y germinación se incrementará.

B. Objetivos

Determinar el tratamiento óptimo con agua caliente, en cuanto a temperatura y tiempo de inmersión requeridos para eliminar la impermeabilidad en semillas de tamarindo, sin que pierda su viabilidad.

Establecer si la temperatura de incubación, en semillas de tamarindo, determinan la necesidad de aplicar un tratamiento para eliminar la latencia.

III, ANTECEDENTES

A. Aspectos generales de Tamarindus indica L.

1. Clasificación taxonómica y nombres comunes

Reino	Vegetal
División	Embriophyta Siphonogama
Clase	Angiospermae
Orden	Dicotiledonea
Familia	Leguminosae
Subfamilia	Caesalpinioideae
Género	<u>Tamarindus</u>
Especie	<u>T. indica</u>

En la mayor parte del mundo, la planta de T. indica se conoce comúnmente con el nombre de tamarindo (21). En la región donde floreció - la cultura maya aún se conoce como Pachuhuc, Pachuhul y Pah'ch'uuhul - (18).

2. Origen de la especie.

Martínez (16), Standley and Steyermark (28) y Wilsie (34) mencionan que el tamarindo es de origen Asiático, seguramente de la India y - que actualmente es cultivado en la mayoría de las regiones tropicales.

Otros autores (21) creen que el tamarindo es nativo de la sabana - árida de Africa tropical y que a través del tiempo la planta fue introducida en Asia por comerciantes árabes. Por su agradable fruto ácido fue - aceptado especialmente en la India, posteriormente se extendió al Nuevo Mundo entre los años 1700 y 1800, probablemente llevado con los primeros embarques de esclavos del Oeste de Africa.

3. Características morfológicas.

De acuerdo con la información tomada de Standley and Steyermark (28) y la publicación de CONAFRUT (5), *T. indica* es árbol que presenta copa compacta de forma redondeada; en algunos individuos la altura llega a ser hasta de 20 m; su tronco, de diámetro de un metro o más y su corteza generalmente ruda tiene tonalidades que van desde grises hasta oscuros (tono tostado o café); las hojas de color verde pálido son alternas paripinadas, con longitud de 7 cm y folíolos opuestos de 10 a 20 pares. Estos son casi sésiles de forma oblonga y longitud fluctuante entre 12 y 25 mm; su ápice puede ser redondeado o retuso, en tanto que la base es obtusa o subtruncada (fig. 1).

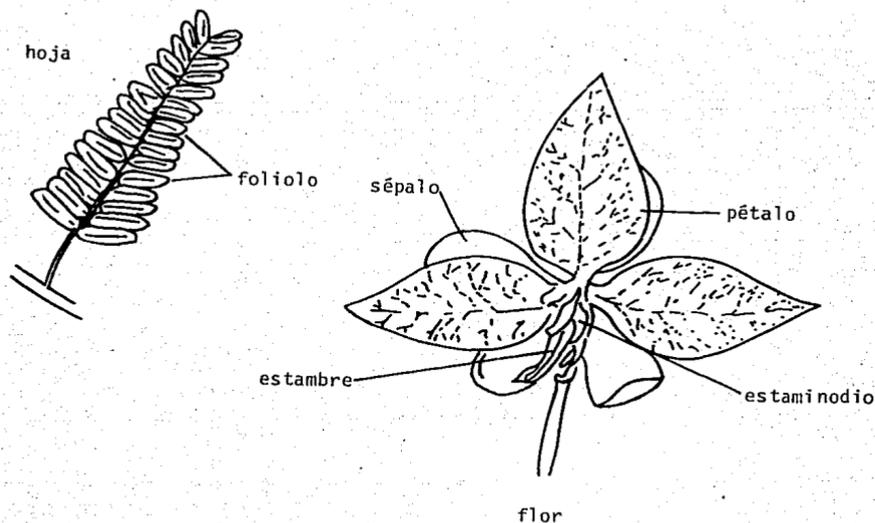


Fig. 1. Características morfológicas de la hoja y flor del tamarindo (13).

Las flores, dispuestas a lo largo de un eje conforman inflorescencias racemosas colgantes de 5 a 10 cm de longitud, en las partes terminales de las ramas; las flores miden 2,2 cm de diámetro y presentan 2 bractas típicamente en forma de canoa midiendo aproximadamente 8 cm de longitud. El cáliz, formado por sépalos más cortos que los pétalos (Fig. 1), miden de 8 a 10 mm de longitud. La corola está constituida por 3 pétalos, nacientes en el extremo de la flor de forma ovada, de color amarillo pálido, matizados de rojo y con una longitud de 0,5 a 1 cm. El androceo está representado por 3 estambres fértiles, alternados con estaminodios; los filamentos miden 1 cm de longitud y se encuentran unidos desde la base hasta la mitad; las anteras son de color café rojizo y su dehiscencia es longitudinal. El gineceo es de forma oblicua de color verde y más largo que los estambres.

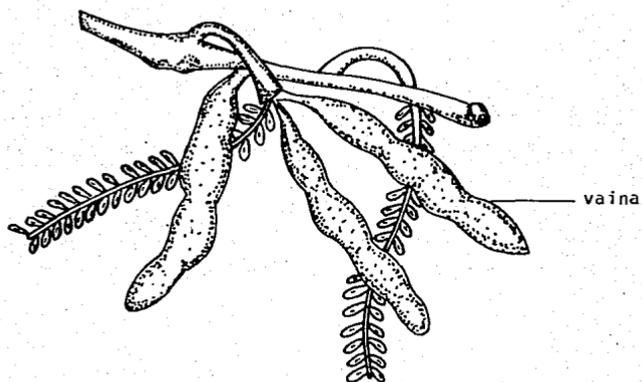
Los frutos indehiscentes, son vainas oblongas o lineares (fig. 2a), algo comprimidas y comunmente curvadas, midiendo entre 5 y 10 cm de longitud por 2 cm de ancho. El fruto está formado por el pericarpio, a su vez dividido en epicarpio (cáscara de color café brillante), mesocarpio (pulpa) y semilla.

Las semillas ovadas y comprimidas, miden 1 cm de longitud; su color es café lustroso y pueden alojarse desde 1 a 10 en cada vaina (fig. 2 b); están unidas entre sí por fibras que se encuentran en la pulpa que las rodea, su cubierta o testa es dura; carece de endospermo como reserva nutritiva, pero presenta un par de cotiledones, la radícula es pequeña y recta.

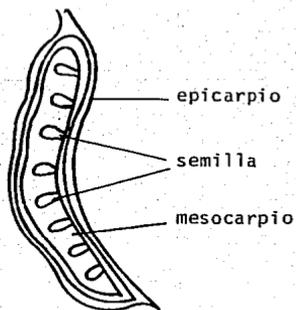
4. Distribución y ecología.

En la República Mexicana el tamarindo se encuentra en los Estados de Baja California, Colima, Chiapas, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San -- Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán.

El tamarindo crece mejor en lugares con clima cálido, semiseco con



a) Fruto del tamarindo



b) Corte longitudinal de una vaina de tamarindo

Fig. 2. Características morfológicas del fruto del tamarindo (4 y 13).

invierno y primavera secas, sin estación invernal definida, aunque también crece en climas cálidos y húmedos, sin estación seca bien definida y sin estación invernal. Algunos individuos pueden prosperar en terrenos profundos con suelos bien drenados, de textura arcillo-arenoso, con pH de 6.5 a 7.5, en cambio otras crecen en suelos relativamente pobres y calcáreos siempre y cuando halla una buena fertilización y se cuente con agua para riego en períodos secos (4 y 5).

5. Fenología.

El tamarindo tiene desarrollo lento: comunmente crecen entre 0,5 y 0,8 m por año, la maduración completa la alcanzan después de 10 a 12 años desde la germinación de la semilla y permanecen productivos por más de 200 años (21). El período de maduración de los frutos varia dependiendo del clima, sin embargo se considera que esta comprendido de abril a junio (5).

El fruto del tamarindo presenta un crecimiento sigmoide (13), dividido en 3 partes:

1. Premaduración: período inicial de rápido crecimiento en tamaño y peso del pericarpio y semilla. El agua contribuye a aumentar el peso del fruto, así como un gran número de compuestos acumulados (azúcares, ácidos, iones, alcoholes, compuestos fenólicos, aminoácidos, proteínas, vitaminas, alcaloides, etc.) en las vacuolas.
2. Maduración: la velocidad de crecimiento va disminuyendo marcadamente, ocurre un endurecimiento rápido de la cáscara, mientras el embrión se desarrolla y alcanza su máximo tamaño.
3. Sazonamiento: ocurre el engrosamiento final del fruto.

6. Usos.

El árbol de tamarindo es de gran utilidad en diferentes partes. En algunos países como Guatemala y la India es plantado como árbol de ornato en parques y avenidas (21 y 28). En otros países como Puerto Rico, -

Costa Rica, México, Estados Unidos y algunos de Europa, se utiliza la pulpa del fruto para la elaboración doméstica de "agua fresca" y en plan industrial para la elaboración de pastas para concentrados utilizables en la preparación de bebidas "refrescantes" y para la preparación de jaleas y conservas. La pulpa se utiliza como purgante y su cocimiento se usa para contrarrestar la fiebre (16). El fruto sobremaduro se utiliza para limpiar objetos de cobre y latón (5).

La pulpa constituye cerca del 40% de la vaina y su composición química consiste de aproximadamente 20.5% de agua, proteína 3.1%, grasa 0.4%, carbohidrato 70.8%, fibra 3.0% y ceniza 2.1%; su acidez se debe a la presencia de ácido tartárico, acético y cítrico (5 y 16).

Las hojas jóvenes y flores son comestibles como ensaladas, sin la necesidad de vinagre, ya que éstas son ácidas; la semilla también se utiliza como alimento, tostadas, remojadas y cocidas para quitar la cáscara -- (16), su contenido proporciona 63% de almidón, 16% de proteína y 5.5% de aceite (5).

