

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

COMPORTAMIENTO DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS DE CINCO ESPECIES  
FORESTALES ALMACENADAS A CINCO GRADOS CENTÍGRADOS DURANTE UN  
AÑO, EN EL BANCO DE SEMILLAS FORESTALES (BANSEFOR), DEL  
INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES (INAB), CIUDAD DE GUATEMALA



PABLO RAUL CORDON CABRERA

Guatemala, Noviembre de 2002

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**RECTOR**

**Dr. M. V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Agr. EDGAR OSWALDO FRANCO RIVERA</b>
<b>VOCAL PRIMERO</b>	<b>Ing. Agr. WALTER ESTUARDO GARCIA TELLO</b>
<b>VOCAL SEGUNDO</b>	<b>Ing. Agr. MANUEL DE JESÚS MARTINEZ OVALLE</b>
<b>VOCAL TERCERO</b>	<b>Ing. Agr. ERBERTO RAUL ALFARO ORTIZ</b>
<b>VOCAL CUARTO</b>	<b>Br. WENER ARMANDO OCHOA OROZCO</b>
<b>VOCAL QUINTO</b>	<b>Br. JUAN MANUEL COREA OCHOA</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ing. Agr. EDIL RENE RODRÍGUEZ QUEZADA</b>

Guatemala, marzo de 2003

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables Miembros:

De conformidad con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado:

COMPORTAMIENTO DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS DE CINCO ESPECIES FORESTALES,  
ALMACENADAS A CINCO GRADOS CENTÍGRADOS DURANTE UN AÑO, EN EL BANCO DE  
SEMILLAS FORESTALES (BANSEFOR), DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES (INAB),  
CIUDAD DE GUATEMALA

Trabajo que presento como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el presente trabajo de investigación llene los requisitos para su aprobación, agradezco la atención a la presente.

Atentamente,

Pablo Raúl Cordón Cabrera

## ACTO QUE DEDICO

A:

**DIOS**                                    Por haberme dado fuerzas y amor durante todo este tiempo de esfuerzo y sacrificio.

**MIS PADRES**                            Que esto sea un pequeño reconocimiento a su esfuerzo.

**MI HERMANA**                            Rocío, gracias por todo tu apoyo y tu amor

**MI SOBRINO**                            José Miguel, con todo mi amor de tío

**MI ESPOSA**                            GRACIAS, sin ti no hubiera podido terminar una meta trazada con anterioridad, tu amor, esfuerzo y apoyo son una columna para mi vida.

**MI HIJA**                                    María Fernanda, amorcito, eres la inspiración y el motor para terminar este y muchos retos más, TE AMO.

**MIS AMIGOS**                            Baudilio Jordán, Rodrigo González, Luis Orellana, Gerónimo López, Rafael Galván, Marcos Salguero, Glenda Lee, Juan Pablo Guzmán, Jorge Chapas, Hugo Bonelli, Mario Rodríguez Palma, Juan Carlos Argueta, German González, Carlos Sagastume, Hugo Mérida, Eduardo González, Tulio Hernández, Daniel López, Osar Nájera, Fabricio Donis, Armindo Tomás López, Elías Valdés, Edgar Márquez, Eduardo Aguilar, Ricardo Jordán, Miguel Antonio López, Jorge Luis Girón, Axel Romero, Amanda Solórzano, Gilda Pereira, Marvin Martínez, Leonel Miranda, Alexander Barahona, Augusto García, Leonel Ramírez, Jorge Martínez, Carlos Aldana, Manuel Tóbal, Mynor Paz, Luis Franco Cabrera, Conrado Valdez Marckwordt, Félix Hernández, René González, Abner Rosales, Erick Tejeda, Héctor López, Felipe de Jesús Herrera.

## TESIS QUE DEDICO

A:

GUATEMALA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES

ALDEA SAN JOSÉ, TECULUTÁN, ZACAPA

MIS CATEDRÁTICOS

TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE CONTRIBUYERON CON MI  
FORMACIÓN PROFESIONAL

ESPECIALMENTE AL SECTOR FORESTAL DE GUATEMALA

TODAS LAS PERSONAS QUE NO APARECEN EN ESTA TESIS, PERO QUE  
DE ALGUNA MANERA COADYUDARON A LA REALIZACIÓN DE MI ÉXITO  
PROFESIONAL

## AGRADECIMIENTOS

A:

DIOS, AUN EN LOS MOMENTOS MAS DIFÍCILES Y SOLOS HE PODIDO DARME CUENTA DE LA GRANDEZA DE SU AMOR Y MISERICORDIA PARA MI VIDA.

ING. AGR. FRANCISCO VÁSQUEZ VÁSQUEZ  
ING. AGR. RODERICO ESTRADA MUY

POR SU APOYO EN LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO

AL PERSONAL DE EL BANCO DE SEMILLAS FORESTALES (BANSEFOR), POR HABERME APOYADO EN LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO, (ESPECIALMENTE A WILLIAM MELGAR, AIDÉ, LISETS, Y RAFA)

FAMILIA CASTAÑEDA CABRERA, DURAN CABRERA, CORDÓN CABRERA, PELLECE MEZA, PELLECE GAVARRETE, PELLECE GUTIERREZ, PELLECE IZAGUIRRE, GALVEZ PELLECE, CON ESPECIAL APRECIO A (DOÑA TOYITA).

A TODAS LAS PERSONAS QUE DE ALGUNA MANERA PARTICIPARON EN LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO

## CONTENIDO GENERAL

	Página
Contenido General.....	i
Índice de Cuadros.....	vi
Índice de Figuras.....	vii
Resumen.....	viii
1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del Problema.....	2
3. Marco Teórico.....	4
3.1 Marco Conceptual.....	4
3.1.1 La semilla.....	4
3.1.2 Estructura de la semilla.....	4
3.1.3 Factores que afectan la germinación de la semilla.....	5
3.1.3.1 Factores Externos.....	6
a. Agua.....	6
b. Gases.....	7
c. Atmósfera.....	8
d. Bióxido de carbono.....	10
e. Temperatura.....	11
f. Luz.....	12
3.1.4 Factores que obstaculizan la germinación de la semilla.....	12
3.1.4.1 Factores físicos.....	12
3.1.4.2 Factores químicos.....	13

	<b>Página</b>
3.1.4.3 Regulación de la germinación.....	15
3.1.4.4 Regulación ejercida por las cubiertas seminales y otras barreras de permeabilidad.....	16
3.1.4.5 Regulación ejercida por los requerimientos energéticos.....	17
3.1.4.6 Regulación ejercida por los aconte- cimientos metabólicos durante las primeras fases de la germinación.....	21
3.1.4.7 Regulación ejercida por la síntesis y activación de enzimas.....	24
3.1.4.8 Regulación ejercida por las hormonas y sustancias de crecimiento.....	27
3.1.5 Descripción taxonómica de las especies a trabajar.....	29
3.1.5.1 Taxonomía de <u>A. guatemalensis</u> Redher.....	29
a. Clasificación taxonómica según el Sistema Cronquist (13).....	30
b. Nombres comunes.....	30
c. Descripción botánica del <u>A.</u> <u>guatemalensis</u> Redher.....	30
d. Germinación de las semillas de <u>A.</u> <u>guatemalensis</u> Redher.....	33

	<b>Página</b>
3.1.5.2 Descripción de <u>Pinus oocarpa</u> Schiede.....	35
a. Taxonomía de <u>Pinus oocarpa</u> .....	35
b. Nombres comunes.....	35
c. Descripción botánica.....	35
d. Floración y fructificación.....	36
3.1.5.3 Descripción de <u>Cupressus lusitánica</u> Mill.	39
a. Taxonomía y características botánicas del Ciprés.....	39
b. Sistema de Recolección y Rendimiento.....	41
c. Procesamiento de frutos y semillas.....	41
d. Calidad física y germinación.....	41
e. Almacenamiento.....	43
f. Problemas fitosanitarios.....	43
3.1.5.4 Descripción de <u>Tectona grandis</u> L.F.....	43
a. Hábitat natural.....	44
b. Genética.....	44
c. Propagación y establecimiento.....	46
a. Frutos y semillas.....	46
b. Vivero.....	46
3.1.5.5 Descripción de <u>Gmelina arbórea</u> R.....	47
a. Hábitat natural.....	47
b. Genética.....	48

	<b>Página</b>
c. Propagación y establecimiento.....	48
a. Frutos y semillas.....	48
b. Vivero.....	49
3.2 Métodos Estadísticos.....	50
3.2.1 Análisis de tendencias, técnicas y estadísticas.	50
3.2.2 Análisis de Regresión.....	50
3.2.2.1 ¿Qué es la regresión?.....	51
3.2.2.2 Modelo lineal.....	51
3.2.3 Método de los mínimos cuadrados.....	51
3.2.4 Modelos no lineales.....	53
3.2.4.1 Descripción del modelo logarítmico.....	53
3.2.4.2 Descripción del modelo exponencial.....	54
3.3 Pruebas de germinación en semillas.....	54
3.3.1 General.....	55
3.3.1.1 Prueba.....	55
3.3.2 Plántulas normales, anormales y su registro.....	56
3.3.3 Luz, temperatura, sustrato.....	58
3.3.4 Control de hongos en pruebas de germinación.....	60
3.4. Marco Referencial.....	61
<b>4. Objetivos.....</b>	<b>62</b>
4.1 General.....	62
4.2 Especifico.....	62
<b>5. Hipótesis.....</b>	<b>63</b>
<b>6. Metodología.....</b>	<b>64</b>

	<b>Página</b>
<b>7. Resultados y Discusión.....</b>	67
7.1 Condiciones del Laboratorio de Semillas BANSEFOR.....	67
7.2 Resultados obtenidos con <u>Abies guatemalensis</u> R.....	67
7.3 Resultados obtenidos con <u>Pinus oocarpa</u> S.....	69
7.4 Resultados obtenidos con <u>Cupressus lusitánica</u> M.....	72
7.5 Resultados obtenidos con <u>Tectona grandis</u> L.F.....	75
7.6 Resultados obtenidos con <u>Gmelina arbórea</u> R.....	77
<b>8. Conclusiones.....</b>	81
<b>9. Recomendaciones.....</b>	82
<b>10. Bibliografía.....</b>	83
<b>11. Anexos.....</b>	87
Boleta para recolección de Datos.....	88
Cuadro de resultados obtenidos durante un año	
De ensayo de germinación.....	89

INDICE DE CUADROS

	Página
cuadro 1. Recomendaciones de ISTA para lecturas de germinación...	64
cuadro 2. Resultados obtenidos con ( <u>Abies guatemalensis</u> R.).....	69
cuadro 3. Resultados obtenidos con ( <u>Pinus oocarpa</u> S.).....	71
cuadro 4. Resultados obtenidos con ( <u>Cupressus lusitánica</u> M.).....	74
cuadro 5. Resultados obtenidos con ( <u>Tectona grandis</u> L.F.).....	76
cuadro 6. Resultados obtenidos con ( <u>Gmelina arbórea</u> R.).....	78

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Semillas aladas de ( <u><i>Abies guatemalensis</i></u> R.).....	32
Figura 2. Germinación epígea y desarrollo de la plántula de ( <u><i>Abies guatemalensis</i></u> R.).....	34
Figura 3. Comportamiento de la semilla de Pinabete ( <u><i>Abies guatemalensis</i></u> R.) durante un año de ensayo de germinación.....	68
Figura 4. Comportamiento de la semilla de Pino ( <u><i>Pinus oocarpa</i></u> S.) durante un año de ensayo de germinación.....	71
Figura 5. Comportamiento de la semilla de Ciprés ( <u><i>Cupressus lusitánica</i></u> M.) durante un año de ensayo de germinación.....	73
Figura 6. Comportamiento de la semilla de Teca ( <u><i>Tectona grandis</i></u> L.F.) durante un año de ensayo de germinación.....	75
Figura 7. Comportamiento de la semilla de Gmelina ( <u><i>Gmelina arbórea</i></u> R.) durante un año de ensayo de germinación.....	78

"COMPORTAMIENTO DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS DE CINCO ESPECIES FORESTALES ALMACENADAS A CINCO GRADOS CENTIGRADOS DURANTE UN AÑO, EN EL BANCO DE SEMILLAS FORESTALES (BANSEFOR) DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES (INAB), CIUDAD DE GUATEMALA"

"VIABILITY BEHAVIOUR OF FIVE FOREST SEED SPECIES, STORED AT FIVE CENTIGADES DEGREE DURING ONE YEAR IN THE FOREST SEED BANK OF THE GUATEMALA CITY NATIONAL FOREST INSTITUTE"

## RESUMEN

Guatemala, es uno de los países privilegiados debido a la diversidad climática y fisiográfica, existentes, sabemos que la mayoría de la vegetación arbustiva y de árboles se reproducen por medio de semilla botánica, y en forma asexual.

El Banco de Semillas Forestales (BANSEFOR), forma parte de los proyectos estratégicos del INAB, contemplados dentro del plan estratégico 1998-2015, en el cual, dentro de los ejes de política forestal se contempla el fomento de plantaciones forestales, posteriormente llamado **PINFOR**.

Debido a la inversión que el Gobierno realiza anualmente entregando los incentivos forestales, se hace necesario asegurar la obtención de semilla de calidad para solventar los compromisos de reforestación, es por ello que priorizando la demanda de las especies, esta investigación evaluó el potencial de germinación de (Abies guatemalensis R. , Pinus oocarpa S. , Cupressus lusitanica M. , Tectona grandis L.F. , y

Gmelina arborea R.) durante un año de ensayo de germinación, y analizando posteriormente los resultados para obtener modelo de regresión, que permitiera predecir el porcentaje de germinación con respecto al tiempo de almacenamiento.