En la India la madera se emplea para fabricar papel (16), así mismo se utiliza en la construcción o para preparar carbón de pólvora (16).

7. Propagación.

La propagación de los tamarindos puede ser vegetativa o por semillas, por la demanda comercial existe un marcado interés en la propagación vegetativa sobre todo de criollos seleccionados, siendo el método más eficiente y más adecuado el injerto de tipo enchapado lateral (24), aunque también se ha recomendado el de aproximación (5). De esta manera se aseguran las características de la planta madre y un aumento de precocidad pues entre los 4 y 5 años se inicia la producción; para la propagación por semillas se recomienda remojarlas durante 4 o 5 días, colocarlas después en las camas de semilleros a una profundidad de 5 cm y cuando las plántulas alcancen alturas de 60 a 70 cm transplantarlas a una distancia de 10 cm entre sí (16). También se sugiere la desinfección de la semilla

antes de su estratificación, operación consistente en depositar capas alternas de semillas y arena fina en un lugar sombreado, manteniendo la humedad necesaria hasta el inicio de la germinación, la que se manifiesta cuando la semilla se ha hinchado y emerge la radícula (5).

Vega y col. (30), realizaron estudios para determinar la duración de la viabilidad de las semillas de especies forestales tropicales, en -- Tamarindus indica se encontró que se presentaba 50% de germinación, que el lapso para iniciar la emergencia de la radícula era de diez días y que la viabilidad dura 10 meses.

De lo anterior se puede concluir que las semillas de tamarindo:

1. Necesitan un tratamiento previo para desencadenar la germinación.
2. Como ocurre en diferentes leguminosas, presentan dificultad para embeberse, lo que induce un problemas en la germinación. (27).

B. Generalidades de germinación.

1. Proceso germinativo.

El crecimiento de las plantas no es un proceso continuo, casi todas experimentan en algun momento de su ciclo vital períodos durante los cuales su crecimiento queda suspendido, o por lo menos retardado, que se observa también en las semillas y yemas (6). En las semillas generalmente el crecimiento del embrión se suspende y continua detenido en latencia o dormición después de la dispersión, ya sea por falta de condiciones ambientales adecuadas para reanudarlo o por un mecanismo fisiológico que lo impiden,

Morfológicamente, la germinación es la transformación del embrión a una plantula; fisiológicamente, es el incremento del metabolismo y continuación del crecimiento, así como la transcripción del genoma en la semilla; durante estos procesos ocurren eventos bioquímicos que determinan la diferenciación secuencial de procesos oxidativos y sintéticos de la -- planta, entonces, esencialmente la germinación es la capacidad que tiene

un embrión para continuar las actividades del crecimiento (14), que fuera iniciado por estimulaciones de factores del medio; factores tan simples como la disponibilidad de agua y oxígeno o tan complejos como la temperatura, luz y sustancias alimenticias o de otro orden que lo promueven (19).

Así pues, siendo el desarrollo del embrión durante la germinación dependiente de la movilización del alimento de reserva almidón almacenado en el endospermo o cotiledones, la ocurrencia de un proceso enzimático de lisis del almidón, que resulta en la aparición de azúcares sencillos, que en alguna forma son transportados hasta el embrión aportándole energía que habrá de determinar el crecimiento y desarrollo (16).

Por otra parte, se conoce de ciertas condiciones inherentes a las semillas para que la germinación pueda realizarse, según Hartmann y Kester (12) es necesario que: 1) la semilla sea viable, es decir que el embrión este vivo y sea capaz de crecer; 2) que hayan condiciones de temperatura, aereación y humedad adecuadas para el proceso y 3) que se eliminen los bloqueos fisiológicos presentes en las semillas, que impiden el desarrollo del embrión.

En varias semillas se ha visto que durante la germinación se llevan a cabo una serie de eventos, Jann and Amen (14) los resumen así:

- 1) Imbibición de semillas.
- 2) Desaminación de los aminoácidos del eje embrionario.
- 3) Utilización de los monómeros a partir de los aminoácidos en la glucólisis.
- 4) Reducción de los nucleótidos de piridina mediante la vía de las pentosas fosfatadas y de la glicólisis.
- 5) Oxidación de los nucleótidos de piridina mediante el sistema nitrato reductasa con la formación de ATP.
- 6) Asimilación de los monómeros para la elongación celular, inducido por las auxinas.
- 7) Hidrólisis de los polímeros del tejido nutritivo, inducido por -

Las giberelinas,

- 8) Translocación de los monómeros de los tejidos nutritivos al eje embrionario, en este momento el metabolismo de la semilla pasa de una fase anaeróbica a una fase aeróbica.
- 9) Aumento de la actividad del ciclo de Krebs.
- 10) Incremento de la transcripción del ADN en el embrión.
- 11) Síntesis de nuevas proteínas en el embrión.
- 12) Replicación de ADN y división celular en el embrión, inducido por las citocininas.
- 13) Incremento de la respiración y síntesis de nuevas proteínas en el embrión y finalmente iniciación del crecimiento visible, con la emisión de la radícula.

Generalmente, la germinación comienza cuando las semillas absorben agua y culmina cuando el tejido nutritivo se ha terminado, para entonces la plántula es capaz de producir sus propios alimentos que le permitan continuar el crecimiento y desarrollo. Para fines prácticos se dice que la semilla ha germinado cuando emite la radícula en siembras de laboratorio o cuando emerge del suelo (12).

2. Latencia.

Durante la germinación ocurre una serie de cambios que van acompañados por divisiones, agrandamiento de las células y aumento de la actividad metabólica, en algunas semillas estos eventos se suspenden bajo ciertas condiciones impuestas por el medio, las que resultan no ser favorables y determinan la existencia de lo que se conoce como "semillas quiescentes", en otros casos hay un bloqueo de estas actividades aunque haya condiciones favorables al crecimiento y germinación, por lo que las semillas permanecen en un estado de reposo o latencia (6 y 14). En algunas especies los tegumentos actúan como una barrera mecánica que impide el crecimiento del embrión, o bien son impermeable al agua o gases (19). Semillas de otras especies permanecen en latencia por factores internos como es el incremento de sustancias inhibitoras y la disminución de promovedores, ambos controlan ácidos nucleicos y síntesis de enzimas (6, 14

y 19).

Se ha señalado (12 y 13). que en las poblaciones de semillas hay latencia cuando en el proceso de germinación ocurre una o más de las siguientes situaciones: 1) germinación incompleta porque una parte de las semillas continúan mucho tiempo incolúmes aun cuando se embeban, incluso algunas ni siquiera se embeben aunque dispongan de agua; 2) germinación lenta, debido a que las semillas individualmente o en conjunto tardan en manifestarse activas y 3) la capacidad de germinación es extremadamente sensible al ambiente, puesto que para realizarse deben haber condiciones determinadas de iluminación temperatura o composición de la atmósfera, entre otros factores.

Las causas que originan la latencia varían con la especie, lugar o clima (19), de aquí que se haya propuesto la siguiente clasificación para la latencia (23):

Tipo A Latencia Exógena,

Reside en las cubiertas expuestas directamente al ambiente y tiene tres grupos:

- 1) Latencia física: se refiere a la impermeabilidad de la testa al agua - se resuelve mecánicamente por la ruptura de la cubierta o testa. Ejemplos de especies con latencia física son: Prosopis juliflora (Mezquite) y Leucaena leucocephala (guaje) (25).
- 2) Latencia química: implica la presencia de inhibidores en la cubierta externa. Se rompe por eliminación, mediante solventes o reactivos químicos bloqueadores o transformadores, pérdida de la cubierta o lavado de inhibidores con agua como sucede en Schinus molle (pirul) - (2).
- 3) Latencia mecánica: consiste en resistencia mecánica que oponen las cubiertas de las semillas. Debilitandola mediante reblandecedor se facilita el crecimiento y camino del embrión, Ejemplo de especies con latencia mecánica es Eleagnus angustifolia (23).

Tipo B Latencia Endogena.

La inhibición reside en el embrión y/o cubiertas que están en contacto con él puede ser:

- 1) Latencia morfológica: implica la presencia de embriones rudimentarios - que requieren ser puestos en condiciones de temperatura y humedad optimas para su crecimiento. Especies con este tipo de latencia son Elaeis guineensis (palma de aceite), semillas de plantas de los géneros Anona y Magnolia (25).
- 2) Latencia fisiológica: ocurre cuando el metabolismo se encuentra bloqueado y la permeabilidad de las cubiertas a los gases es baja. Debido a - que hay grandes diferencias en grados fisiológicos se propone la siguiente subdivisión.
 - a) Fisiología leve: las semillas pueden romper su latencia sometiendo- las a cierta cantidad de luz y temperatura, almacenamiento en seco, abrasión a las cubiertas, reguladores del crecimiento o un período - de enfriamiento en húmedo menor a 30 días. Tratamientos que pueden - aplicarse a Impatiens balsamina (23) por presentar este tipo de la- tencia.
 - b) Fisiología intermedia: para que las semillas germinen, es necesario un período de enfriamiento entre 30 y 90 días, el cual puede acor- - tarse mediante otros tratamientos concurrentes. Manifiesta dificul- - tades para germinar las semillas de Acer negundo (23).
 - c) Fisiología profunda: la germinación se estimula con sólo un prolon- gado enfriamiento en húmedo. Un ejemplo de especies de semillas con este tipo de latencia es Acer tataricum (23).
- 3) Latencia morfofisiológica: se manifiesta cuando los embriones son ru- - dimentarios y hay latencia fisiológica que afecta tanto a la germina- - ción como el crecimiento de las plántulas. Se elimina mediante una - combinación de enfriamiento en húmedo con estratificación cálida. De - este tipo de latencia tiene varios grupos que abarcan incluso la inhi- - bición específica del crecimiento del tallo y la raíz, así como exi- - gencias de frío para que se desarrolle el embrión, esto puede consul-

tarse en Hartman y Kester (12) y Nikolaeva (22 y 23). En el presente - trabajo conviene concentrarse en lo que presenta el tamarindo.