Los resultados mostraron que ninguna de las especies durante las 12 pruebas de germinación tuvieron un comportamiento lineal, sino más bien de carácter exponencial y logarítmico.

Dichas dispersiones de datos se debieron a que hubo gran fluctuación de valores durante las pruebas, además de contar con poca información referente a sustratos y tiempos de conteo.

De las cinco especies ensayadas únicamente para la especie (Gmelina arborea R.) presentó resultados significativos de 0.65 para el modelo cúbico y de 0.66 para el modelo polinomial de grado 4.

## 1. INTRODUCCION

Guatemala es uno de los países privilegiados debido a la diversidad climática y fisiográfica; existen varios Biomas en todo el país, que albergan una rica diversidad biológica.

La mayoría de las especies vegetales arbustiva y árboles de Guatemala se reproducen por medio de semilla botánica y en forma asexual. La apertura del comercio de semillas conlleva a la necesidad de investigar con base en los estándares internacionales, y las semillas forestales no son la excepción; es por ello que se hace necesario el conocimiento de la viabilidad de semilla de las especies forestales para ofrecer a los usuarios semilla de calidad.

En el presente estudio se trabajaron las siguientes especies forestales: Abies guatemalensis R., Pinus oocarpa S., Cupressus lusitanica M., Tectonia grandis L.F., Gmelina arborea R.

Se trabajó con la metodología de la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (por sus siglas en inglés) ISTA. Quien para cada una de las especies proporciona las recomendaciones de sustrato y tiempo para las lecturas de la germinación.

Dichas especies forestales, fueron analizadas durante un año para conocer su comportamiento y en base a él, poder encontrar una correlación y predecir la germinación con respecto al tiempo de almacenamiento.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los lotes de semilla de unas 36 especies forestales, del Banco de Semillas Forestales (BANSEFOR) se conocen las viabilidades iniciales de los respectivos lotes, debido a pruebas iniciales de viabilidad(23).

Sin embargo, el comportamiento de la viabilidad durante el almacenamiento no se conoce. Consecuentemente en la comercialización de las semillas almacenadas en el BANSEFOR no se tiene la seguridad de su viabilidad, es decir, no se sabe plenamente su comportamiento en el almacén. No se sabe entonces el período cuando la semilla ha perdido su poder germinativo.

Las pruebas de viabilidades son un trabajo rutinario en los bancos de semilla ya que su monitoreo indica la pérdida ó ganancia de viabilidad en el almacén. Se realizan con la metodología internacional aprobada por el ISTA (International Seed Testing Association)(18), que indica las metodologías para la mayoría de cultivos existentes, en función de la anatomía de la planta, su morfología, y las propias características de la semilla.

El almacenamiento de semilla forestal es un factor determinante para garantizar la continuidad de las plantaciones comerciales como para planes de reforestación.

Las condiciones de almacenamiento que mantienen la viabilidad de las semillas, son aquellas que reducen la respiración y otros procesos metabólicos, sin dañar el embrión ni sustancias de reserva. Las más importantes son el contenido de humedad de la semilla, temperatura de almacenamiento, y modificación de la atmósfera de almacenamiento. De ellas, la interacción humedad-temperatura es la de mayor significado práctico.

En la actualidad, estudios similares sobre el comportamiento de la viabilidad con respecto al tiempo, de especies forestales de importancia económica, no se han realizado, aún siendo las especies propuestas para el estudio prioritarias para el Programa de Incentivos Forestales, **PINFOR**, en el quinquenio 2001-2005. Por lo que el beneficiado con este estudio es BANSEFOR-INAB, y los usuarios que adquieren las semillas para reforestación ó cualquier otro fin, ya que se estaría conociendo el tiempo óptimo para almacenar la semilla de estas especies, sin perder un significativo porcentaje de su viabilidad.

### **3. MARCO TEORICO**

#### **3.1 MARCO CONCEPTUAL**

##### **3.1.1 Definición de la Semilla**

Elemento reproductor de las plantas fanerógamas. En éstas, una vez fecundado el óvulo, el cigoto se desarrolla y cuando la nueva planta queda esbozada, el embrión se detiene, el rudimento seminal pierde agua, se endurecen los tegumentos y se convierte en semilla(27).

##### **3.1.2 Estructura de la Semilla**

Triviño (32) considera que la semilla consta esencialmente de un embrión, un tejido nutritivo de reserva y testa variable según la especie, una cubierta seminal que recubre y protege ambos. Es producida universalmente no sólo por las plantas con flores (angiospermas) sino también por los distintos tipos de plantas con conos y plantas afines (gimnospermas) (16).

Las semillas se forman a partir del óvulo fertilizado. En una semilla madura se distinguen tres partes (3,16):

A. Una planta diploide extremadamente pequeña, denominada embrión(43), es un joven esporofito parcialmente desarrollado y que no es más que el resultado de la fertilización de la ovocélula en el interior del saco embrionario por un núcleo masculino (3).

B. Abundante reserva alimenticia, ya sea en forma de tejido del endospermo o almacenada en los cotiledones del embrión (25). El endospermo se forma como resultado de la fusión entre el núcleo masculino generativo y los dos núcleos polares, formándose como resultado el núcleo endospermático triploide; en las gimnospermas el endospermo es un tejido del gametofito haploide (3).

C. Una cubierta protectora dura y resistente denominada testa ó cubierta de la semilla (16) es la que se forma a partir de los tegumentos del óvulo (3).

### **3.1.3 Factores que afectan la germinación de la semilla**

Triviño(32) menciona dos tipos de factores que afectan la germinación de las semillas: Intrínseco y Extrínsecos. Entre los primeros tenemos la viabilidad de las semillas, que es el período de tiempo durante el cual las semillas conservan su capacidad para germinar, y que es extremadamente variable, dependiendo de las condiciones de almacenamiento y del tipo de semilla.

Triviño(32) considera la longevidad, es decir, el tiempo que pueden permanecer viables, podemos agrupar las semillas en tres tipos:

- A. Semillas macrobióticas,
- B. Semillas mesobióticas y
- C. Semillas microbióticas.

Las macrobióticas, pueden germinar todavía después de decenas ó centenas de años. Se da en semillas con una envuelta seminal dura como las leguminosas.

Las mesobióticas, que son las más frecuentes, tienen una longevidad entre 3 y 15 años; en este caso se encuentran los cereales. Las semillas microbióticas no sobreviven mas de algunos días ó meses(3).

Triviño(32) menciona que los factores extrínsecos son: Agua, gases, temperatura, y en algunas semillas la luz.

### **3.1.3.1 Factores Externos**

#### **A. Agua**

El primer proceso que tiene lugar durante la germinación es la toma de agua por la semilla. Esta toma de agua se conoce como fase de imbibición, está determinada por tres factores: Composición química de la semilla, las semillas ricas en proteínas absorben gran cantidad de agua, mientras que las oleaginosas absorben menos; permeabilidad de la envuelta seminal y disponibilidad de agua en el medio ambiente(3).

La imbibición es un proceso físico sin ninguna relación con la viabilidad de las semillas, ya que ocurre igual en las semillas vivas que en las muertas por el calor. Durante la imbibición, las moléculas del solvente penetran en el interior de la semilla provocando un hinchamiento

y un aumento en el peso fresco de la misma, entre un 40% y un 50% del peso seco (3, 34).

La entrada de agua en el interior de las semillas de lugar a una dispersión de los coloides, necesarios para la vuelta a la vida activa, rehidrata las reservas alimenticias, que solo pueden transformarse en sustancias asequibles al embrión en presencia de agua. Los sistemas enzimáticos responsables de la hidrólisis de las sustancias de reserva sólo se activan en presencia de agua que los hidrate (3).

La entrada de agua en el interior de la semilla se debe exclusivamente a una diferencia del potencial hídrico entre la semilla y el medio ambiente. Este potencial hídrico es mucho más bajo en las semillas secas maduras que en el medio ambiente en condiciones normales.

Esta diferencia crea lo que se llama presión de inhibición(18).

## **B. Gases**

Según Triviño (32) la respiración es un proceso que requiere un consumo considerable de energía. En las células vivas, los principales procesos productores de energía son la respiración y la fermentación.

Ambos procesos implican un intercambio de gases  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ , entre las células y el medio ambiente. La germinación, por tanto estará profundamente afectada por la composición de la atmósfera circundante.

La mayoría de las semillas germinan bien en atmósfera normal con un 20% de Oxígeno y un 0.03% de CO<sub>2</sub>.

Sin embargo, existen algunas semillas que aumentan su porcentaje de germinación al disminuir el contenido de oxígeno por debajo del 20%.

Algunas semillas pueden resistir bien las condiciones de anaerobiosis. En arroz y en trigo se ha demostrado, sin embargo, estas condiciones de anaerobiosis conducen a la formación de plántulas anormales y que tales anomalías pueden corregirse por la presencia de oxígeno. El efecto de CO<sub>2</sub> es lo contrario al del oxígeno. La mayoría de las semillas no pueden germinar si se aumenta la concentración de CO<sub>2</sub> (21).

Esto es debido a que el oxígeno es suministrado al embrión a través de una cavidad interna y desde los espacios intercelulares de los tejidos seminales; un análisis del gas atrapado en el interior de la semilla revela la siguiente composición: 18.3% de oxígeno; 0.74% de dióxido de Carbono y 80.93% de nitrógeno (3).

### **C. Atmósfera**

La atmósfera gaseosa que rodea a las semillas maduras puede determinar si las semillas permanecen vivas.

Si se le extrae el aire al recipiente de las semillas y se reduce la presión de oxígeno, las semillas se conservan mejor que en el aire. La carencia de oxígeno retarda la respiración. Algunas semillas viven poco tiempo en el aire aún a bajas temperaturas. A menudo, pueden permanecer por muchos años en una atmósfera de nitrógeno o de hidrógeno a temperaturas cercanas a 4.4°C (40°F)(16).

Las semillas sembradas profundamente en el suelo, donde existen pequeñas cantidades de oxígeno, no vivirán. A medida que aumenta la profundidad de la semilla sembrada, la cantidad de oxígeno y la supervivencia de las semillas disminuye. Suelos húmedos ó pobremente drenados, también carecen de oxígeno e inhiben el proceso vital de la semilla. La mayoría de las semillas sumergidas en agua morirán, a menos que se haga burbujear aire dentro del agua(16).

Una disminución de oxígeno generalmente afecta drásticamente la germinación de la semilla cuando la temperatura o la respiración es elevada. Esto sucede debido a que las enzimas necesitan oxígeno para producir energía para el desarrollo del embrión. La energía se desprende cuando las enzimas combinan el oxígeno con varios compuestos de la célula(16,21).

Algunas veces sin embargo, la célula viviente no necesita elevadas cantidades de oxígeno para obtener energía de sus compuestos químicos. Algunas semillas tienen una abundancia de enzimas anaeróbicas, las cuales

funcionan sin necesidad de oxígeno. Estas enzimas producen energía para ciertos procesos vitales(16).

#### **D. Bióxido de Carbono**

El bióxido de carbono, que es el producto final de la respiración también tiene efectos muy notables en la viabilidad de la semilla. Si se acumula dentro de la semilla o en el suelo, alrededor de la semilla puede ocasionar daños severos(3).

El papel que desempeña el bióxido de carbono es difícil de estudiar debido a que las concentraciones del gas dentro o fuera de la semilla pueden variar ampliamente y los efectos ocasionados también varían con la temperatura. Las investigaciones han demostrado sin embargo, que la actividad de las enzimas más oxidantes y productoras de energía, se reducen con altos niveles de bióxido de carbono(16).

Hace quince años, se pensaba que este efecto inhibitorio era resultado de la disolución de bióxido de carbono en el líquido de las células del embrión, lo que aumenta la acidez(29).

La acumulación de un producto enzimático, como el bióxido de carbono, en la célula viviente, debilita la acción de la enzima producida. Como las semillas están almacenadas por largo tiempo, los factores que aumentan la cantidad de bióxido de carbono alrededor de

ellas, frecuentemente deben ser controlados, para asegurar su máxima viabilidad(29).

### **E. Temperatura**

Spurr (30) considera la temperatura como el principal y más influyente factor de la germinación y como es conocido universalmente que las semillas sólo germinan dentro de un cierto margen de temperatura. Si la temperatura es muy alta o muy baja, la germinación no tiene lugar aunque las demás condiciones sean favorables.

El límite inferior está alrededor de 0°C; como ejemplos de germinación a éstas temperaturas podemos citar a *Fagus silvática* y *Trifolium repens*, además de las especies alpinas que germinan a temperaturas muy próximas a los 0°C.

El óptimo oscila entre 25 y 31°C y el máximo entre 40 y 50°C, como ejemplos de éstos límites tenemos a *Cucumis Sativus*, que germina a 48°C. colocadas a una temperatura determinada, están aquellas otras que requieren una alternancia periódica de temperatura, como ocurre en *Oenothera biennis*, *Rumex crispus*, *Cynodon dactylon*, *Nicotiana tabacum*, *Poa trivialis*, entre otras(21).

El caso más frecuente es la alternancia diurna entre bajas y altas temperaturas, pareciendo que no la intensidad ni la duración del cambio de temperaturas son los agentes desencadenadores de la germinación, sino

que el propio cambio por sí, es el que actúa como agente desencadenante(16).

#### **F. Luz**

La luz no influye en la germinación de muchas clases de semillas, pero en otras, este fenómeno está controlado por la presencia o ausencia de ella(21). algunas semillas requieren de tratamientos especiales de iluminación para su germinación.