C. Aspectos sobre semillas con cubiertas impermeables al agua.

La latencia en semillas con cubiertas impermeables al agua corresponden al tipo de latencia física muchas plantas producen semillas que - presentan esta dificultad, la familia de las leguminosas es la que posee la mayor cantidad de especies con tales características (Harrington, 1916 cit. 6).

La latencia determinada por condiciones físicas de las semillas se manifiesta al final de las pruebas de germinación, cuando ha quedado una cantidad importante de semillas que no cambiaron de volumen ni se ablandaron, las que se califican como semillas duras e impermeables (27).

Para algunas especies se considera al pericarpio la barrera que impide la penetración de agua necesaria para que se inicie el proceso de germinación (12), en otras especies se determinó que este tejido no es responsable de la latencia física pues es permeable al agua (22); finalmente en la revisión de Rolston (27) no se menciona que la latencia física sea resultado de la impermeabilidad del pericarpio al agua. Estos autores concuerdan en que se debe a la presencia de una testa impermeable.

Es interesante observar que la anatomía de esa cubierta es similar en especies cuyas semillas presentan latencia física. De acuerdo con Rolston (27) consiste en las siguientes capas (fig. 3) partiendo del exterior al interior de la semilla:

- a) Capa externa formada por una o dos cutículas en las leguminosas (en Convolvulus arvensis consta de dos capas de células epidérmicas).
- b) Células macroesclerosadas o células en empalizada de paredes engrosadas principalmente en las partes orientadas al exterior, donde se puede observar la línea de luz, la que se debe a cambios en la composición química de la pared celular y por consiguiente determina que ocurran diferencias en la refracción de la luz.

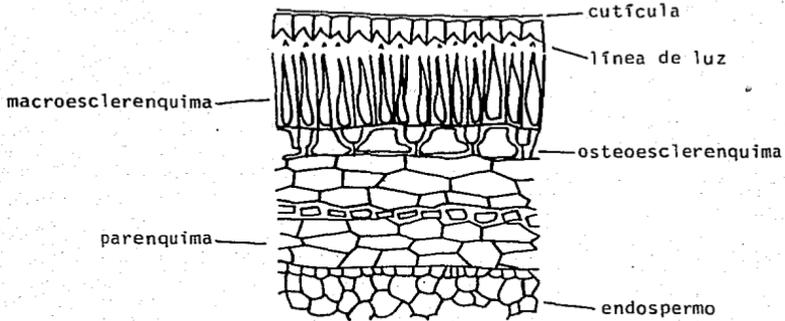


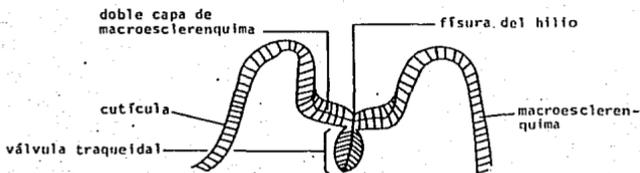
Fig. 3. Corte transversal de la testa del trébol dulce (27).

- c) Capa de células de osteoesclerenquima: la presencia de paredes gruesas destacan a estas células de las demás.
- d) Parenquima comprimido: presenta espesor hasta de 12 células; en su interior se encuentra una gran cantidad de nutrientes colapsados como en Cercis siliquastrum en que se encuentra un depósito de lípidos entre esas células y el endospermo (26) o en Trifolium sp donde se tiene un depósito de polisacáridos denominados calosa (1). La calosa es un polihólisido ($C_6H_{10}O_5$) que está formado por moléculas de glucosa, a diferencia de la celulosa forma paredes temporales en la planta que pueden "resorberse" fácilmente, esta sustancia impregna algunas membranas temporalmente y constituye el callo de los tubos cribosos (7).

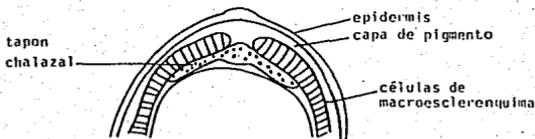
Otras estructuras que presentan las semillas impermeables:

1. Hilio: en algunas leguminosas de la subfamilia papilionoideae consiste

en una estructura de dos capas de células macrosclerosadas (fig. 4a); en el algodón y *Convolvulus arvensis* el hilo presenta una perforación chalazal, de varias decenas de micras de abertura, por donde el tejido vascular del ovario penetraba en la semilla y que posteriormente fue cerrado por células parenquimatosas (fig. 4b). Hay especies de este grupo que presentan una área cercana al hilo y opuesta al micropilo que se conoce como estrofiolo (fig. 5), las células de macrosclerenquima son más largas y delgadas que en el resto de la semilla,



a) Corte transversal del hilo de una papilionoideá.



b) Corte transversal de una semilla de algodón.

Fig. 4. Estructura de la testa de semillas impermeables (27).

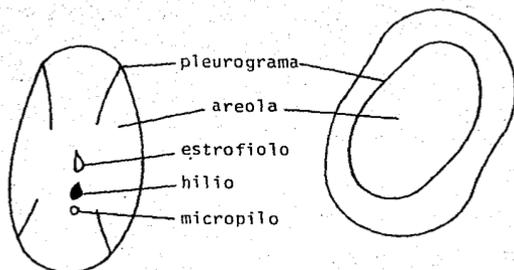


Fig. 5. Estructura externa de semillas de Acacia caven (8).

2. Micropilo: es una pequeña estructura por donde entra agua y aire a la semilla (fig. 5), en especies con latencia física se encuentra tapado por células parenquimatosas, que impiden realizar dicha función.
3. Areola (fig. 5): superficie de la testa que está delimitada por una línea delgada que se denomina pleurograma (8).

Aunque no hay acuerdo para definir cual es la capa de la testa responsable de la impermeabilidad en semillas con latencia física, se piensa (22) que puede ser la línea de luz y que la impermeabilidad permanece debajo de ella por la presencia del depósito caloso en el tejido nutritivo (1) o del depósito de lípidos sobre este (26).

Se creé que en la desecación se adquiere la impermeabilidad de las

semillas, por tanto si se cosechan antes que maduren completamente y se siembran enseguida o si se almacenan en ambiente húmedo esta no se presenta (12 y 27), en caso contrario las células del macroesclerenquima se retraen y se presionan fuertemente unas con otras hasta que la testa queda completamente compacta (Raleigh, 1930 cit, 27). También se piensa que en este período la adquisición de la latencia física es resultado de oxidación de fenoles y presencia de quinona, la que da origen al pigmento; en apoyo a esto se ha observado tener en algunas especies alguna relación directa con la impermeabilidad: a tonalidad más oscura más impermeable (19 y 27).

1. Factores ambientales que afectan la impermeabilidad.

a) Humedad atmosférica.

El factor ambiental que más influye en la formación de semillas impermeables es la humedad atmosférica, su efecto está relacionado con el contenido de humedad en las semillas; se ha observado que en lotes de semilla de frijol el 90% de éstas son impermeables cuando el contenido de humedad en el interior de las semillas es de 5.39%, mientras que con 14.11% de humedad solo hay el 1% de estas semillas. El contenido de humedad de las semillas es el principal factor que determina el grado de latencia física (27), se considera que influye en el grado de compactación de las células de macroesclerenquima, de lo que depende la mayor o menor impermeabilidad. Como ejemplo de esto, se tiene el caso de las semillas del trébol en que las fisuras abiertas en el estrófiolo se cierran cuando las semillas se almacenan con humedad relativa menor de 20%, pero permanecen abiertas cuando la humedad relativa es mayor a este valor. En ambientes secos la humedad relativa es baja e induce la compactación de las células de macroesclerenquima, generándose presiones que cierran las fisuras.

En las Papilionoideas el hilio actúa como una válvula higroscópica que se abre o cierra dependiendo del contenido de humedad de la semilla, se cree que esto se debe a diferencias en la hidratación de las capas de macroesclerenquima, Hyde (1954, cit. 6) en-

contro que si la humedad relativa es mayor el tejido higroscópico se hincha cerrando así la fisura hiliar e impidiendo la absorción de agua, en cambio, si la humedad relativa es baja, la fisura se abre permitiendo que la semilla continúe deshidratándose.

El efecto de la humedad relativa en las semillas es mayor durante la desecación de ellas; lo mismo sucede en lotes almacenados bajo condiciones ambientales, donde se presenta mayor número de semillas impermeables en meses secos con respecto a húmedos (12 y 27).

b) Temperatura,

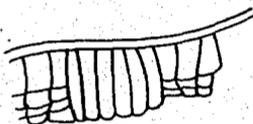
Se considera a la temperatura en factor importante que en ocasiones determina la facilidad con que se pierde la impermeabilidad de las semillas con latencia física; así, a modo de ejemplo, el porcentaje de germinación de Ochroma lagopus (cuadro 1) se incrementa por el efecto de altas temperaturas y alternancias de las mismas - (29).

Cuadro 1.- Efecto de temperaturas constantes y oscilantes en semillas de Ochroma lagopus sobre la germinación (29).

Temperaturas constantes	% Germinación	
	Luz	Oscuridad
16 °C	0	0
26 °C	3	4
36 °C	2	2
Alternancia de Temperatura		
26 °C (16 h) - 36 °C (8 h)	6	5
25 °C (20 h) - 45 °C (4 h)	63	65
Semillas escarificadas (26 °C)	85	83

Los choques térmicos ocasionan en la testa de la semilla con latencia física la formación de fisuras, por la separación de grupos de células de macroesclerenquima, a consecuencia de la expansión de partes desiguales de la testa (27).