El efecto del sistema rojo infrarrojo fue observado inicialmente en la variedad de lechuga Gran Rapids en 1,950, los investigadores de Beltsville(18) postularon que la germinación estaba controlada por un solo sistema de pigmento; con luz roja se promueve la germinación y con luz infrarroja la germinación no se realiza(18).

#### 3.1.4 Factores que obstaculizan la germinación de la semilla

##### 3.1.4.1 Factores físicos

Los obstáculos físicos están asociados con la estructura de las cubiertas de la semilla y otros tejidos que rodean al embrión(16).

Estos tejidos generalmente son considerados para dar, principalmente protección al embrión contra daños mecánicos o contra los ataques de microorganismos. Pueden también actuar como obstáculos de la germinación.

Las cubiertas de algunas semillas son tan duras que mecánicamente impiden la expansión del embrión. En otras, las cubiertas son tan impermeables al agua, que la semilla permanece seca en el interior aunque sumergida en el agua(16,21).

Las cubiertas de la semilla y las membranas que la rodean también pueden actuar como obstáculos, impidiendo la entrada de oxígeno al embrión o, posiblemente, la salida de bióxido de carbono. La mayoría de las semillas necesitan una abundante provisión de oxígeno durante la germinación. Las membranas restringen su abastecimiento en algunas semillas, y los cambios resultantes en el metabolismo de ellas, impone un obstáculo(16).

#### **3.1.4.2 Factores Químicos**

Los factores químicos pueden estar presentes en los tejidos que rodean al embrión. Las semillas no germinan sino que hasta que la mayoría de las cubiertas, la del ovario o la pared del fruto, se han desprendido. Las semillas, por regla general, no germinan dentro del fruto. Ocasionalmente la germinación tiene lugar en la planta progenitora(16).

Las sustancias químicas inhibitoras de la germinación, impiden que la semilla germine dentro de los frutos. Los inhibidores también son encontrados en la cubierta de la semilla y en otras membranas que rodean al embrión.

La mayoría de los inhibidores no son específicos, impiden la germinación en muchas semillas de aquellas plantas en las cuales se han encontrado(16,21).

#### A. Fisiología de la Semilla

#### B. Latencia

Lauridsen(20) indica que la latencia es un estado de reposo que debe ser "roto por el tiempo o por condiciones especiales", antes que pueda germinar una semilla puesta en condiciones de temperatura y humedad apropiadas para su germinación.

Todas las semillas requieren de condiciones adecuadas de humedad y temperatura para la germinación y el crecimiento subsecuente de la plántula. Hasta que estas condiciones sean alcanzadas, la semilla permanecerá quiescente, desarrollando un nivel muy bajo de metabolismo y permaneciendo viva, pero no se desarrollarán los cambios metabólicos que en último término conducirán a la división celular, crecimiento y emergencia del embrión.

Otras semillas son aún más restrictivas en sus requisitos para la germinación.

Algunas semillas pueden necesitar condiciones o tratamientos de luz especiales, algunas requieren de tratamientos específicos de temperatura, y otras más requieren cantidades relativamente altas de agua para la

remoción de inhibidores químicos. Se dice que semillas con éstas necesidades especiales (además de suficiente humedad y temperatura apropiada) están latentes hasta que se llenan estas necesidades(25).

#### **3.1.4.2 Regulación de la Germinación**

Según Barceló(3) son varias las razones por las que se requiere que exista un control metabólico durante la germinación. Algunas de las más importantes son:

- A. Para que la actividad metabólica se active debe de existir condiciones adecuadas para que la germinación tenga éxito.
- B. Para asegurar la secuencia ordenada de los acontecimientos metabólicos durante la germinación.
- C. Para que los materiales de reserva sean utilizados con una eficiencia óptima.
- D. Para que la actividad metabólica durante la germinación, conduzca al establecimiento eficaz de una nueva planta.

Barceló(3) menciona en cuanto a los mecanismos que intervienen en la regulación de la germinación, que pueden considerarse en varios grupos muy definidos:

- a. Regulación ejercida por las cubiertas seminales y otras
- b. barreras e permeabilidad.
- c. Regulación ejercida por los requerimientos energéticos.
- d. Regulación ejercida por los acontecimientos metabólicos durante
- e. las primeras fases de la germinación.

- f. Regulación ejercida por la síntesis de activación de enzimas.
- g. Regulación ejercida por las hormonas y sustancias de
- h. crecimiento.

#### **3.1.4.4 Regulación ejercida por las cubiertas seminales y otras barreras de permeabilidad**

Las cubiertas seminales ejercen una profunda influencia en la capacidad de las semillas para germinar. Según Barceló(3) estas cubiertas pueden regular la germinación interfiriendo algunos de los procesos siguientes: toma de agua requerida para la imbibición, intercambio gaseoso, difusión de inhibidores endógenos, entre otros. Además, las cubiertas pueden ofrecer resistencia mecánica al crecimiento del embrión.

Las cubiertas de las especies impermeables contienen una mayor cantidad de compuestos fenólicos y una mayor actividad catecol oxidasa, por lo cual se sugiere, que la impermeabilidad al agua es el resultado de una acción de oscurecimiento de la cubierta seminal, al mismo tiempo se da la formación de quinonas por la acción de las catecol oxidasa sobre los fenoles; estas quinonas reaccionan con las proteínas de la cubierta seminal lo que provoca una especie de "curtido" de éstas proteínas que hacen las impermeables. Es probable que estas proteínas induzcan la deposición de cutina en las paredes celulares de las células de la cubierta(4).

El control de la actividad catecol-oxidasa puede encontrarse en un rápido aumento en su actividad, provocado por la activación del enzima preexistente, inducido por una brusca deshidratación durante la maduración de la semilla(3).

Además de las cubiertas seminales, también las membranas celulares pueden ser importantes como agentes reguladores de la germinación. De hecho, existen datos experimentales que parecen indicar la existencia de cambios en tales membranas durante las primeras fases de germinación. es lógico suponer, por tanto, que cualquier cambio metabólico que induzca cambios en la permeabilidad de las membranas en una semilla puede actuar como agente de control en la germinación(3).

#### **3.1.4.5 Regulación ejercida por los requerimientos energéticos**

La germinación de las semillas es un proceso fisiológico en el que tiene lugar el crecimiento y división celular, fenómenos ambos que requieren un aporte considerable de energía(3).

La pregunta aún sin contestar es cuál es la fuente inicial de energía y cómo y cuando son activados y controlados los procesos generadores de energía.

Existe la posibilidad que la fitina sea como la fuente inicial de energía, pero cabe preguntarse entonces cual es la causa del brusco incremento en ATP(Trifosfato de Adenosina) que se observa durante la fase

de inhibición. Generalmente, el aumento en ATP (Trifosfato de Adenosina) va acompañado de un descenso en las concentraciones de AMP (Monofosfato de Adenosina) y de ADP (Difosfato de Adenosina), lo que implica unas variaciones muy importantes desde el punto de vista de la regulación metabólica de la carga energética(4).

Cuando las concentraciones de ATP (Trifosfato de Adenosina), ADP (Difosfato de Adenosina) y AMP (Monofosfato de Adenosina) dentro de una célula son tales que los valores de la carga energética están por encima de 0.5, los sistemas que utilizan ATP (Trifosfato de Adenosina) aumentan su actividad, y por encima de 0.8 las células metabolizan y se dividen muy activamente; valores por debajo de 0.5 son indicativos de células en reposo metabólico(4).

Otra posibilidad aparte de la ya descartada de la fitina, y que explicaría el aumento brusco en la concentración de ATP (Trifosfato de Adenosina), podría ser la reacción canalizada por el enzima ademilato kinasa, aunque parece poco probable, ya que de ser así el aumento de ATP (Trifosfato de Adenosina) debería corresponderse con su descenso considerable en la concentración de ADP (Difosfato de Adenosina), lo cual no ocurre(4).

La glucólisis tampoco parece ser responsable del aumento en ATP durante los comienzos de la germinación, ya que como se ha encontrado en varias semillas, la máxima actividad glucolítica coincide con los niveles

mas bajos de carga energética, y que según ésta aumenta, disminuye bruscamente la actividad de ésta ruta metabólica.

Todo parece indicar que la glucólisis comienza a funcionar en semillas tan pronto como se comienza la fase de inhibición, pero que por ella misma no ejerce ningún papel regulador en la germinación(3).

Otra ruta que puede desempeñar un papel regulador de otros procesos fisiológicos durante las fases de la germinación es la ruta de las pentosas fosfato. La contribución del ciclo de las pentosas fosfato al catabolismo de la glucosa durante la germinación, puede determinarse midiendo el cociente C6/C1, ya que cualquier disminución del mismo puede interpretarse como una mayor participación de la ruta de las pentosas en relación con la vía normal EMP-TCA(3).

Mediante esta técnica se ha demostrado que la ruta de las pentosas juegan un papel muy importante en el catabolismo de la glucosa durante las primeras fases de la germinación en semillas. El papel fundamental de esta ruta podría ser el de suministrar los precursores necesarios para la síntesis de nucleótidos y ácidos nucleicos, así como el NADPH(Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato reducida) necesario para algunas reacciones biosintéticas(21).

Otro aspecto interesante a considerar dentro de este apartado, es el del comportamiento de la actividad mitocondrial durante la germinación.

Gran cantidad de evidencia experimental parece indicar que las mitocondrias aisladas de semillas en reposo no son funcionales, probablemente por una deficiencia en citocromo C y a la falta, por tanto, de acoplamiento entre fosforilación y respiración. También se tienen datos que parecen indicar que las membranas mitocondriales, todas ellas muy frágiles, incorporan proteínas durante la fase de inhibición, lo que les permite una mayor estabilidad y, por consiguiente, una mayor funcionalidad de las mitocondrias(21).

Todos estos resultados sugieren el siguiente mecanismo de control: en semillas secas, existen mitocondrias parcialmente preformadas que son inactivas, por lo cual no existe fosforilación oxidativa. En estas mitocondrias faltan algunos componentes de las membranas, probablemente proteínas y lípidos. Estos son incorporados durante la inhibición, y probablemente esta incorporación está también regulada por algún mecanismo desconocido(3).

De esta forma se asegura el que las mitocondrias no alcancen su completa funcionalidad hasta que las condiciones para germinar sean adecuadas y permitan que esta se desarrolle con éxito. El aumento respiratorio durante la germinación, subsecuente con la formación de mitocondrias funcionales, es un fenómeno repetidamente demostrado en semilla. Sin embargo, el mecanismo de su control no ha sido, por ahora, identificado satisfactoriamente.

Posiblemente durante las primeras horas de la germinación, la disponibilidad de un sustrato respiratorio sea importante a este respecto(4).

En esos momentos los materiales de reserva permanecen intactos, y la respiración, por tanto, deberá ser mantenida por la utilización rápida de pequeñas cantidades de mono, di y trisacáridos. De cualquier forma lo que parece evidente es que en un sistema respiratorio eficiente es una condición indispensable para que la germinación pueda realizarse (3).

#### **3.1.4.6 Regulación ejercida por los acontecimientos metabólicos durante las primeras fases de la germinación**

Durante las primeras fases de la germinación comienzan a funcionar muchos sistemas enzimáticos, responsables muchos de ellos de la degradación de los materiales de reserva. Los productos resultantes de esta degradación pueden ser utilizados como sustratos respiratorios, o bien, transportados al embrión. En general, todas las actividades enzimáticas implicadas en la degradación del almidón sufren un incremento considerable durante la germinación(4).

Un aspecto interesante y ampliamente estudiado es el del control de estas enzimas durante la germinación. si se realiza una separación de enzimas mediante electroforesis, es frecuente que cada actividad aparezca representada por un número variable de isoenzimas y el zimograma varía tanto cualitativa como cuantitativamente. Todas estas variaciones

obedecen a un sistema de control por parte de las semillas, que es diferente para los distintos tipos de actividad enzimática.

Desde que se describió la inducción hormonal de la síntesis de amilasa en capas de aleurona de cebada, ha habido una tendencia a asumir que la degradación de los carbohidratos era inducida en todas las semillas por el ácido giberélico(4).

En cereales, las alfa-amilasas se sintetizan en el escutelo y son transportadas al endospermo, lugar donde se realiza la hidrólisis del almidón. Esta síntesis está influenciada por el embrión y esta influencia puede ser reemplazada, al menos parcialmente, añadiendo giberelinas al medio de incubación. Por otra parte, parecen existir otras interacciones hormonales, siempre en el embrión, que controlan la síntesis de alfa-amilasa; así, las auxinas colaboran en la estimulación mientras que las cito quininas pueden producir una cierta inhibición como se ha demostrado en granos de cebada(21).

En cualquier caso, la degradación de carbohidratos es un proceso que ocurre relativamente tarde durante la germinación, por lo que no es probable que tenga una función reguladora en el proceso.

Parece mucho mas significativa a este respecto la degradación inicial de oligosacáridos que produce una liberación rápida de

monosacáridos que sirven de sustratos respiratorios, acontecimiento vital en el inicio de la germinación(3).

Un problema muy interesante y sugestivo es el del control de la actividad proteolítica y la consiguiente movilización de las proteínas se reserva durante la germinación. un hecho universalmente observado durante la germinación es el aumento paralelo de las actividades proteolíticas junto con el de otros enzimas que intervienen en procesos anabólicos. Este proceso requiere, sin duda, un sofisticado mecanismo de control.

Algunos de los mecanismos de control mas frecuentemente estudiados incluyen(3): Control hormonal de la síntesis de novo; inhibidores endógenos; Zimógenos, compartimentación; PH; especificidad de sustrato; inhibición por producto final.

Quizá de los mecanismos, el mecanismo más ampliamente estudiado sea el de la regulación hormonal de la síntesis de novo; aunque los resultados obtenidos son muy contradictorios, pues mientras en algunas semillas, como garbanzo y guisante, la eliminación del embrión provoca una disminución considerable en la actividad proteolítica, en otras como en judía se produce un aumento en las semillas sin embrión(3).

Se ha realizado un considerable trabajo en el estudio de los inhibidores endógenos de proteasas, encontrados fundamentalmente en

semillas. La mayoría de estos inhibidores son de naturaleza proteica e inhiben proteasas de origen animal y microbiano, y son específicas frente a actividades tipo tripsina y quimotripsina. Aunque la hipótesis de considerar que tales inhibidores pueden tener un papel importante en el control de las proteasas de origen vegetal es muy atractiva, la mayoría de los resultados obtenidos hasta ahora han sido negativos, por lo que parece que su papel es exclusivamente en la protección vegetal contra microorganismos e insectos(4).

La especificidad de sustrato y la compartimentación ofrecen otros mecanismos de control de la actividad proteásica. De hecho podrían ser la razón fundamental por la que no se produce la destrucción de otras enzimas por parte de los proteolíticos. La compartimentación podría darse entre los cuerpos proteicos y el citoplasma(21).

No se tienen datos muy exactos sobre los posibles mecanismos de regulación de la actividad lipásica, aunque en algunas semillas como trigo, parece que se encuentra bajo regulación hormonal(21).

#### **3.1.4.7 Regulación ejercida por la síntesis y activación de enzimas**

Uno de los hechos más característicos sobre la germinación de semillas es el aumento de actividad de casi todos los sistemas enzimáticos junto con la aparición de otros nuevos. Estas enzimas pueden clasificarse en varios grupos(3):

- A. Los que se activan instantáneamente tan pronto comienza la imbibición y que fueron formados durante la maduración de la semilla.
- B. Los que se activan al cabo de varias horas y que requieren algún factor más además de la imbibición.
- C. Los que se activan más tarde y cuya aparición requiere síntesis de proteínas pero no de mRNA (Ácido Ribonucléico mensajero).
- D. Por último, aquellos que requieren síntesis de proteínas de mRNA (Ácido Ribonucléico mensajero) y activación génica.

En los últimos años, gran parte de los trabajos sobre el control de la germinación han estado dedicados a la elucidación de los mecanismos de la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos durante las primeras horas de la germinación, siendo la demostración de la existencia de una mRNA (Ácido Ribonucléico mensajero) preexistente de vida larga en las semillas, en uno de los aspectos más discutidos en relación con este tema.

Evidencia experimental sobre la existencia de un mRNA (Ácido Ribonucléico mensajero) preexistente se basa en las siguientes observaciones durante los últimos diez años, tanto en mono como en dicotiledóneas(3):

- a) Reanudación de las síntesis de proteínas *in vivo* antes de que se detecte síntesis de RNA (Ácido Ribonucléico).
- b) Síntesis de proteínas inhibiendo la síntesis de RNA (Ácido Ribonucléico).

- c) Formación de polisomas durante la germinación en ausencia de síntesis de RNA(Ácido Ribonucléico) o cuando se inhibe su síntesis.
- d) Aislamiento de RNA(Ácido Ribonucléico) activo a partir de semillas secas.
- e) Aislamiento de RNA(Ácido Ribonucléico) (poli A) a partir de semillas secas.
- f) Demostración de la síntesis de novo de algunas enzimas durante la germinación cuando se inhibe de RNA(Ácido Ribonucléico).

De todos los aspectos se podría destacar, por su creciente interés en los últimos años, el relacionado con el aislamiento de RNA(poli A) en semillas. Está demostrada la existencia de células eucarióticas, de moléculas de mRNA(Ácido Ribonucléico mensajero) que llevan covalentemente unidas en su extremo 3 largas secuencias de adenina, lo que permite su fácil aislamiento mediante cromatografía de afinidad en columnas de poli U-sefarosa o de oligo dT-celulosa. Así, ha sido posible demostrar su existencia y funcionamiento como mRNA(Ácido Ribonucléico mensajero) en embriones de arroz, trigo, rábano, algodón y en cotiledones de semillas secas de garbanzo(3).

Se ha sugerido que el mRNA(Ácido Ribonucléico mensajero) preexistente de vida larga podría codificar las enzimas y que generalmente no están controladas ni por influencias alotéricas ni por acción de masas. Por otra parte, las enzimas del metabolismo intermediario, cuyo nivel celular requiere un control mucho mas sensibles

pueden estar codificados por el mRNA (Ácido Ribonucléico mensajero) sintetizado de novo durante la germinación y cuya síntesis puede estar a su vez, estar regulada por las condiciones celulares. La activación de algunas enzimas durante la germinación de lechuga y de guisante.

Los criterios utilizados para demostrar que se trataba de la activación fueron la no inhibición de la aparición de la actividad enzimática por inhibidores de la síntesis proteica, y la no incorporación de material radiactivo y formación muy rápida del enzima, todo lo cual sugiere la formación auto catalítica a partir de una forma precursora inactiva(21).

#### **3.1.4.8 Regulación ejercida por las hormonas y sustancias de crecimiento**

Durante los últimos años, un número considerable de trabajos ha venido a demostrar que algún factor producido por el embrión puede regular la aparición de varias actividades enzimáticas en los cotiledones o endospermo. El hecho de que el embrión haya podido ser reemplazado en varios casos por la aplicación exógena de hormonas, ha hecho pensar a muchos fisiólogos que este control ejercido por el embrión es de naturaleza hormonal. Así, se ha encontrado cómo el metabolismo protéico en cotiledones de guisante se encuentra regulado por algún factor producido por el embrión; en cotiledones de calabaza la aplicación exógena de cito quininas puede reemplazar al embrión en el control de la actividad proteo lítica (3,4).

Es muy conocido, ya que lo hemos citado anteriormente, el caso de la giberalina en la inducción de la síntesis de alfa-amilasa en el endospermo de cereales. También en semillas de garbanzo algún factor producido por el embrión regula la actividad amilásica, aunque ni las giberelinas ni las citoquininas pueden sustituir al embrión(3).

La germinación es, probablemente, el estado más vulnerable por el que pasa una planta durante su ciclo biológico. Cuanto mayor sea el período que transcurra entre el comienzo de la imbibición y la emergencia de la plántula por encima del suelo para comenzar su vida independiente, mayores serán las posibilidades que tenga esa planta de vivir(3,4,36).

Por ello, una de las principales condiciones que tiene una planta para asegurar su supervivencia es la de una germinación rápida, regulada con precisión, que asegure el que la semilla sólo germine cuando las condiciones sean adecuadas para que tenga éxito, que permita que los acontecimientos metabólicos, que van a desarrollarse con extraordinaria intensidad y variedad, durante las primeras fases de la germinación, no se interfieran unos con otros(3).

### 3.1.5 Descripción taxonómica de las especies a trabajar

#### 3.1.5.1 Taxonomía del A. guatemalensis Redher.

Aguilar, Ponciano y Dary (1,988)(2) indican que para el género Abies el doctor G.L. Lundell propuso una nueva especie para Guatemala, en 1,940, siendo Abies tacanensis Lundell. Pero en 1,963 esta especie fue transformada al rango de variedad por el profesor Máximo Martínez, denominándose Abies guatemalensis var. tacanensis (Lundell) Martínez. González(1,979)(15) indica que Martínez reconoció en 1,963 otra variedad de A.guatemalensis var. Jaliscana Mart. que fue identificada inicialmente en Jalisco y sus alrededores.

Los criterios básicos para hacer esta nueva clasificación a nivel de variedad se fundamentaron en que Abies guatemalensis en Guatemala, "porta sus hojas con el ápice marginado, la hendidura longitudinal del limbo de la cara superior está levemente carcada y los haces fibrovasculares se ven contiguos en los cortes transversales características que no presenta las especie original"(2).

Anteriormente se aseguraba que el A. guatemalensis (HBK) Schl. Ed. Cham. Linneae v.11.1863, existía en Guatemala, sin embargo se comprobó que esto no es posible debido a que solamente crece en regiones latitudinales más al norte.

**A. Clasificación taxonómica según el sistema Cronquist(12)**

REINO	Vegetal
SUBREINO	Embriobionta
DIVISION	Pinophyta
CLASE	Pinópsida
ORDEN	Pinales
FAMILIA	Pinaceae
GENERO	<u>Abies</u>
ESPECIE	<u>Abies guatemalensis</u> Redher.

**B. NOMBRES COMUNES:** Pashaque, Pinabete y Abeto.

**C. Descripción botánica del A. guatemalensis Redher.**

Según Stransburger(31) esta planta pertenece a la familia Pinaceae, posee hojas lineales dispuestas helicoidalmente y sus órganos femeninos se convierten en estróbilos leñosos(26,27). Estos árboles aciculifolios tienen sus hojas verdes todo el año y más o menos xeromórfas.

Spurr(30) indica que en cuanto a su reproducción, esta es básicamente sexual, por la cual éstos árboles mantienen sus poblaciones, se adaptan a las condiciones cambiantes del medio ambiente y persisten de esta manera, cuando las células espermáticas masculinas y los óvulos femeninos se unen para formar un cigoto(24).

De acuerdo con Strasburger(31) los órganos sexuales del pinabete son estrobiláceos, los masculinos "tienen unas cuantas hojitas escamiformes en su parte inferior a modo de pericarpio sencillo y por encima numerosos estambres dispuestos helicoidalmente".

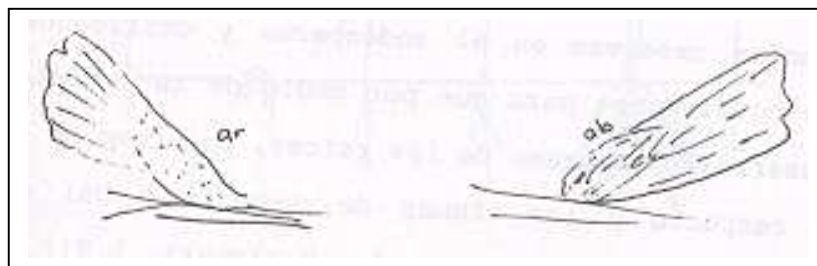
Spurr (30) menciona que los órganos femeninos "se parecen al principio a los masculinos, pues están constituidos por un brote corto rodeado en la base por algunas escamas involucrables".

Strasburger(31) indica que se insertan en el eje, dispuesto helicoidalmente, numerosas escamas tectrices estériles, y de las axilas de cada una brota una escama fructífera donde se encuentra la semilla.

Spurr (30) manifiesta que las escamas fructíferas se desarrollan al mismo tiempo ó después de las tectrices y crecen considerablemente al transformarse las partes sexuales en estróbilos, constituyendo las escamas del estróbilo. El estróbilo o cono mide en su madurez entre 8.5 a 11.5 centímetros de largo y entre 4.5 a 5.0 centímetros de diámetro, siendo cilíndrico y resinoso.

Los órganos femeninos siempre se encuentran "orientados hacia lo alto cuando están a punto de ser polinizadas" (33). Esta posición la conservan hasta llegar a la madurez de los estróbilos, y entonces las escamas se desprenden aisladamente del raquis. Las semillas miden entre 8 a 10 milímetros de largo, son de color castaño claro, están provistas de

una ala adobada y membrana como órgano de vuelo que mide hasta 15 milímetros de ancho **figura 1**. Aguilar(1,2) menciona que la época de producción de semillas en bosques del país es durante los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero.



**Figura 1** semillas aladas de Abies guatemalensis Redher.

Ar: vistas por arriba, Ab: vistas por abajo, (tomado de Strasburger, E.;Noll, F.;Schimper, A.F.W.1,953.ref 33)

Esta especie tiene corteza ligeramente surcada y de color gris moreno en árboles adultos, mientras que en los árboles jóvenes la corteza es de color gris-blancuecino. Las raíces crecen asociadas con determinadas especies de hongos que se encuentran en el suelo, la asociación de los tejidos de las raíces con el micelio del hongo se conoce como micorriza(1,36). Los árboles llegan a medir hasta 50 metros de altura, con diámetros a la altura del pecho DAP hasta 1.6metros (2,12,31).

La madera es de color en la zona de la albura, y rojizo en la zona medular, con olor fuerte, semidura y altamente resistente al ataque del gorgojo del pino(1).

#### **D. Germinación de las semillas de A. guatemalensis Redher**

La germinación de las semillas de pinabete Abies guatemalensis Redher es epigea, la cual consiste en que los cotiledones, se elevan sobre la superficie por la elongación del hipo cotilo, siendo el patrón típico de germinación de casi todas las coníferas(32).

Las especies como el pinabete con desarrollo epigeo, almacenan relativamente pocas reservas en el endosperma y cotiledones, liberando rápidamente los cotiledones para que por medio de la fotosíntesis pueda estimular el desarrollo temprano de las raíces, tal como se aprecia en la **figura 2**. Con respecto a las etapas de desarrollo del cotiledón, reconocen cuatro etapas, según Marschall y Kozlowski, 1,977(28).