La latencia física puede eliminarse por alteración de estructuras específicas de las semilla, Para lograrlo puede recurrirse al efecto de un impacto o calentamiento con lo que las células del estrofiolo se separan con facilidad y se rompe el tapón de la fisura chalazal (fig. 6).



a) Estrofiolo intacto



b) Fisura del estrofiolo
abierta por impacto

Fig. 6. Anatomía del estrofiolo (27)

Las semillas de Enterolobium cyclocarpum incubadas durante 7 días a 40°C puede producir la restitución de la permeabilidad, mediante la formación de fisura que se inician en el pleurograma y se prolongan en dirección opuesta a la areola o halo; en épocas secas de regiones tropicales estas semillas presentan el mismo agrietamiento, que las prepara para que en la próxima estación lluviosa estén en condiciones de germinar (10).

En algunas leguminosas el incremento de la temperatura disminuye el número de semillas impermeables, a este respecto Poptsov (1950, cit. 29) aplicó algunos regímenes térmicos constantes y oscilantes en siete especies de leguminosas; entre ellas Acacia melanoxylon, Robinia pseudoacacia y Cytisus elongatus son especies resistentes, elevar la temperatura de 6 a 30°C produjo un incremento pequeño en el número de semillas embebidas que no superó el 25%, la mayor oscilación (20-40°C) en Robinia no fue suficiente para eliminar la impermeabilidad de más de 30% de las semillas, en Acacia melanoxylon este régimen fue efectivo para que el 84% se embebieran; en cambio, de acuerdo con dichos datos en las semillas de Laburnus anagiroides y Cytisus ratisbonensis tienden a aumentar el número de semillas embebidas a medida que la temperatura se incrementa, en Albizzia julibrissin se observó la misma tendencia, solo que no fue tan consistente con las demás. En semillas de Holimodendrum argenteus, una temperatura alta (30°C) eliminó la impermeabilidad mejor que una 10°C menos y oscilar entre ambos, durante la incubación dio resultados menores a los obtenidos teniendo la temperatura alta constante (cuadro 2).

Al aplicar tratamientos con oscilación térmica se espera que el número de semillas embebidas y germinadas fuera mayor que el someterlas a temperaturas constantes, Gomes y Kretschmer (1978, cit. 15) consideran que esto es debido a que la alternancia de temperaturas funciona como agente escarificantes.

En algunas semillas como Fresia refracta no necesitan oscilaciones térmicas mayores de 20°C para eliminar la impermeabilidad, en esta especie la temperatura óptima donde hay mayor rapidez y uni

Cuadro 2.- Imbibición de semillas de algunas leguminosas a diferentes temperaturas (Poptsov, 1950 cit. 22).

Especie	Porcentajes de semillas embebidas en 260 días a una temperatura (°C) de:					
	6	12	20	20-30	30	20-40
<u>Acacia melanoxylon</u>	0	0	0	12	24	84
<u>Halimodendron argenteum</u>	24	24	52	64	100	-
<u>Robina pseudoacacia</u>	0	4	10	12	8	30
<u>Albizzia julibrissin</u>	12	4	0	84	48	94
<u>Cytisus ratisbonensis</u>	76	84	96	88	80	-
<u>C. elongatus</u>	16	16	20	20	16	-
<u>Laburum anagyroides</u>	32	64	52	68	64	-

Nota: en las variantes con temperatura oscilantes, las mayores temperaturas se mantuvieron de 6 a 8 hrs.

formidad germinativa es de 15.5-18°C (Gilbersón- Ferriss and Wilkins, 1977 cit. 15). En cambio, Gomes and Ketschmer (1978, cit. 15) encontraron que algunas leguminosas necesitan oscilaciones térmicas más elevadas para lograr lo anterior, de 30, 38 y 46°C con alternancia de 25°C.

2. Tratamiento para eliminar la impermeabilidad.

En la naturaleza la impermeabilidad de las semillas se pierden por oscilaciones de temperatura, incendios, abrasión de las semillas con las partículas del suelo y al paso por el tubo digestivo de algún animal con lo que se incrementa el porcentaje de germinación, -- Sin embargo el hombre requiere de una germinación completa y uniforme, por ello se aplican tratamientos para eliminar la impermeabilidad. Estos varían dependiendo del tamaño de la semillas y la dureza de la cubierta, de aquí que para modificar los tegumentos duros e impermeables -- hasta ablandarlos se hayan empleados métodos como el del uso de agua caliente, solventes orgánicos, escarificación química y mecánica, calen-

tamiento en seco, entre otros (9, 10, 12 y 14).

El manejo aplicativo o técnico de cualquier método debe realizar se con el mayor cuidado posible, ya que existe el peligro de dañar al embrión si el tratamiento resulta demasiado enérgico (12).

Agua caliente: este tratamiento ha dado buenos resultados pero no es recomendable para cualquier tipo de semillas (9). Así, en Acacia farnesiana no se logra incrementar el porcentaje de germinación con temperaturas inferiores a 92°C por intervalos de exposición hasta de 12 minutos. Los factores que determinan el efecto sobre la impermeabilidad y viabilidad de las semillas son la temperatura y duración del tratamiento,

La aplicación del agua caliente puede ser mediante inmersión larga o corta, la diferencia entre una condición y la otra es la temperatura y el tiempo de inmersión. En el primer caso las semillas se sumergen en agua previamente calentada hasta su punto de ebullición, así se dejan permanecer las semillas enfriándose gradualmente con el agua durante un lapso de 12 a 24 hrs. El volumen del agua que se recomienda utilizar es de cuatro a diez veces mayor que la cantidad de semillas a tratar (18). Con este tratamiento las semillas que se hinchan pueden separarse de las que permanescan impermeables y estas volverse a tratar. El lapso de inmersión permite la oportunidad de incrementar la imbibición de las semillas y que se rompa el estado de latencia, por ésto la consecuencia de plantar inmediatamente (9 y 12). En inmersiones cortas las semillas se colocan dentro de una canastilla y se sumergen en agua a una temperatura constante, de esta manera se tiene un buen control de la temperatura y el tiempo de duración del tratamiento. Como las semillas no se embeben no hay necesidad de plantarlas inmediatamente, sino que pueden permanecer almacenadas después de secarlas.

El agua caliente también se puede utilizar virtiendola directamente a las siembras (11). Las semillas se siembran en almacígos, se cubren con sacos de yute y sobre ellos se vierte bastante agua hirviendo. El método

tiene la ventaja de que esteriliza el suelo destruyendo esporas, hongos y larvas de insectos, pero tiene la desventaja de que es peligroso manejar grandes volúmenes de agua caliente y no hay control de su temperatura.

El efecto del agua caliente sobre la cubierta impermeable de las semillas es diferente en cada especie, mientras que algunas tienden a ser resistentes otras son demasiado sencibles. Clemens y col. (1977, cit. 33) aplicó tratamientos con agua a 100°C en Acacia falcata y Acacia terminalis con períodos de inmersión de 5-600 seg. para la primera y 200 seg. para la segunda; en otras semillas, específicamente Acacia suaveolens la temperatura del agua en la inmersión fue de 80°C durante 5-40 seg. se encontró que con estos tratamientos el porcentaje de imbibición fue considerablemente alto.

Estudios realizados en el INIF (3 y 25) con semillas de diferentes especies se encontró que en algunas de ellas, como Dodonaea viscosa, Enterolobium cyclocarpum y Prosopis juliflora, al ser tratadas con agua a 75°C de 3-12 minutos origina una germinación muy completa. Y al incrementar la temperatura del tratamiento, esto es, a 85°C y 92°C se observa el mismo efecto solo para la primera especie, en las otras la germinación disminuye debido a que las semillas murieron, especialmente cuando la duración del tratamiento es mayor de 3 minutos.

Escarificación química: mediante la inmersión de semillas en alguna sustancia como puede ser ácido sulfúrico, acetona, metano, etanol ó xileno, se logra el ablandamiento de cubiertas duras e impermeables (9, 12 y 19).

Generalmente se utiliza ácido sulfúrico concentrado, es efectivo, pero debe utilizarse con cuidado porque reacciona violentamente con el agua. Además, al colocar las semillas en ácido se eleva la temperatura, esta puede ser de 15 a 27°C, si rebasa los 30°C el calentamiento puede matar al embrión de algunas semillas. El tiempo de exposición depende de la especie y varía de 15 minutos a 24 horas (22). Al final se lava el ácido con agua corriente durante 10 minutos (12).

Escarificación física; se refiere a cualquier proceso de ruptura, rayado o alteraciones mecánicas de la cubierta de la semilla para hacerla permeable al agua y gases. Puede ser de dos tipos: 1) a mano y 2) mecánica. - En el primer caso basta con perforar, astillar, mellar o frotar con algo abrasivo la testa de las semillas individualmente, ya sea empleando cuchillo, lima de mano o papel lija (8, 11 y 12). Para fines de laboratorio, donde se emplean pequeñas cantidades de semillas, resulta ser una técnica práctica, sencilla y efectiva. El segundo tipo de escarificación es para cantidades excesivas, para el caso se recomienda emplear máquinas revolventoras, donde las semillas revueltas con arena y grava se hacen girar (8 y 9); o bien utilizando barriles forrados con papel lija, realizando un movimiento rotatorio (12).

Calentamiento en seco: a cierto tipo de semillas se les aplica calor seco durante cierto tiempo con la finalidad de incrementar la imbibición, la temperatura que se recomienda utilizar es de 60 a 80°C en un tiempo de 24 horas. En semillas de Prosopis se ha detectado que a temperaturas mayores de 98°C, durante períodos de 3 o más horas puede dañarse gravemente (9).