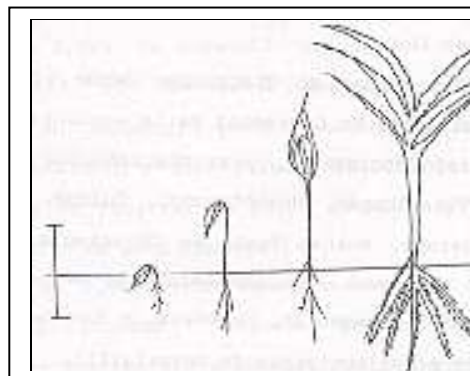
En las células del cotiledón están distribuidas reservas alimenticias (grasas, carbohidratos, proteínas) y nutrientes minerales. Las reservas y los nutrientes se utilizan durante los primeros días de crecimiento.

Cuando son expuestos a la luz se producen cambios que empiezan con el desarrollo de cloroplastos y la síntesis de clorofila, desarrollan los

estomas, se expanden las células epidérmicas y se forman en el mesófilo los espacios intercelulares.

Al mismo tiempo se da el desarrollo de las yemas del ápice laterales posteriores del tallo y de la raíz. En algunas especies forestales comienza la fotosíntesis apreciable de 4 ó 6 días después de emerger la radícula. Los picos de actividad fotosintética aparecen de 8 a 15 días después y continúan durante 4 semanas.

Los cotiledones son extremadamente importantes para el desarrollo de las plántulas durante las primeras semanas. Cualquier daño que sufra causado por animales, heladas, entre otros., inhibirán el crecimiento de la planta(2).



**Figura 2** germinación epigea y desarrollo de la plántula de Abies guatemalensis Redher. A: 1, 2, 6 y 10 días;(tomado de Spurr, S.H.; B.V. 1,982 ref 31).

### 3.1.5.2 Descripción de Pinus oocarpa Schiede.

#### A. Taxonomía de Pinus oocarpa

**Familia: Pinaceae**

Sinónimos: *Pinus oocarpoides* Lindl; *Pinus oocarpa* subespecie.

*Microphylla* Shaw; *Pinus oocarpa* subespecie *trifoliata* Mart;

*Pinus oocarpa* subespecie *Ochoterenai*(10).

#### B. Nombres Comunes

Pino prieto, pino resinoso, ocote macho(México); pino colorado, pino ocote, pino (América central).

#### C. Descripción Botánica

Árbol monoico, de copa irregular con ángulo de ramificación variable; ramas finas y relativamente ralas. Alcanza alturas de hasta 45 cm, con diámetros de 75 a 90 cm. el fuste es recto y cilíndrico, la corteza fuertemente fisurada de 5 a 10 cm. de grueso; se descortezaba en grandes bandas irregulares, escamosas de color rojizo oscuro a grisáceo.

Las hojas son sículas de 14 a 25 cm. de largo y hasta 1.5 mm de ancho, con 3 a 8 canales resiníferos normalmente aceptables, de color verde brillante, erguidas, gruesas y ásperas, con los bordes finamente aserrados; unidas en grupos de cinco. Las vainas de los fascículos son persistentes, oscuras de 15 a 25 mm de largo. Los estróbilos masculinos son examinados, de 1 a 3 cm de largo por 1 cm de ancho y los estróbilos

femeninos si son de mayor tamaño y producen en el extremo de las ramitas en cantidad mucho mejor que los masculinos(10).

La madera presenta una ligera diferencia entre albura y duramen. la albura es de color amarillo cremoso y el duramen café pálido, de textura fina, con brillo de mediano a alto, veteado pronunciado, con anillos de crecimiento visibles. Su peso específico varía de 0.51 a 0.55 gr/cm<sup>3</sup>, moderadamente pesada. Es fácil de preservar, secar y trabajar. Moderadamente resistente a la pudrición blanca y café y resistente al ataque de termitas. Es utilizada en construcción en general, muebles, ebanistería, molduras, paredes interiores, artesanías y para pulpa y papel.

#### **D. Floración y fructificación**

##### **a. Flores**

En Honduras la floración se inicia en julio, sin embargo las primeras flores se ven en septiembre. En México la floración ocurre de noviembre a marzo, siendo más abundante en diciembre y enero.

La polinización anemófila comienza a principios de diciembre y termina a mediados de enero.

##### **b. Frutos**

Son conos ovoides, de 5 a 10cm de largo y de 5 a 8cm de diámetro, a veces mas largos, de color café oscuro, lustrosos, con escamas leñosas. Se agrupan de 2 a 3 en las ramas.

### **c. Semillas**

Pequeñas, triangulares, de color café oscuro, de 4 a 7mm de longitud; con alas de 10 a 12mm de largo, articulares y engrosadas en la base, donde se unen a la semilla. Poseyendo de 5 a 7 cotiledones.

### **d. Sistema de recolección y Rendimiento**

La maduración de los conos generalmente ocurre 26 meses después de la polinización(de enero a marzo)(10), eso facilita la apertura de los conos por la ocurrencia de altas temperaturas(época seca). La maduración de los conos no es uniforme sino escalonada. La época de mayor diseminación ocurre de marzo a mayo en América Central. Los conos aún cerrados deben ser recolectados directamente del árbol, cuando presentan una coloración medio verde-café canela. Se cortan, con tijeras podadoras. Las ramitas conteniendo los conos, evitando el daño a las ramas frágiles. Un cono contiene aproximadamente 36 semillas y un árbol contiene en promedio 112 conos(10). Los rendimientos usuales según la literatura varían de 0.25 a 0.50 Kg. de semillas por árbol(10).

### **e. Procesamiento de frutos y semillas**

Después de recolectados los conos son transportados en sacos de yute a un lugar donde puedan ser extendidos sobre lonas a la sombra para permitir su postmaduración. Luego se secan los conos al sol en tarimas. Una vez abiertos se extraen las semillas golpeándolas. La semilla pasa a una desatadora y luego la mezcla de semillas, alas y basura son pasadas a una limpiadora con el objeto de eliminar las impurezas. Finalmente se

homogeniza el lote y se seca a un nivel de humedad adecuado para su almacenamiento, exponiendo las semillas al sol y removiéndolas constantemente(10).

## **f. Calidad física y germinación**

### *I. Calidad Física*

Generalmente existen de 41,000 a 65,000 semillas/Kg. Se han reportado porcentajes de germinación de 70 y 90%(10), y porcentajes de pureza de 90 a 99%.

### *II. Germinación*

La germinación es epigea y se inicia a los siete días después de la siembra y finaliza a los 17 días. Se reportan porcentajes de germinación superiores a 80%(10).

### *III. Almacenamiento*

Las semillas son ortodoxas y almacenadas en bolsas de polietileno herméticamente selladas, a bajas temperaturas (de 3 a 4°C), con un contenido de humedad de 6 a 8% mantienen su poder germinativo superior al 80%(10).

### 3.1.5.3 Descripción de Cupressus lusitánica Mill

#### A. Taxonomía y características botánicas del cipres

El ciprés Cupressus lusitánica Mill. Pertenece el género Cupressus de la tribu cupressoides, familia Cupressaceae del orden Coníferas(10).

Es una especie que presenta muchas variedades de forma y aspecto, por lo que para establecerlo como plantación pura, es necesario una cuidadosa selección de las semillas(23).

Esta variabilidad, entre otras características, aún no permite que los botánicos establezcan su origen y los nombres vulgares y científicos con que se le conoce. Entre los nombres vulgares y científicos se le conocen los siguientes sinónimos:

Sinónimos Botánicos:

Cupressus lusitánica Mill. (1768)(14);

C. benthamii Endl;

C. lusitánica var. benthamii (15);

C. lindleyi Klotsch (1857)(13),

C. glauca Link (1786)(25);

C. coulteri Forbes (1839) (13,25);

Sinónimos Comunes:

Ciprés, Ciprés lusitánico, Ciprés de Goa; Cedro de goa, Ciprés du Portugal(8,26); Mexican Ciprés(13); ciprés Mexicano(18);pino(8); Cedro blanco(35).

Es una especie siempre verde con el tronco recto, frecuentemente columnar. Por lo general la parte baja del tronco de los árboles maduros presenta acanaladuras. Alcanza más de 40 metros de alto y diámetros mayores de 100cm(18).

La corteza es comúnmente delgada de 5 a 15mm(5.60) de estructura fibrosa, dividida en tiras longitudinales más o menos entrelazadas(23), el color va del violáceo al gris oscuro; café amarillento oscuro por dentro y ceniciento por fuera según la forma y edad. La corteza de las ramitas primarias es lisa, a veces algo escamosa, de color oscuro violáceo, con frecuencia levemente ceniciento(25).

Las ramas longitudinalmente dispuestas, se reducen hacia el ápice para formar una copa cónica bastante característica; las ramitas secundarias y últimas con alternas o irregularmente colocadas, su color varía del verde claro al verde amarillo azulado(36).

Las hojas son escamiformes, pero de diferentes forma y tamaño, de 16mm de largo. Se presentan por lo general en cuatro hileras adheridas a las ramitas(25). las hojas son comúnmente ovaladas ó puntiagudas, poseen en el dorso una glándula más ó menos notoria. Las hojas de los ejes son

más grandes, ovadas y generalmente agudas, en cambio las ramitas secundarias suelen ser anchas y cortas y las de los renuevos son muy largas y agudas(7,36).

#### **B. Sistema de Recolección y Rendimiento**

El cono madura al segundo año, y se torna duro y leñoso; son colectados cuando adquieren un color café rojizo marrón ó castaño. Antes que se abran los conos se recolectan directamente del árbol. Las ramitas conteniendo los frutos se cortan con tijeras podadoras evitando el daño a las ramas frágiles. Un fruto puede contener de 75 a 120 semillas. Los rendimientos usuales varían de 0.5 a 1 Kg de semillas por árbol(9).

#### **C. Procesamiento de frutos y semillas**

Después de recolectados los conos deben ser transportados en sacos de yute. Durante dos días por períodos de 3 a 4 horas se secan al sol para que liberen las semillas. Después se colocan en tamices, y se secan a la sombra por dos días, para su posterior purificación. Las semillas se colocan en un recipiente con agua a temperatura ambiente se agitan y se dejan por 20 minutos. Después se desecha todo el material que flota porque no es viable. Las semillas que quedan en el fondo de recipiente se secan al sol sobre mallas durante un día, por 3 ó 4 horas.

## D. Calidad física y germinación

### I. Calidad Física

Generalmente existen entre 150,000 a 200,000 semillas/kg. En lotes no purificados se han reportado porcentajes de germinación entre 10 a 20%(10). En lotes purificados por flotación los porcentajes de pureza varían entre 95 y 99%.

### II. Germinación

La germinación es epigea y ocurre en un plazo de 10 a 30 días. El porcentaje de germinación es usualmente bajo, se estima entre 10 y 20%(9).

### III. Tratamientos Pregerminativos

La especie no requiere de tratamientos pre-germinativos.

Por lo general se halla en rodales puros; sin embargo, a veces se encuentra asociado con Pinus montezuma var. Rudis, Pinus ayacahuite, Abies religiosa, y Abies guatemalensis y árboles de hoja ancha como Prunus sp., Cornus sp., y varias Lauraceae, y Ericaceae(18).

Es una especie heliófila, sin embargo observaciones hechas en Costa Rica indican que en los primeros años tolera la sombra, lo que se confirma, agregando que llega hasta 3 metros de alto, siempre que el dosel no sea demasiado denso.

El ciprés se adapta a condiciones de clima y suelo mucho mas variadas que en los límites de su distribución natural(20). resiste la helada, la nieve(20), la sequía(25). se establece satisfactoriamente en suelos erosionados, pero su crecimiento es lento en los suelos muy erosionados. En suelos buenos, húmedos, y con clima fresco es un rápido productor de madera(19,20,22).

Después de incendios actúa como especie pionera, (siempre que queden porta granos (5)), debido a que sus semillas son muy livianas y los frutos pueden mantenerse sin abrir por dos ó más años(18), a este hecho se debe que existan rodales uniformes en edad dentro de la asociación.

#### **E. Almacenamiento**

Las semillas son ortodoxas y pueden ser almacenadas a 5°C y un contenido de humedad de 7 a 10% con la garantía de que su poder germinativo puede conservarse por un año sin tratamiento previo(9).

#### **F. Problemas fitosanitarios**

En las semillas y plántulas se han reportado daños de *Fusarium* sp. Y *Verticillum* sp.; aunque en bajas proporciones. Existen algunos hongos, insectos y bacterias que se reportan como problemas para el ciprés en vivero. El hongo *Pestalotia* sp. Causa los principales problemas en plantaciones en Costa Rica. Sin embargo investigaciones realizadas determinaron que los daños causados en el 70% de los casos se encontraban entre 0 y 5% del follaje. Hasta ahora la práctica más común en el control

de los focos de infección ha sido la eliminación de los árboles infectados(9).

#### 3.1.5.4 Descripción de Tectona grandis L.F.

Nombre botánico: Tectona grandis L.F.

Nombre común: teca, teak, teck

Familia: Verbenaceae

##### A. Hábitat natural

La teca es originaria de los Bosques decídúos húmedos y secos del trópico de la India, Lao, Myanmar(Burma) y Tailandia, en las latitudes 12 a 25°N, y se adapta bien en Malasia, Indonesia y en otros países comprendidos en las latitudes 28°N a 18°S. en los bosques húmedos decídúos está en asociación con Gmelina arbórea, y en los bosques secos decídúos con Cassia fistula(5). Se desarrolla en áreas con una precipitación de 760 a 5,000mm, pero su mejor desarrollo se dá entre los 1300 y 3800mm, con una estación seca definida(5).

Se ha plantado con fines comerciales en el trópico cálido, especialmente en áreas inferiores a los 1,000 metros de elevación, con una estación seca definida y una precipitación superior a los 1000(5). Por otra parte se reportó que durante 1,978 en América Central y el Caribe, habían 14,000 ha. De plantaciones y se estimó que para 1994 habrían 18,000 ha.

## B. Genética

La teca está recibiendo un considerable interés en la investigación genética, lo cual es justificable debido a la calidad de la madera y amplia utilización, su rápido crecimiento en una gran variedad de sitios y su fácil reconocimiento, fructificación abundante y frecuente, fácil injerto de ramas y yemas(5). Y las estacas de árboles establecidos producen raíz consistentemente. En el pasado, la mejor madera procedía de Myanmar y Tailandia. La variedad Tenasserim-Trinidad he sido reportada como la más aconsejable en la región centroamericana y del Caribe(5). La variedad y el centro de diversificación más grande probablemente está en el centro de la India. Se están llevando a cabo varias investigaciones de diversas procedencias internacionales, todas relativamente jóvenes. Posiblemente, la más conocida es la de DANIDA(5).

Entre los hallazgos se sabe que los clones difieren en resistencia a la *Hablaea puera* Cram. La iniciación de la floración y por lo tanto, la altura comercial, es al menos parcialmente controlada genéticamente. Varios investigadores han encontrado que la rectitud, la cilíndricapacidad, las gambas y el acanalado, están influidas fuertemente por los árboles paternos.

La polinización se lleva a cabo por medio de al menos 20 especies de insectos de los órdenes Hymenóptera y Díptera(5), principalmente por abejones, abejas y avispas y tal vez en parte por el viento. Parece que la auto polinización es anormal y dañina. En teca ocurre la floración

precoz y en los reportes iniciales de los huertos semilleros se les ha favorecido demasiado. Sin embargo, debido a que la época de floración es controlada, al menos parcialmente por la genética(5), y la floración temprana limita el largo comercial del tronco, por eso se debe seleccionar para obtener floración tardía, no precoz. En varios países se han llevado a cabo con éxito, cultivos de tejidos(5). No obstante, su aplicación comercial espera a que se demuestre que los árboles donantes son genéticamente superiores.

### **C. Propagación y Establecimiento**

#### **a. Frutos y semillas**

La teca de más de 10 años da frutos abundantes. La mayoría de los años no son aconsejables flores y frutos precoces en el tallo principal, porque limitan la altura comercial del tronco. Hay de 800 a 3,100 frutos por kilogramo, de los cuales un tercio contienen de dos a cuatro semillas(5). Las semillas secas se pueden almacenar bien por varios años. La siembra se realiza frecuentemente sin tratamientos previos, pero la germinación a veces es irregular y se prolonga hasta dos años o más. Muchos tratamientos con químicos, calor y la eliminación mecánica de la cubierta de la semilla. Una cantidad de hongos aceleran la descomposición del pericarpio dentro de los primeros 21 días, destacándose la acción de *Scytalidium* sp. Lo cual mejora la germinación. a veces, ayuda el mojar la semilla y secarla alternativamente, esto se realiza a menudo, pero el mojarla en agua a temperatura ambiente durante 48 horas, inmediatamente antes de la siembra, ha mostrado generalmente resultados mejores; aunque

hay varios embriones en cada semilla, la germinación combinada es casi siempre de 60 a 70% solamente(5).

#### **b. Vivero**

Aparte de la germinación prolongada de algunas fuentes de semillas, la producción en vivero es rutinaria, generalmente consiste en sembrar las semillas en eras de 1m. de ancho, levemente cubiertas, regarlas y deshierbar según sea necesario(5). En la mayoría de los viveros siembran densamente, luego transplantan los plántones recién germinados a espaciamentos más amplios, 15 a 30cm en ambas direcciones, para proteger a los que germinan tardíamente de la fuerte sombra producida por las grandes hojas de los que germinaron primero(5). Generalmente la plantación en el campo se realiza a los cuatro u ocho meses después de la siembra, pero la fertilización y el riego pueden producir plántulas para la plantación a partir de los cuatro meses(5).

#### **3.1.5.5 Descripción de Gmelina arbórea Roxb**

Nombre	Botánico: <u>Gmelina arbórea</u> Roxb
Nombre Común:	melina, yemane, gmelina
Familia:	Verbenaceae

#### **A. Hábitat natural**

La melina es nativa de la India, Burma y Sri Lanka; introducida en el trópico mundial y plantada en muchos países con fines comerciales,

principalmente en áreas con una estación seca marcada y una precipitación superior a los 800mm(5).

## **B. Genética**

La forma del árbol y la densidad de la madera varía entre árboles y entre fuentes. La investigación con la especie se ha iniciado recientemente, y varias organizaciones han establecido pruebas de parentesco y viveros clónales de semillas(5). Fructifica temprana y abundantemente (entre 3 y 5 años); fácil de reproducir en forma vegetativa; crece rápidamente en buenos sitios. Debido a sus ventajas silviculturales y de utilización, ha sido objeto de una buena cantidad de estudios genéticos(5).

Como en muchas angiospermas, las estacas enraízan más exitosamente cuando provienen de árboles menores de dos años, de brotes nuevos del tallo(estimulados por anillamiento parcial) o del tocón de árboles tumbados. En muchos casos, el tamaño de la estaca aumenta hasta 20 cm de largo, e incluye algunas hojas remanentes. El tratamiento con auxinas raramente incrementa el porcentaje de enraizamiento, pero incrementa el peso seco y el largo de las raíces que se desarrollan(5).

## **C. Propagación y Establecimiento**

### **a. Frutos y semillas**

El fruto de la melina es una drupa pulposa, del tamaño de una ciruela pequeña(6); fructifica abundantemente y precozmente durante

una larga época y una vida extensa. Los frutos maduros, todavía de color verde, caen al suelo donde se recolectan cada 3 a 7 días, mientras la piel está verde ó amarilla(5). La viabilidad decae rápidamente conforme la piel se torna café y luego negra. En una prueba comercial a gran escala, el fruto verde dio 93% de germinación, verde amarillento 105%, amarillo 122%, café 88% y café negrozco 48%(5). La pulpa debe eliminarse completa y rápidamente para prevenir la fermentación, ya que las temperaturas altas matan al embrión. Para plantaciones a gran escala es más económico limpiar la semilla por medios mecánicos(5).

Para tal efecto se pueden usar máquinas procesadoras de frutas, con modificaciones mínimas: despulpador de café, para eliminar la pulpa, fermentador de Cacao para lavar y secar, máquina de descascarar café o mezcladora de concreto con bloques pesados de madera dura para pulir la semilla(5). Las semillas deben almacenarse a 5°C antes de las 24 horas de haber sido limpiadas y secadas hasta una humedad aproximada de 8%; en estas condiciones mantendrán su viabilidad durante varios años(5).

Para plantación mecanizada, las semillas son medidas para lograr una eficiencia mayor, la semilla fresca no requiere tratamiento pregerminativo, pero cuando es almacenada a menudo se beneficia al sumergirla en agua durante aproximadamente 24 horas(5).

## **b. Vivero**

La producción de plántulas en viveros es rutinaria; se siembra en eras de aproximadamente 1m de ancho, riego y deshierba según sea necesario. Algunos viveros siembran densamente, y luego trasplantan los plantones recién germinados con un espaciamiento mayor, 15 a 30cm en ambas direcciones, para evitar que las hojas de los que germinaron primero hagan sombra excesiva a los que germinan tardíamente; otros viveros siembran con espaciamientos amplios desde el principio. El material permanece en vivero de 4 a 8 meses(5). Pocos viveros producen plántulas en bolsas plásticas grandes, ya que es más caro, tanto en la producción, como en el transporte y en la plantación(5).

## **3.2 MÉTODOS ESTADÍSTICOS**

### **3.2.1 ANALISIS DE TENDENCIAS, TÉCNICAS Y ESTADÍSTICAS**

La observación metódica de los fenómenos es la base del conocimiento y de la experiencia humana(30).

Nuestro aprendizaje está fundamentado en el análisis de la tendencia u orientación que muestran las cosas que nos rodean. Por ejemplo, si se aplica un poco de fertilizante a un cultivo agrícola, lo más seguro es que se observe un aumento en la producción. Si se continúa aplicando fertilizante, seguramente la producción seguirá aumentando, hasta que ya no se observa un crecimiento sino mas bien, decrece por sobredosis(30).

### **3.2.2 Análisis de Regresión**

El análisis de regresión se utiliza en muestras y/o en poblaciones de las cuales se desea predecir un resultado(30).

#### **3.2.2.1 ¿Qué es la Regresión?**

Es una técnica estadística, que permite poder expresar una variable, como una función de otra y otras. Es decir, se establece una ecuación matemática, en la cual una variable está relacionada matemáticamente con otras(17).

#### **3.2.2.2 Modelo lineal**

Referimos al modelo lineal como a "una ecuación matemática que contiene variables aleatorias, variables matemáticas y parámetros, que es lineal en los parámetros y en las variables aleatorias"(20), por consiguiente cuando un modelo no cumpla con estas condiciones, entonces será un modelo No Lineal.

#### **3.2.3 Método de los mínimos cuadrados**

El procedimiento estadístico para encontrar la recta de "mejor ajuste" para un conjunto de puntos podría verse, en muchos aspectos, como una formalización del procedimiento que se emplea al ajustar una recta visualmente(22).

Por ejemplo, cuando se observa visualmente una recta a un conjunto de datos, movemos la regla hasta que pensamos que se han minimizado sus distancias(ó desviaciones) de los puntos a la recta que se busca. Si

denotamos el valor predicho de "Y" obtenido de la recta ajustada, como "ŷ" entonces la ecuación de predicción es:

$$y = b_0 + b_1x$$

Donde  $b_0$  y  $b_1x$  representan estimaciones de los verdaderos valores de  $b_0$  y  $b_1$ ., el método de los mínimos cuadrados se enuncia de la manera siguiente:

Tómese como la recta de mejor "ajuste" aquella que minimiza la suma de los cuadrados de las desviaciones de los valores observados de "y", respecto a los valores predichos, expresado matemáticamente, deseamos escoger valores para  $b_0$  y  $b_1$  que minimicen.

SCE:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

El símbolo SCE representa la suma de los cuadrados de las desviaciones o, como se llama comúnmente, la *suma de cuadrados del error*, sustituyendo "yi" en SCE obtenemos:

SCE:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - (b_0 + b_1 x_i)]^2$$

El método para encontrar los valores numéricos de  $b_0$  y  $b_1$  que minimizan SCE, utiliza el cálculo diferencial, las ecuaciones para encontrar la solución a los mínimos cuadrados están dadas por las siguientes formulas:

$$b_1 = \frac{SC_{xy}}{SC_x} \quad \text{y} \quad b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

Donde:

$$SC_x = \sum_{\lambda=1}^n (x_\lambda - \bar{x})^2 = \sum_{\lambda=1}^n x_\lambda^2 - \frac{(\sum_{\lambda=1}^n x_\lambda)^2}{n}$$

y,

$$SC_{xy} = \sum_{\lambda=1}^n (x_\lambda - \bar{x})(y_\lambda - \bar{y}) = \sum_{\lambda=1}^n x_\lambda y_\lambda - \frac{(\sum_{\lambda=1}^n x_\lambda)(\sum_{\lambda=1}^n y_\lambda)}{n}$$

### 3.2.4 MODELOS NO LINEALES

Cuando los datos se apartan más o menos significativamente de la calidad lineal, debemos considerar el ajuste de una curva distinta de una línea recta, en la práctica, es común ilustrar los datos apareados en diversas clases de papel para gráficas, para ver si hay escalas para las cuales los puntos caen cerca de una línea recta, los modelos no lineales hacen referencia a dispersiones irregulares de datos agrupados.

#### **3.2.4.1 DESCRIPCION DEL MODELO LOGARITMICO**

Este modelo es llamado también de Cobb-Douglas, se usa en casos en que se notan fuertes variaciones que no responden a patrones lineales, ejemplo: crecimiento poblacional.

#### **3.2.4.2 DESCRIPCION DEL MODELO EXPONENCIAL**

Este modelo es utilizado cuando hay pequeños cambios en "X" y grandes cambios en "Y", ejemplo: crecimiento poblacional.

### **3.3 PRUEBAS DE GERMINACIÓN EN SEMILLAS**

El objetivo principal de la prueba de germinación era establecer el número máximo de semillas que pueden germinar bajo condiciones óptimas de luz, humedad y temperatura. El uso de condiciones ideales estandarizadas en el laboratorio tal como lo percibe el ISTA(11), asegura que:

- a. Las diferencias entre los resultados se pueden escribir a diferencias reales entre muestras de semillas y no a diferentes métodos de análisis.
  
- b. Los resultados obtenidos para un determinado lote de semillas en un laboratorio deben ser idénticos a los obtenidos en cualquier otro. Esto es, que los resultados deben ser reproducibles.

La capacidad de germinación determinada así **no es igual a la germinación en el vivero, o en el campo**, pero en la mayoría de los casos las dos cifras están estrechamente relacionadas. En esta forma el viverista gradualmente estará en capacidad de pronosticar el desempeño del vivero basado en la germinación de laboratorio(11).

### **3.3.1. GENERAL**

#### **3.3.1.1 Prueba**

De acuerdo a las normas del ISTA (1993) la germinación se prueba sobre la fracción de semilla pura(11).

Normalmente una prueba consiste de cuatro réplicas de 100 semillas al azar de semilla pura. La semilla se extiende uniformemente sobre el substrato húmedo. Para evitar difusión de hongos, las semillas deben espaciarse a 1.5-5 veces el ancho de las semillas(11).

Puede ser necesario subdividir la prueba en ocho réplicas de 25 semillas dependiendo del tamaño de las semillas, etc. unidades de multigerminación, (Ej. Tectona grandis) no se dividen sino que toman como una sola semilla.