Estratificación: en este proceso las semillas se someten a ambientes fríos o cálidos, no es recomendable para semillas con latencia física pues su efecto es a largo plazo y tiende a afectar más el metabolismo del embrión, sobre todo cuando es fría.

La estratificación fría consiste en colocar las semillas de tal forma que permanescan húmedas a bajas temperaturas y con buena aereación. La temperatura óptima para eliminar la latencia varía con la especie; en muchas coníferas, el manzano y membrillo es de 1 a 3°C, algunas semillas de especies como Betula populifolia y Diospiros virginiana requieren de 10°C (22).

La temperatura requerida para el tratamiento puede obtenerse a la interperie en lugares con clima frío o bien empleando equipo de refrigeración (12). La estratificación cálida consiste en someter a temperaturas -

mayores de 10°C a las semillas revueltas con sustrato, ya sea musgo, arena o estiércol, que no debe estar esterilizado, pues se requiere de la actividad microbiana para que el tratamiento sea efectivo.

La temperatura requerida para la aplicación de este tratamiento se puede obtener en invernaderos, utilizando hornos, cámara de germinación o en una cama caliente.

Después de la estratificación fría o cálida, las semillas deben lavarse con agua corriente para eliminar microorganismos potencialmente patógenos.

La estratificación es un procedimiento barato cuando se aplica bajo condiciones ambientales en alguna época del año. Su costo se incrementa cuando se emplean aparatos. Tiene la desventaja de ser tratamiento de efecto a largo plazo y de que la siembra hay que hacerla inmediatamente, porque las semillas quedan embebidas y expuestas a sufrir deterioros indeseables.

IV. MATERIALES Y METODO,

Las semillas de Tamarindus indica que se utilizaron se colectaron en el Municipio de Tequesquitengo, Estado de Morelos, durante abril de 1985, permaneciendo almacenadas a temperatura ambiente. De ellas se tom6 una muestra al azar de la que se separaron 72 unidades experimentales - conteniendo cada una 20 semillas que no presentaron perforaciones o ranuras en la testa. Con este material se hicieron dos experimentos:

A. Efecto del agua caliente sobre la germinaci6n,

Se formaron diez grupos en total, cinco de ellos para el tratamiento con agua a 75°C y el resto para 92°C, cada grupo comprendio cuatro - unidades experimentales que fueron colocadas individualmente en una bolsa de malla (fig. 7) para sumergirlos en un recipiente de aluminio que - contenia agua calentada con un mechero de gas, cuya flama se regul6 de - tal forma que la temperatura se mantuvo constante segun el caso, esta se midio colocando el bulbo de un term6metro en el agua a la profundidad a la que se colocaron las semillas contenidas en las bolsas.

Tanto a 72°C como a 92°C una bolsa del primer grupo de semillas -- permanecio en agua durante 0.5 minutos, la segunda, tercera, cuarta y - quinta bolsa durante 1, 2, 4 y 8 minutos respectivamente, esto se repiti6 cuatro veces.

Como testigo se tuvieron semillas sin tratamiento y semillas a las que se les hizo una ranura en la areola con una lima de mano, hubo cuatro repeticiones en ambos casos,

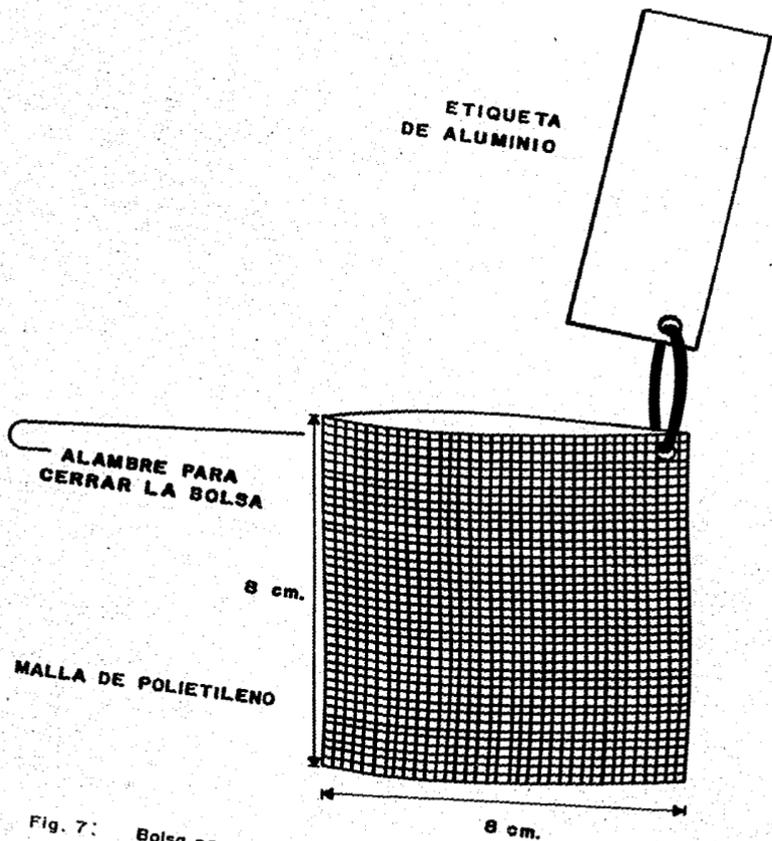


Fig. 7: Bolsa para la aplicación de los tratamientos con agua caliente.

Una vez efectuado el tratamiento las semillas se sembraron en cajas de petri sobre una capa de aproximadamente 1 cm de espesor de arena sílica asepticada (fig. 8), aplicandose riego con 25 ml. de agua destilada. Las 48 cajas se colocaron distribuidas completamente al azar en tres charolas de una germinadora ajustada a temperatura de 26°C y con iluminación difusa de baja intensidad, bajo estas condiciones las semillas permanecieron durante 30 días.

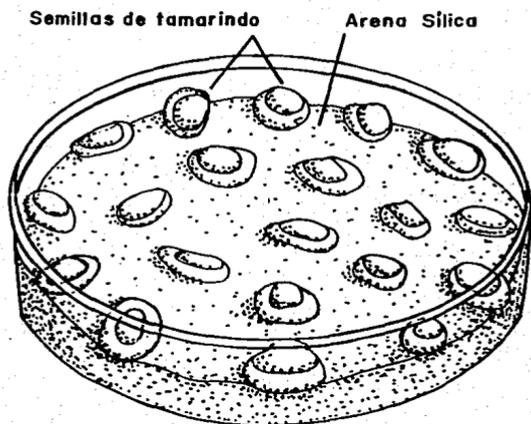


Fig. 8. Siembras realizadas en cajas de petri

B. Efecto de temperaturas oscilantes y constantes sobre la germinación.

Se efectuaron siembras en cajas de petri sobre arena como en el experimento anterior, las cuales estuvieron sometidas a tres temperaturas de incubación constantes de 16°C, 36°C y 45°C. Así mismo se hicieron siembras que permanecieron 8 horas en cada una de estas temperaturas y 16 horas a 26°C. En todo caso se pusieron 4 unidades experimentales para cada uno de los regímenes térmicos, que se eligieron conforme a los empleados por Vázquez-Yañez (29).

La oscilación de temperatura se condicionó mediante el cambio de la siembra de incubadora a otra de temperatura distinta.

C. Variables de respuesta.

Diariamente se contó el número de semillas germinadas en cada unidad experimental, se consideró semilla germinada cuando la radícula emergió y medía aproximadamente 5 mm de longitud.

Siguiendo el instructivo de Morales y Camacho (20) se determinó el porcentaje de germinación, los días transcurridos para alcanzar 75% del porcentaje de germinación y el índice o valor germinativo de Maguire, -- que estima la calidad de germinación ponderando el porcentaje y velocidad de germinación.

También se contó diariamente el número de semillas con testa rota en cada unidad experimental. Se consideró que la ruptura de la testa ocurrió después de la imbibición de la semillas, las cuales después de aumentar de volumen presentan fisuras o grietas, o que en algunas aunque no se embebieron se formaron áreas en las que se desprendió la capa superficial de la testa. Con estos datos se calculó el porcentaje total de semillas rotas y el período transcurrido para alcanzar el 75% de ese porcentaje.

Al término del experimento se determinó la cantidad de semillas podridas y de semillas que no se embebieron.

V. ANALISIS ESTADISTICOS APLICADO A RESULTADOS,

Para determinar o conocer el efecto de los tratamientos sobre cada variable de respuesta las medias se compararon mediante una prueba de T - (32): asignados \bar{X}_1 para la media de un tratamiento a comparar y \bar{X}_2 para la media del otro tratamiento. Se establecio que en todo caso la hipótesis nula fue $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ y la hipótesis alternativa $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$, se rechazo la primera y se acepto la segunda cuando:

$$| T | > t_{\alpha/2} (v)$$

donde:

- | T | = valor absoluto de T calculado,
- t = valor constante de tablas de la distribución de "T"
- α = nivel de significancia (que fue tomado de 0,5 para todas las comparaciones),
- v = grados de libertad.

Para obtener el valor de T calculado y sus grados de libertad se emplearon diferentes fórmulas dependiendo del comportamiento de las varianzas, para determinarlo se observó si algun tratamiento carecio de varianza o sea que en todas las repeticiones se obtuviera la misma cifra en una variable de respuesta dada, lo cual se presento sobre todo cuando se tuvieron medias de 0 ó de 100%. Cuando los tratamientos a comparar presentaron varianza, se determinó si estos eran iguales o diferentes mediante la prueba de F:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} ; \quad V_1 = n_1 - 1$$

$$V_2 = n_2 - 1$$

La hipótesis nula $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ se rechaza y se acepta la alternativa $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ siempre que:

$$F < f_{1-\alpha/2} (V_1, V_2)$$

Y

$$F > f_{\alpha/2} (V_1, V_2)$$

donde:

S_1^2 = varianza mayor

S_2^2 = varianza menor

n = número de repeticiones del tratamiento

F = valor calculado

f = valor de tablas de la distribución de F con V_1 y V_2 grados de libertad.