Semillas muy pequeñas como las de Eucaliptos se prueban por peso, cuatro réplicas de 0.1-1.0 gramos dependiendo de la especie(ISTA 1993).

Luego de la germinación se calcula el número de semillas que germinan por gramo en lugar de porcentaje de germinación(11).

Para cada especie las reglas del ISTA prescriben períodos de luz, temperatura para el día y la noche, duración de la prueba. Ej: día del primer y último conteo, tipo de sustrato, y en caso de latencia, también el método de pretratamiento.

La semilla bajo prueba no debe estar en latencia y las reglas del ISTA recomiendan tratamientos de rompimiento de la latencia. Para un número grande de semillas tropicales de testa dura existe un tratamiento simple de cortar un pedazo de la testa o quemar un pequeño agujero con un cautín o pirógrafo. Si se utilizan métodos con agua caliente o ácidos deben ser completamente estandarizados(11).

La germinación se define como la emergencia y desarrollo de las plántulas en una fase donde sus estructuras esenciales señala si es capaz de desarrollarse en una planta satisfactoria bajo condiciones favorables de suelo(11). La prueba, (quizás usando un método alternativo) se puede repetir si la desviación entre réplicas de 100 semillas excede el rango máximo tolerado(anexo1).

### **3.3.2 Plantulas normales, anormales y su registro**

Se registran las siguientes categorías de semillas:

- a. Germinadas normales

b. Germinadas anormales

c. Semillas duras, no embebidas

d. Semillas frescas, diferentes a semillas duras que no germinan pero permanecen limpias y firmes, las cuales al final de la prueba no germinan, ni son duras ni frescas.

e. Semillas vacías

f. Otras categorías. En caso que prevalezca el daño por insectos, este factor se registra en forma separada.

El conteo ocurre usualmente una vez por semana, pero para semillas de rápida germinación, se puede hacer dos veces por semana. La duración de la prueba depende de la especie, pero usualmente es de 3-4 semanas. Las diversas categorías de semillas se sacan durante la prueba.

Esto puede evitar la propagación de hongos a causa de semillas muertas. La categoría de semilla "fresca" no se puede contar hasta el fin de la prueba. Ejemplo: el último conteo. La categoría de "germinadas normales" se define como plántulas intactas con todas sus estructuras esenciales(Ejemplo: raíz, brotes axilares, cotiledones, cogollos) completas, sanas y bien desarrolladas. También se incluyen plántulas con defectos menores pero en capacidad de desarrollarse como plantas satisfactorias, y plántulas que han sido infectadas en forma secundaria. Esto es donde la infección no se origina de la semilla madre (11).

Se pueden definir varias anormalidades y se puede conducir a la determinación de sus causas, si el tipo de anormalidad está registrado.

Esto es, decolorada, pasmada, doblada, quebrada, enana, retorcida, defectuosa, incompleta, etc(11).

Sin embargo, en muchos casos, semillas que muestran una proyección normal de la raíz a una determinada longitud(5-10mm ó 1-3 veces el tamaño de la semilla) se cuentan como germinadas normales. Esto es para reducir el consumo de tiempo y espacio, pero es más correcto y seguro contar las plántulas. Si prevalece la categoría de semilla fresca, esto indica que la latencia está presente. Consecuentemente se deberá repetir la prueba una vez hecho el tratamiento para romper la latencia(11).

Es evidente que una prueba de germinación que registra todas las categorías anteriores suministra mayor información que el sólo conteo de las germinadas(11).

El resultado de la prueba de germinación se estima con base en la categoría "germinadas normales". El porcentaje promedio de germinación es al mediana de las cuatro réplicas redondeadas al número entero más cercano(11).

### **3.3.3 Luz, temperatura, sustrato**

Muchas clases de semillas forestales requieren luz para germinar normalmente o para germinar de todos modos. Se requiere una buena distribución de luz en la cámara de germinación, se recomiendan lámparas de tubos fluorescentes blancos. Si las germinadas se cuentan por la proyección de la radícula, el factor de iluminación podría no ser

demasiado crítico. En caso de poca iluminación las plántulas se vuelven etioladas, esto es alargadas y de color verde pálido.

Una selección natural para el ciclo de iluminación sería seguir el ciclo diurno experimentado por la especie en su área de distribución. Para especies de clima templado se recomendaría un ciclo de 16 horas luz seguido por ocho horas de oscuridad(11).

La temperatura es un factor crítico durante la germinación. especialmente afecta la velocidad de la germinación. pero además la capacidad de germinación puede sufrir gravemente a causa de condiciones inapropiadas de temperatura(11). Es común usar un ciclo de temperatura correspondiente al de la luz. Temperatura de 5-10°C bajo oscuridad inferior a la temperatura bajo luz. Si no se conocen las condiciones óptimas, una selección natural sería seguir el ciclo diurno experimentado por la especie en su área de distribución(11).

Durante las fases iniciales de germinación la semilla se nutre solamente de sus reservas. Por tanto el sustrato de germinación no requiere de nutrientes. Debe ser estéril, inerte, capaz de mantener y distribuir bien la humedad, facilitar buena aireación y tener un PH neutral(6.0-7.5). arena es el sustrato más barato y fácil de conseguir. Se puede esterilizar al horno a 130°C durante unas pocas horas(11). Para obtener partículas de tamaño uniforme la arena se debe cernir(11). ISTA recomienda que la mayor parte de partículas debe pasar a través de una zaranda de 0.8mm y retenida en un cedazo con huecos de 0.5mm. también se

utiliza papel filtro de buena calidad, poniendo la semilla a germinar en rollos de papel, ó colocar directamente la semilla sobre el papel(11).

Las ventajas de los métodos con papel son su rapidez y facilidad de observar las semillas ya que no están cubiertas por el sustrato. Esto facilita el registro final de los tipos de semillas que no germinaron. Las desventajas son que los ataques de hongos se propagan con facilidad, y que la semilla de muchas especies no podrán desarrollarse en plántulas normales sin un medio propio de enraizamiento. Por tanto durante la prueba de germinación, solamente se registra la proyección de la radícula. Sin embargo, el uso de papel doblado tipo acordeón, reducirá la velocidad de propagación de hongos puesto que cada semilla estará separada por las demás. El desarrollo de plántulas también es apropiado(11).

Cualquier sustrato se debe remojar hasta su nivel de capacidad de retención, no se debe dejar agua corriente porque la semilla se daña debido a la reducida disponibilidad de oxígeno, pero la semilla tampoco debe sufrir por estrés de agua(11). Por experiencia, el nivel correcto de humedad del medio se puede percibir a mano y la cantidad de agua añadida por volumen ó peso de arena o vermiculita debe ser estandarizada(11).

Una recomendación general es que la semilla se debe cubrir con una capa de arena/vermiculita no más gruesa que el tamaño de la semilla(11).

#### **3.3.4 Control de hongos en pruebas de germinación**

La mayor parte de la semilla forestal es portadora de un gran número de hongos y bacterias. Pero si la calidad de la semilla es alta, podrá resistir el ataque. Entre más baja sea la calidad de la semilla, mayor será el problema de hongos durante la prueba.

Se debe tener presente que las reglas del ISTA para las pruebas recomiendan **evitar la aplicación de fungicidas durante las pruebas de germinación**. en lugar de esto se debe asegurar que la propagación de los hongos sea minimizada, por ejemplo: utilizando papel plizado, vermiculita o medio de arena con buena separación entre semillas, eliminación frecuente de semilla deteriorada, aireación apropiada y mantenimiento del sustrato con la humedad suficiente para permitir la germinación(11).

#### **3.4 MARCO REFERENCIAL**

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Banco de Semillas Forestales (BANSEFOR), ubicado a 1,502.32 msnm, a una latitud norte de 14°35'44'' y una longitud oeste de 90; 31'50'', la temperatura promedio es de 23°C una humedad relativa del 70% y un promedio diario de 10 horas luz; aquí se realizaron las pruebas de germinación, con semilla botánica de (Abies guatemalensis R., Pinus oocarpa S., Cupressus lusitánica M., Tectonia grandis L.F., Gmelina arbórea R.)

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 GENERAL

Conocer el comportamiento de la viabilidad de las semillas forestales de Abies guatemalensis R., Pinus oocarpa Schiede., Cupressus lusitánica M., Tectonia grandis L.F. y Gmelina arborea R.) almacenadas a 5°C a durante un año, para encontrar correlación entre las dos variables estudiadas.

### 4.2 ESPECIFICO

Determinar la viabilidad con respecto al tiempo de almacenamiento, de las cinco especies forestales utilizando modelos de regresión.

## 5. HIPOTESIS

"Para las especies forestales ensayadas, (Abies guatemalensis R., Cupressus lusitánica M., Pinus oocarpa S., Tectona grandis L.F., y Gmelina arbórea R.) se puede predecir la viabilidad en función del tiempo de almacenamiento, por medio de un modelo de regresión".

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 PROCEDIMIENTOS

6.1.1 Se identificaron los lotes de semillas para cada especie a investigar.

6.1.2 Se procedió a realizar el análisis de pureza física basados en las normas del ISTA (International Seed Testing Association), determinando (semilla pura, semilla de otras especies y metería inerte).

6.1.3 Se procedió al análisis de la viabilidad de los lotes de semilla que será almacenada, tomando en consideración la metodología ISTA(18), quien para cada una de las especies en cuestión, recomienda (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Recomendaciones de ISTA para lecturas de germinación**

Nombre de la especie	Sustrato	Temp°C	1lect.	2lect.	Pre-trat
<u>Abies guatemalensis</u> R.	TP= papel filtro	20-30	7 días	28 días	21 días Antes con T=3-5°C
<u>Cupressus lusitánica</u> M.	TP= papel filtro	20	7 días	28 días	no tiene
<u>Gmelina arbórea</u> R.	S= arena	30	14 días	28 días	Humedecer En agua 3 Días y Repetirlo 6 veces
<u>Pinus oocarpa</u> S.	TP= papel filtro	20-30	7 días	21 días	no tiene
<u>Tectonia grandis</u> L.F.	S= arena	30	14	28	Idem que

			días	días	Gmelina Arbórea R.
--	--	--	------	------	--------------------------

**6.1.4** Se tomaron 400 semillas haciendo 4 réplicas de 100 semillas. Se hicieron pruebas de germinación mensualmente para las 5 especies durante 12 meses.

**6.1.5** Los lotes de semilla fueron guardados en el cuarto frío de BANSEFOR a 5°C en los recipientes utilizados por el Banco.

**6.1.6** La viabilidad de la semilla se cuantificó por medio del porcentaje de germinación promedio de las cuatro repeticiones; siendo la variable "x" el tiempo dado en meses, y "y" el valor de germinación dado en porcentaje.

**6.1.7** Se trabajó con modelos Lineales y con modelos No Lineales como siguen.

**6.1.7.1 Modelos Lineales**

- a. Modelo Lineal simple=  $y=b_0+b_1x$
- b. Modelo Cuadrático=  $y=b_0+b_1x+b_2x^2$
- c. Modelo Cúbico=  $y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3$
- d. Modelo Polinomial de grado 4 =  $Y= b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+b_4x^4$

**6.1.7.2 Modelos No lineales**

- a. Modelo Logarítmico=  $\ln(y)=\ln b_0+b_1\ln x$
- b. Modelo Exponencial=  $\ln(y)=\ln b_0+x.\ln b_1$

c. Modelo Transformado=  $\text{Arcoseno}\sqrt{Y} = b_0 + b_1\sqrt{\text{días}}$

d. Modelo Transformado=  $\text{Arcoseno}\sqrt{Y} = b_0 + b_1(\text{días})$

**6.1.8** Se estimaron modelos de regresión para cada especie por separado, se seleccionó el modelo con el mayor ( $R^2$ ) y cuyo análisis de varianza para regresión muestra que es válido analizándolo con el programa SAS, en la prueba de significancia.

**6.1.9** Se elaboraron gráficas para ilustrar el comportamiento de la viabilidad para cada una de las especies estudiadas.

**6.10** Los resultados encontrados se almacenaron en las boletas para manejo de información propias del BANSEFOR.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Condiciones del laboratorio de semillas de BANSEFOR

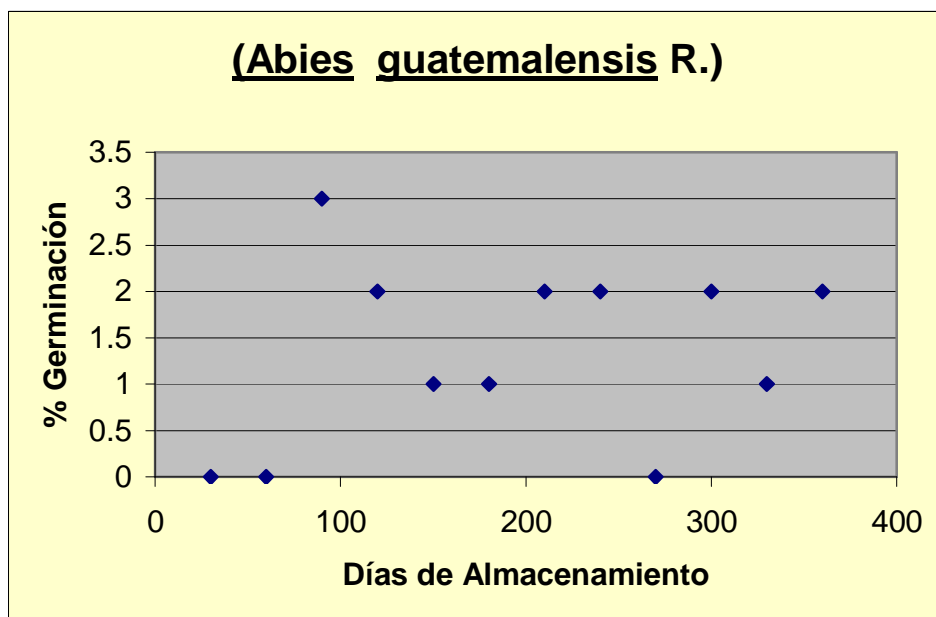
Las condiciones del laboratorio de semillas de BANSEFOR fueron estables y controladas a lo largo de los 360 días que duró el ensayo, a excepción de la prueba de germinación 9 y 10 en las cuales la cámara de germinación reportó problemas y se utilizó una alterna que no mantenía uniforme la temperatura para facilitar la germinación de las semillas.