σ_1^2 y σ_2^2 = varianzas hipotéticas de los tratamientos.

Con base a lo anterior se tuvieron los siguientes casos:

- a) Cuando la media de un tratamiento carecio de varianza se utilizó la siguiente fórmula para comparar las medias:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S/\sqrt{n}} ; v = n - 1$$

donde:

\bar{X}_1 = promedio del tratamiento que tuvo varianza

\bar{X}_2 = valor obtenido por el tratamiento carente de varianza

S = desviación típica para X , su valor es $\sqrt{S^2}$

n = número de repeticiones del tratamiento

v = grados de libertad

b) Para los tratamientos donde el valor de F no fue significativo, es decir, cuando las varianzas fueron iguales, las medias se compararon con la siguiente fórmula

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{S_p \sqrt{(1/n_1) + (1/n_2)}}; \quad v = n_1 + n_2 - 2$$

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

donde:

\bar{X}_1 = promedio de un tratamiento

\bar{X}_2 = promedio del otro tratamiento

d_0 = diferencia en la hipótesis nula (cero en este caso)

S_p = desviación típica en conjunto de dos tratamiento

S_1^2 = varianza de un tratamiento

S_2^2 = varianza del otro tratamiento

c) Cuando el valor de F fue significativo y por tanto las varianzas de las medias fueron distintas, las comparaciones se tuvieron mediante la siguiente fórmula:

$$T = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{\sqrt{S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2}}$$

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}}$$

Para estudiar el efecto de los regimenes térmicos aplicados sobre la ruptura de las cubiertas y la germinación, se efectuaron todas las comparaciones posibles entre los siete tratamientos realizados. En el experimento con agua caliente sólo se compararon las medias de los tratamientos con las de las semillas no tratadas y las perforadas.

VI. RESULTADOS,

A. Efecto del agua caliente sobre la germinación,

El máximo valor germinativo se tuvo con semillas perforadas lo cual significa que su calidad germinativa fue superior respecto a los demás -- tratamientos incluso que al testigo, esto fue (cuadro 3), consistente -- tanto con los elevados porcentajes de ruptura y germinación que se tuvieron, así como con los respectivos días para alcanzar el 75%, los que al -- ser menores indicaron una mayor velocidad de ruptura de testa y de la germinación de las semillas. En tanto que en las semillas perforadas hubo el 100% de ruptura de testa y 98.75% de semillas germinadas, en las semillas sin tratamiento sólo hubo 82.50% de ruptura de testa del que a su vez sólo germinó el 66.25%, lo que de acuerdo a la prueba de T indicó que en -- los valores hubieron diferencias significativas. El tiempo para que ocurriera lo anterior fue diferente, las semillas sin tratamiento necesitaron casi de 25 y 23 días para romper la testa y germinar respectivamente, en cambio, en las semillas perforadas el 75% de ellas habían roto la testa en 2.5 días y germinaron 8.57 días después de la siembra.

En el cuadro 3 se observa que en terminos generales a medida que se incrementa la temperatura y el tiempo de inmersión se obtiene un mayor -- porcentaje de semillas con la testa rota, lo contrario ocurrió con el porcentaje de semillas germinadas con el tratamiento a 92°C.

Con la inmersión de semillas en agua a 75°C por perfodo de 0.5 a -- 4.0 minutos se obtuvo tanto un porcentaje de ruptura y de germinación como un tiempo para alcanzar el 75% estadísticamente igual a los del testigo; solo con la inmersión de semillas a 75°C durante 8 minutos se supera significativamente al testigo sin tratamiento, pues se registro mayor porcentaje de ruptura y de germinación, aunque la velocidad para ello sea la misma de acuerdo a los días al 75%, el valor germinativo alcanzado es superior al de las semillas sin tratamiento en forma estadísticamente importante.

Cuadro 3. Efecto de la temperatura y tiempo de inmersión en agua sobre la ruptura de testa y la germinación de semillas de Tamarindo.

Tratamiento		Ruptura		Germinación		
°C	Minutos	%	D 75	%	D 75	V.G.
75	0.5	86.59 B	23.84 B	75.56 B	22.45 B	6.82 A B
	1.0	80.00 B	21.93 B	65.00 B	23.18 B	5.32 B
	2.0	98.33 B	22.25 B	76.80 B	24.50 B	6.43 B
	4.0	89.56 B	20.06 B	78.55 B	22.44 B	7.39 A B
	8.0	97.50 A B	22.66 B	87.50 A B	22.50 B	8.23 A B
92	0.5	95.00 A B	20.97 B	80.00 B	22.92 B	6.59 A B
	1.0	97.50 A B	21.16 B	58.75 B	23.00 B	5.11 B
	2.0	97.56 A B	19.31 A B	18.57 A B	20.06 A B	1.36 A B
	4.0	98.81 A	20.43 B	0.00 A B	∞ A B	0.00 A B
	8.0	100.00 A	16.18 A B	0.00 A B	∞ A B	0.00 A B
Sin tratamiento (testigo)		82.50 B	24.84 B	66.25 B	22.43 B	4.52 B
Perforadas		100.00 A	2.53 A	98.75 A	8.57 A	18.18 A

A: Indica diferencia significativa respecto al testigo
 B: Indica diferencia significativa respecto a las perforadas
 V.G.: Valor Germinativo = $\frac{G}{D_1}$, G = número de semillas germinadas en cada conteo.
 D₁ = días transcurridos de la siembra a cada conteo.
 ∞ : Indeterminado
 Lo anterior de acuerdo con la prueba de T; con $\alpha = 0.05$

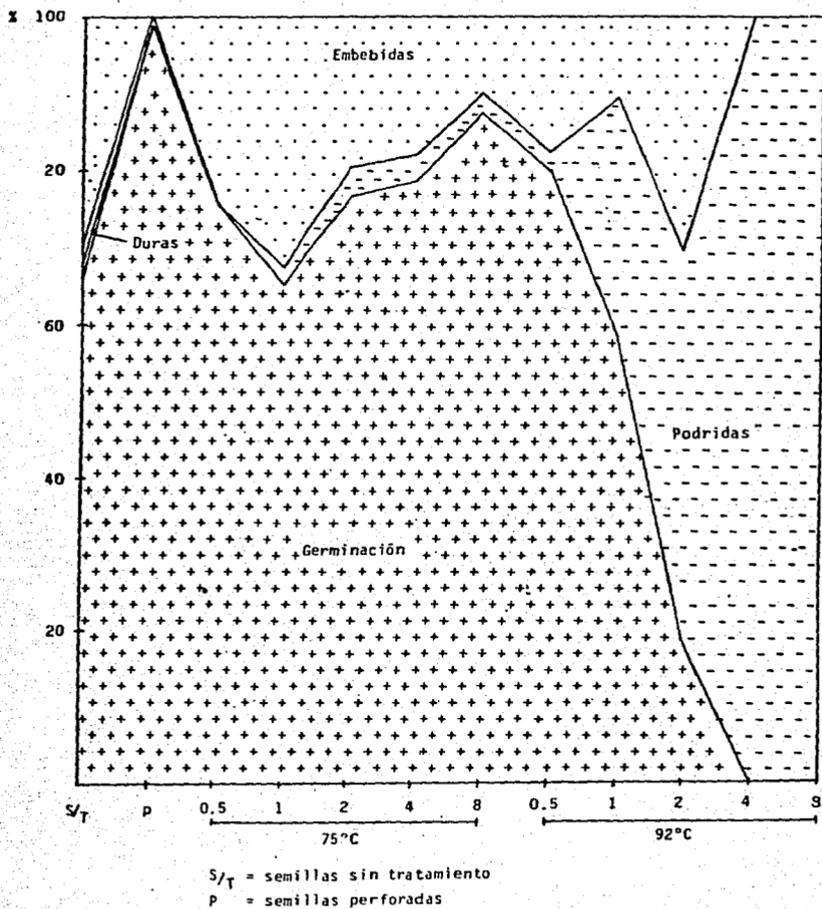


Fig. 9. Porcentaje de germinación, semillas duras, podridas y embebidas después de la inmersión de semillas de tamarindo en agua a 75°C y 92°C.

No obstante que con la temperatura de 92°C se tuvo un porcentaje de semillas con la testa rota, evidentemente superior al del testigo y cerca no al 100%, con ningún tratamiento se alcanzó un porcentaje superior; con la inmersión más corta, quizá por tenerse una germinación numéricamente mayor que el de las semillas del testigo sin tratamiento, se obtuvo un valor germinativo estadísticamente mayor que el de este. Lo mismo se observó en el tratamiento a 75°C con inmersión corta por 0.5 y 4 minutos.

Cuando el tratamiento a 92°C se aplicó por más de 2 minutos no hubo germinación, pues todas las semillas murieron (fig. 9).

Debido tal vez a que este experimento duro más que el de las temperaturas de incubación, el porcentaje de semillas duras fue nulo en semillas tratadas; solo en el testigo se presentaron en proporción que no rebaso el 2%. Esto sugiere que en todos los tratamientos las semillas quedaron embebidas o bien se les rompió la testa (fig. 9).

B. Efecto de temperaturas constantes y oscilantes sobre la germinación.

En el cuadro 4 se observa que las semillas de tamarindo sometidas a temperaturas elevadas de 45°C, 45-26°C y 36°C se tuvo un efecto positivo en cuanto a la ruptura de testa, habiendose registrado un porcentaje superior al 95%. El número de días que transcurrieron para alcanzar el 75% en estas temperaturas fueron menores para la incubación a 45°C pues en esta temperatura la ruptura ocurrió en casi 10 días. En los tratamientos restantes el tiempo vario de 14.64 a 17.75 sin haber diferencias significativas entre ellas.

Tanto a temperaturas oscilantes de 36-26°C y 16-26°C como a constantes de 26°C o menos, el porcentaje de ruptura de testa fue menor al 60%.

Aunque en el tratamiento a 45°C hubo 100% de semillas rotas, ninguna de estas alcanzó a germinar, debido a que todas murieron, encontrándose al término del experimento que estaban podridas (fig. 10).

Cuadro 4: Efecto de la temperatura de incubación sobre la germinación de semillas de Tamarindo.

T °C	Ruptura		Germinación		
	%	D 75	%	D 75	V.G.
16	36.25 b	17.75 a	25.00 c d	18.81 b c	1.71 c d
26	58.75 b	17.37 a	48.75 b c	18.49 b c	3.87 b
36	97.50 a	15.25 a	68.75 a	15.47 c	7.70 a
45	100.00 a	9.81 b	0.00 d	∞ a	0.00 d
16-26	46.25 b	15.30 a	40.00 b c	19.05 b c	3.82 b c
36-26	52.50 b	15.59 a b	45.00 b c	17.54 b c	4.44 b
45-26	98.75 a	14.64 a	56.14 a b	18.50 b	4.46 b

Las medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí, de acuerdo con la Prueba de T; con $\alpha = 0.05$.

V.G.: Valor Germinativo = $\sum Gi/Di$, Gi = número de semillas germinadas en cada conteo, Di = días transcurridos de la siembra a cada conteo
 ∞ : Indeterminado

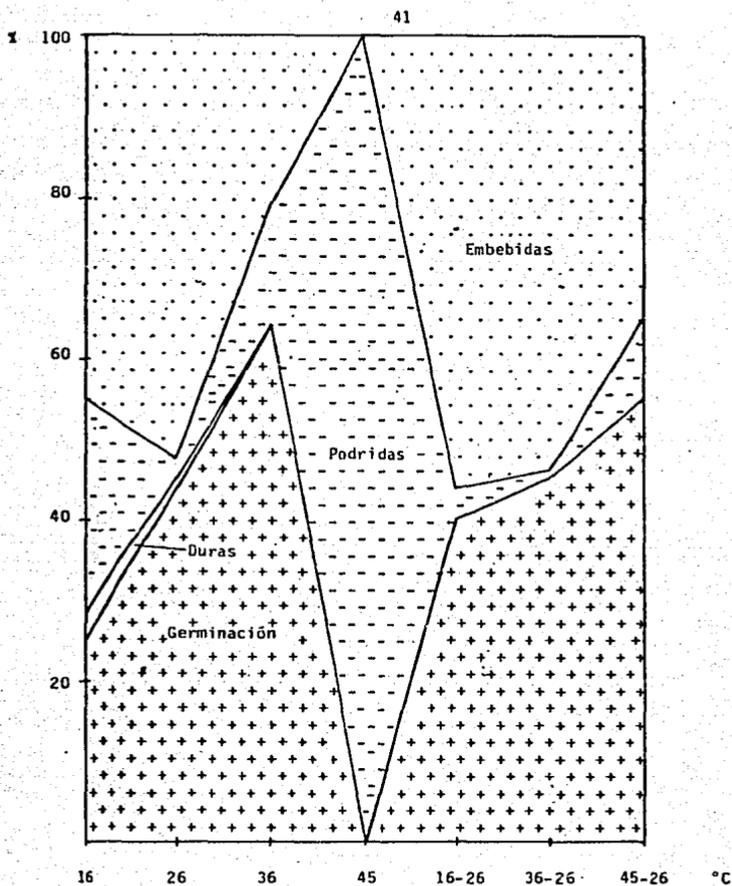


Fig. 10. Porcentaje de germinación, semillas podridas, duras y embebidas después de incubar durante 22 días semillas de tamarindo a diferentes temperaturas.

Cuando las semillas se sometieron a 36°C se obtuvo la mayor germinación, casi un 70% lo que de acuerdo a la prueba de T resultó ser semejante al de las semillas tratadas con temperaturas oscilantes de 45-26°C; a su vez este régimen térmico tuvo efecto similar al de los tratamientos a 26°C, 36-26°C y 16-26°C, donde se tiene de 40 a 48.75% de germinación.

El tratamiento a 26°C no superó el 50% de germinación, se tuvieron porcentajes estadísticamente iguales al de este cuando hubo oscilación térmica con 36°C y 16°C o bien cuando las semillas se incubaron a temperatura constante de 16°C.

Las semillas que tardaron menos tiempo en germinar corresponden al tratamiento de 36°C, necesitaron cerca de 15.5 días para llegar al 75% de las semillas germinadas, el tiempo que tardaron en germinar las semillas de los tratamientos restantes fluctuó de 17 a 19 días. Las únicas diferencias significativas resultaron al comparar las medias obtenidas por el régimen térmico oscilante 45-26°C con la temperatura constante -- 36°C.

De las semillas que se incubaron a 45°C no se pudo calcular la velocidad de germinación, ya que todas las semillas murieron y se pudrieron, como estas semillas nunca germinarán, el tiempo para alcanzar el 75% de germinación tiene un valor infinito (∞), así que hay una diferencia significativa con las medias de los tratamientos en donde sí hubo germinación.

En estos casos no se debe asignar a los días al 75% un valor cero, de lo contrario hubiera indicado que las semillas germinaron de inmediato, debido a que la velocidad germinativa tiene una relación inversa con el valor obtenido en los días transcurridos para alcanzar el 75%.

En el tratamiento a 36°C se tiene un valor germinativo máximo, que indica una mayor uniformidad y velocidad de germinación, este valor es

significativamente superior al resto de los tratamientos evaluados. Con 26°C y con temperaturas oscilantes: 45-26°C, 36-26°C y 16-26°C, hubo un comportamiento similar entre ellas en cuanto a esta variable; el valor germinativo del regimen de 16-26°C, aunque resulto ser semejante al de los tratamientos antes mencionados, también se comportó en forma similar al tratamiento de 16°C, que junto con la incubación a 45°C tuvieron valores germinativos menores.

VII. DISCUSION.

Puesto que todas las semillas escarificadas se embebieron y casi todas germinaron en poco tiempo y hubo semillas no embebidas en muestras que no se trataron, se puede decir que las semillas de tamarindo presentan una cubierta impermeable al agua.

La impermeabilidad no es tan persistente como en otras especies, pues tendio a perderse durante la incubación, el agrietamiento de la -- testa de semillas de tamarindo no fue muy frecuente, pero si el desprendimiento de la última capa de la testa en pequeñas áreas dentro de la areola y fuera de ella. En algunos casos el levantamiento se inició a partir del pleurograma, continuándose hacia las diferentes partes de la superficie de la semilla.

Esa capa es delgada, de acuerdo con la observación al microscopio óptico. corresponde al macroesclerenquima, pues estaba constituido por celulas en empalizada. Por su parte interna presentaba un color café -- más claro en comparación con la externa, además, se encontró que entre ésta y las otras capas de la cubierta que quedaron firmes, hay una sustancia musiloginosa transparente, solo en determinadas áreas, incluyendo la región donde se localiza el micropilo.

Hay similitud entre estos resultados y los descritos por Flores (10) para Enterolobium cyclocarpum en cuanto a la destrucción de la testa por efecto de la permanencia de las semillas a temperaturas alrededor de 40°C, pero difieren en cuanto a la forma en que se destruye la -- testa. También hay coincidencia, con lo presentado por otros autores en cuanto que al elevarse la temperatura se incrementa el número de semi--llas que se embeben y germinan (23 y 29). Lo anterior es importante señalarlo porque parece ser una característica comun en las semillas im--permeables.

La temperatura de incubación tiene un efecto determinante sobre la pérdida de la impermeabilidad en el tamarindo, el porcentaje de ruptura de testa de estas semillas se incrementó con la temperatura, en el intervalo de 16°C a 45°C, los mejores resultados se tuvieron a 36°C y 45°C, de hecho fueron equivalentes a perforar manualmente las semillas.

Se ha recomendado la estratificación de semillas de tamarindo para estimular la germinación, sin mencionar la temperatura que se debe utilizar (2), podrá pensarse de acuerdo con la asepsión generalizada de estratificación, habra que emplear un medio húmedo y temperaturas menores a -10°C (12) con lo cual cuando mucho se podría tener 35% de semillas con la testa rota, suponiendo que se comportará como la incubación a 16°C, en cambio al utilizar una temperatura de 36°C se tendrá mejores resultados, hasta cerca de un 100% de semillas rotas, esto indica que el tipo de estratificación debe ser cálida. Una alternativa para que las semillas de tamarindo sean tratadas en determinadas regiones y en viveros, es mediante camas calientes; el calor del suelo es proporcionado artificialmente al colocar estiércol en fermentación, cables eléctricos de calefacción, agua caliente o conductos de aire caliente (12).

No es recomendable utilizar temperaturas mayores a 36°C, dado que a 45°C se obtuvieron resultados positivos solo en la ruptura de esta, esto fue porque las semillas solamente se embibieron y esta fase, que es un proceso físico-químico, puede estar afectado por la temperatura; al aumentar la energía cinética de las moléculas del agua, aumenta la velocidad de entrada, por lo tanto aumenta también la tasa de imbibición. No obstante que el citoplasma que se encuentra hidratado, condición para que la maquinaria metabólica empiece a funcionar, puede ser que esta temperatura resulte contraproducente, por ocasionar desnaturalización de proteínas.

Koller y col. (1962, cit. 31) considera que las enzimas o sus precursores son lábiles a temperaturas elevadas, para verificar esta suposición se necesita realizar un estudio de orden bioquímico que determine si el complejo enzimático es afectado o no; la ausencia de unidades más

pequeñas de carbohidratos, significaría que no hay degradación del almidón ni transporte de sus unidades más pequeñas hacia el embrión, lo que ocasionaría su muerte.

En el presente trabajo no se observó un efecto letal en semillas incubadas a temperatura oscilante de 45-26 °C, pues al cambiar las semillas a incubadoras a 26°C por 16 horas puede haber regeneración de enzimas. Dicho autor, especula la formación de un balance de intermediarios respiratorios a temperatura baja de la oscilación; algo similar pudo haber sucedido con las semillas de tamarindo con la incubación de 45-26°C, que obtuvo estadísticamente los mismos resultados que con una temperatura constante de 36°C.

Al aplicar tratamientos con oscilación térmica se esperaba que el número de semillas embebidas y germinadas fuera mayor que en las sometidas a temperaturas constantes, tal como Gomes y Kretschmer (1978, cit. 15) consideraron como fenómeno debido a que la alternancia de temperaturas funciona como agente escarificante. Sucedió lo contrario al incubar semillas de tamarindo a temperaturas oscilantes de 16-26°C y 36-26°C, pues a pesar de haber 10°C de diferencia entre ellas, ambas condiciones tuvieron el mismo efecto que la temperatura constante de 26°C.

El efecto estimulante o detrimental del agua caliente sobre la germinación depende de la temperatura y el tiempo de inmersión, las semillas de tamarindo pueden clasificarse entre las que pierden la viabilidad fácilmente con inmersiones en agua a temperaturas elevadas; cuando el tratamiento a 92°C sobrepasó el tiempo de inmersión de 0.5 minutos tuvo efecto letal. Esta reacción es parecida a la que encontraron Ramírez y Camacho (25) en las semillas impermeables de Enterolobium cyclocarpum, Leucaena leucocephala y Prosopis juliflora, que al ser tratadas con agua a 85°C y 92°C se observó que murieron, especialmente cuando la duración del tratamiento fue mayor de 3 minutos.

A diferencia de las especies mencionadas, en el tamarindo el efecto del agua caliente a 75°C por períodos de inmersión menores a 8 minutos no fueron efectivos para producir estímulo significativo de la germinación.

El tratamiento con agua caliente, que logró este objetivo requirió de la inmersión en agua a 75°C durante 8 minutos.

Como estudios complementarios al presente trabajo se recomienda estudiar el efecto del tratamiento con agua caliente a temperaturas mayores de 75°C y menores de 92°C. También es conveniente evaluar un mayor número de temperaturas de incubación en el intervalo de 26 a 45 °C a fin de poder establecer la óptima.

VIII. CONCLUSIONES.

1. Se puede decir que las semillas de tamarindo presentan una cubierta im permeable al agua, puesto que todas las semillas escarificadas se embe bieron y casi todas germinaron en poco tiempo.
2. El efecto estimulante o detrimental del agua caliente sobre la germinación depende de la temperatura y el tiempo de inmersión, la temperatura de 75°C durante 8 minutos de inmersión fue la más efectiva para estimular la germinación.
3. La inmersión en agua calentada a 75°C por periodos de inmersión menores de 8 minutos no son efectivos para romper completamente la impermeabilidad de las semillas.
4. La inmersión de semillas en agua a 92°C reduce la viabilidad de las mismas, cuando se incrementa el tiempo de exposición a más de 0.5 minutos.
5. Conviene que se investigue el efecto de tratamiento con agua caliente a temperaturas mayores de 75°C pero menores de 92°C en tiempos variables.
6. En pruebas "in vitro" la temperatura de incubación tiene un efecto determinante sobre la pérdida de la impermeabilidad, el porcentaje de ruptura de testa de semillas de tamarindo se incrementa con la temperatura en el intervalo de 16°C a 45°C. Los mejores resultados se obtuvieron en 36°C y 45°C que de hecho fueron equivalentes a perforar manualmente las semillas.
7. La incubación a temperaturas oscilantes no fueron tan efectivas como se esperaba. Sólo a temperaturas de 45-26°C se eliminó la impermeabilidad.
8. El porcentaje de germinación únicamente se incrementó a temperatura de

36°C, a 45°C se perdió la viabilidad de las semillas.

10. Se sugiere que antes de sembrar las semillas se estratifiquen a temperatura cálida de 36°C, o bien utilizar camas calientes, a esta temperatura.

IX. BIBLIOGRAFIA.

1. Bhalla, P.L. and Slattery, H.D. 1983. Callose deposits make clover seeds impermeable to water. *Ann. of Bot.* 53 (1): 12-18
2. Camacho, M.F. 1985. Identificación del mecanismo que inhibe la germinación en Schinus molle L. y forma de eliminarlo. *Ciencia Forestal* 10 (55): 35-49.
3. Camacho, M.F. 1987. Dormición de semillas; Aspectos generales y tratamientos para eliminar. Tesis Profesional. Ing. Agro. Esp. Fitotecnia, Univ. Aut. Chap. México. 29-48 p.p.
4. Carvalho, C.F. 1971. El cultivo del tamarindo. Departamento de extensión Agrícola. E.N.A. México. 12 p.
5. CONAFRUT. 1972. El Cultivo del Tamarindo. Serie de Divulgación. Folleto No. 11. CONAFRUT. México. 7 p.
6. Devlin, R.M. 1980. Fisiología Vegetal. Trad. Llimona, P.X. Omega, España. 517 p.
7. Font Quer, 1953. Diccionario de Botánica. Labor. España, 116 p.p.
8. Doran, J.C.; Boland, D.J.; Turn, J.W. y Gram, B.V. 1983. Manual de semillas secas de Acacia de zonas secas. FAO. Italia. 114 p.p.
9. Ffolliot, P.F. and Tames, J.L. 1983. Recolección, manipuleo y almacenamiento de semillas de Prosopis de América Latina, FAO. Italia. 30-40 p.p.
10. Flores, E.M. 1984. Estructura de la semilla y germinación del Guanacastle (Enterolobium cyclocarpum). Resúmenes del 9º Congreso Mexicano de Botánica. SBM. México. 182-183 p.p.

11. Fors y Reyes, A. 1967. Manual de Silvicultura. 4a. Ed. Inst. Nal. de Des. Aprob. Forest. Cuba. 251 p.
12. Hartmann, H.T. y Kester, D.E. 1971. Propagación de Plantas. Principios y practicas. Trad. Marino, A.A. CECSA. México, 809 p.
13. Hernández, U.H. 1980. Estudios bioquímicos y fisiológicos en pre y post-cosecha de la fruta del tamarindo (Tamarindus indica L.) Com. Nal. Frut. Tesis. M. en C. en Indust. de Frutas. 72 p.
14. Jann, R.C. and Amen, R.D. 1977. What is germination? Khan (ed.) The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination. Elsevier North-Holland. Biomedical. Press. Holanda. 7-29 p.p.
15. Lovato, A. 1981, Germination of seeds. Advances in research and tecnology of seed. Part. 6, 68-120.
16. Martínez, M. 1959. Plantas utiles de la Flora de México, Botas, México.- 560-561 p.p.
17. Martínez, M. 1969. Las plantas medicinales de México, Botas, México. 459 p.p.
18. Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de cultura económica. México. 845 y 1189 p.p.
19. Mc Donough, D. 1977. Seed physiology. Rang. Sci. 4: 155-184.
20. Morales V.G. y Camacho, M.F. 1985. Formato y recomendaciones para evaluar germinación S.A.R.H. Public. Esp. No. 48, 123-133 p.p.
21. NAS. 1979, Tropical Legumes resources for the future, National Academy of Sciences. USA. 117-121 p.p.

22. Nikolaeva, M.F. 1969. Physiology of deep dormancy in seeds. Trad. Shapiro L. IPST. Israel. 14-17 p.p.
23. Nikolaeva, G.M. 1977. Factors controlling the seed dormancy pattern. -- Khan (ed.) The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination. Elsevier North-Holland Biomedical Press. 53-73.
24. Parra, G.D. 1976. Propagación vegetativa del tamarindo. Com. Nal. de -- Frut. Serie técnica No. 26. México. 62 p.
25. Ramírez, O.G. y Camacho, M.F. 1987. Tratamientos de semillas latentes - de plantas de importancia económica. Biología. 16 (1-4): 37-42.
26. Riggio-Bevilacqua, L.; Roti-Michelozzi, G. and Serrato-Valenti, G. 1985. Barriers to water penetration in Cercis siliquastrum seed. Seed. Sci. & Technol, 13, 175-182.
27. Rolston, M.P. 1979, Water impermeable seed dormancy, The Bot. Rev. 4 - (3): 365-396.
28. Standley, P.C. and Steyermark, J.A. 1946. Flora de Guatemala. Fieldiana Botany, Vol. 24. part. V. 502 p.p.
29. Vázquez-Yañez, C. 1974. Studies on the germination of seeds of Ochroma lagopus Swartz. Turrialba, 24 (2): 176-179 p.p.
30. Vega, E.C.; Valera, P.F. y Rodríguez, P.A. 1981. Viabilidad de las semillas en 72 especies forestales tropicales almacenadas al medio. Inst. - Nal. de Inves. Forest. Public. Esp. No. 35, México. 325-345 p.p.
31. Villiers. T.A. 1972. Seed dormancy. Kozlowski, T.T. (ed.) Seed Biology Academic Press. USA. Vol. II: 57-258 p.p.
32. Walpole, R.E. y Myers. 1983. Probabilidad y estadística para ingenieros. Trad. Ramírez, C.L. Interamericana. México. 252 p.p.

33. Wang, B.S.P., Pitel, J.A. and Weed, D.P. 1982. Enviromental and genetic factors tree and shrub seeds. Advances in research and Technology of - seeds. Part. 7: 87-135.
34. Wilsie, C.P. 1962. Crop Adaptation and Distribution. W.H. Freeman and - Company E.U.A. Unite States of America. 87-93 p.p.