### 7.2 Resultados obtenidos con la semilla de Abies guatemalensis R.

La semilla de Abies guatemalensis R. tiene la particularidad de tener un bajísimo porcentaje de germinación y para la presente investigación no se utilizó ninguna clase de regulador de crecimiento.

Una parte de la semilla utilizada para el ensayo presentó larvas dentro de las semillas. Las larvas se alimentan del embrión y los cotiledones dejando una semilla hueca y vana, lo que merma la germinación de las semillas. La clasificación de dichas larvas y adultos corresponden al Orden: Hymenóptera, sub-orden: Apocrita, Super Familia: Chalcidoidea y Familia: Torymidae, sin embargo no existe mucha información sobre el insecto por lo que la información se recomienda manejarla con cautela.

El resultado de las doce pruebas de germinación realizadas en el BANSEFOR, arrojó una dispersión de datos que se observan en la figura 3.



**Figura 3. Comportamiento de la germinación de la semilla de Pinabete (Abies guatemalensis R.) durante un año de ensayo de germinación.**

Se observa en la figura 3, que fue hasta la prueba realizada en el día 90 cuando la germinación aumentó hasta un 3%, luego de esta prueba nuevamente la germinación decreció en su comportamiento, por lo que a partir de esta fecha y para comercializarla en fechas posteriores es necesario compensar en peso esta notable disminución de la germinación.

Para la dispersión de datos anterior, se probaron modelos lineales y no lineales, sin que ésta dispersión presentara coeficientes  $R^2$  lo suficientemente altos para poder tomarlos en cuenta como "Ecuaciones base de predicción de viabilidad con respecto al tiempo". A continuación se presentan los resultados de las pruebas de los modelos lineales y no lineales con sus respectivos coeficientes  $R^2$  (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Resultados obtenidos con Abies guatemalensis R.**

TIPO DE MODELO	ECUACIÓN DEL MODELO	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN	SIGNIFICANCIA
Modelo Lineal Simple	$y=b_0+b_1x$	$R^2 = 0.05$	No significativo
Modelo Cuadrático	$y=b_0+b_1x+b_2x^2$	$R^2 = 0.11$	No significativo
Modelo Cúbico	$Y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3$	$R^2 = 0.32$	No significativo
Modelo Polinomial de grado 4	$Y= b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+b_4x^4$	$R^2 = 0.33$	No significativo
Modelo Exponencial	$Y = b_0 + e^{(b_1+b_2Días)}$	$R^2 = 0.05$	No significativo
Modelo Logarítmico	$Y = b_0 + b_1 \log^{(Días)}$	$R^2 = 0.12$	No significativo
Modelo Transformado	$\text{Arcoseno } \sqrt{Y} = b_0 + b_1\sqrt{(\text{días})}$	$R^2 = 0.16$	No significativo
Modelo Transformado	$\text{Arcoseno } \sqrt{Y} = b_0 + b_1(\text{días})$	$R^2 = 0.11$	No significativo

Donde “x”= días de almacenamiento y “y”= porcentaje de germinación.

El modelo Polinomial de grado 4 es el que nos presenta un  $R^2$  más alto (0.33).

Sin embargo, ningún modelo es estadísticamente significativo.

### 7.3 Resultados obtenidos con la semilla de Pinus oocarpa S.

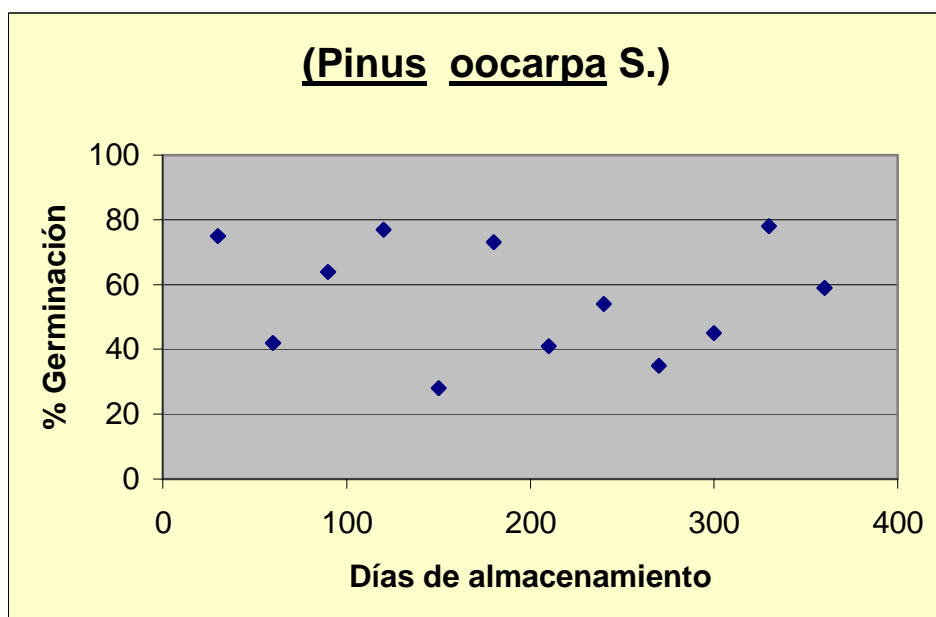
La semilla de Pinus oocarpa S. tiene la particularidad de ser requerida por muchos usuarios (especialmente del PINFOR), debido a que la mayoría de los bosques de Guatemala en donde existen coníferas ésta es una especie presente por regularidad, ya sea en bosque natural ó en plantación, es una especie muy resistente a las inclemencias del tiempo.

Además es una especie que tolera los sitios malos (mal drenados, con poca profundidad en los horizontes del suelo, etc) el problema que

presenta es la gran cantidad de elementos combustibles, que le hacen susceptible a los incendios forestales.

En cuanto a la calidad de semilla, aunque las pruebas de laboratorio tuvieron germinaciones que oscilaban entre el 60 y 70%, hubo meses en los que se obtuvieron porcentajes de germinación del 35%, este tipo de comportamiento no fue el esperado debido a que se esperaba que la alta germinación de un inicio se mantuviera, se cree que esto se debió en parte al tiempo que la semilla estuvo almacenada, y también a la falta de temperatura estable. Casualmente en las pruebas 9 y 10 que fueron cuando no se contó con cámara de germinación estable, los valores de germinación decayeron de un 50% hasta un 35%(en su más bajo valor) y luego a la prueba 11 (cuando ya se contaba con la temperatura estable) mejoró notablemente el contenido de germinación hasta un 78% (valor más alto de los registrados durante el ensayo).

En la figura 4 se puede apreciar la dispersión de los datos para la semilla de *Pinus oocarpa* S.



**Figura 4. Comportamiento de la germinación de la semilla de (Pinus oocarpa S.) durante un año de ensayo de germinación.**

A continuación, se presentan los resultados de los modelos lineales y no lineales con sus respectivos valores de  $R^2$  (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Resultados obtenidos con Pinus oocarpa S.**

TIPO DE MODELO	ECUACIÓN DEL MODELO	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN	SIGNIFICANCIA
Modelo Lineal Simple	$y=b_0+b_1x$	$R^2 = 0.01$	No significativo
Modelo Cuadrático	$y=b_0+b_1x+b_2x^2$	$R^2 = 0.13$	No significativo
Modelo Cúbico	$Y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3$	$R^2 = 0.15$	No significativo
Modelo Polinomial de grado 4	$Y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+b_4x^4$	$R^2 = 0.15$	No significativo
Modelo Exponencial	$Y = b_0 + e^{(b_1+b_2Días)}$	$R^2 = 0.12$	No significativo
Modelo Logarítmico	$Y = b_0 + b_1 \log^{(Días)}$	$R^2 = 0.04$	No significativo
Modelo Transformado	$\text{Arcoseno } \sqrt{(Y)} = b_0 + b_1\sqrt{(días)}$	$R^2 = 0.02$	No significativo
Modelo Transformado	$\text{Arcoseno } \sqrt{(Y)} = b_0 + b_1(días)$	$R^2 = 0.01$	No significativo

Donde "x"= días de almacenamiento y "y"= porcentaje de germinación.

Sin embargo, ningún modelo es estadísticamente significativo.

Luego de 120 días de siembra se observó en la dispersión de datos una germinación del 77%, y aunque la germinación a los 330 días después de siembra fue de 78% existen entre éstas dos pruebas, valores de germinación de 35%, sin embargo dentro de éstos muestreos la cámara de germinación del BANSEFOR presentó problemas de temperatura, por lo que puede decirse que inestabilidades de temperatura producen decrementos significativos en el % de germinación, por lo que no es recomendable almacenar la semilla de esta especie por más de 120 días, debido a que aunque pueda presentar un incremento posterior se vería disminuida la germinación del lote entre los días de siembra intermedios.

#### **7.4 Resultados obtenidos con la semilla de Cupressus lusitánica M.**

El ciprés, es otra especie que es muy utilizada para los compromisos de reforestación producto de los aprovechamientos y para promover la silvicultura de plantaciones, es una especie muy utilizada y se reporta alta demanda de semilla al BANSEFOR que para el 2,001 fue de 24.125 Kg. Y para el primer semestre del 2,002 de (1.56 Kg.) quedando el saldo para el segundo semestre de (0.00 Kg).

Esto indica que la especie es requerida por el público, que la utiliza para sembrar en todo el país en donde sea factible la reforestación con árboles de ésta especie.

El comportamiento de los datos durante el ensayo fue poco variable, (aunque con un bajo porcentaje de germinación). Sin embargo, las empresas que comercializan semillas forestales utilizan al ciprés como una herramienta de mercadeo, debido a que es una especie requerida para el establecimiento de plantaciones autorizado por el Programa de Incentivos Forestales PINFOR.

En la Figura 5. se presenta el comportamiento de la semilla de Cupressus lusitánica M.

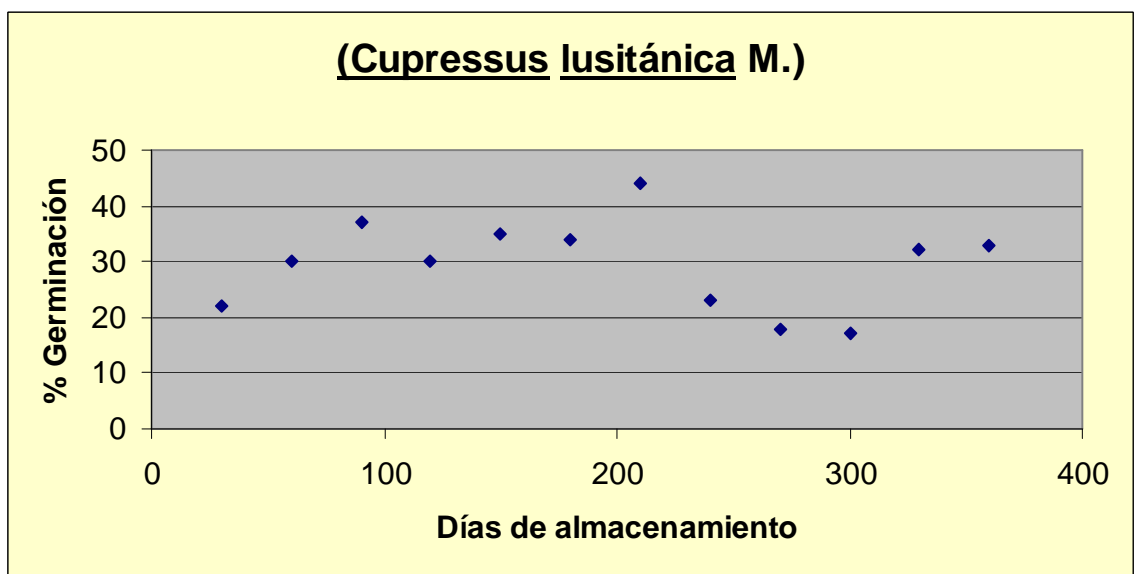


Figura 5. Comportamiento de la germinación de la semilla de (Cupressus lusitánica M.) durante un año de ensayo de germinación.

A continuación se presentan los resultados de los modelos lineales y no lineales estimados para la semilla de Cupressus lusitánica M. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados obtenidos con Cupressus lusitanica M.

TIPO DE MODELO	ECUACIÓN DEL MODELO	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN	SIGNIFICACIA
Modelo Lineal Simple	$Y=b_0+b_1x$	$R^2 = 0.02$	No significativo
Modelo Cuadrático	$Y=b_0+b_1x+b_2x^2$	$R^2 = 0.06$	No significativo
Modelo Cúbico	$Y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3$	$R^2 = 0.47$	No significativo
Modelo Polinomial de grado 4	$Y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+b_4x^4$	$R^2 = 0.53$	No significativo
Modelo Exponencial	$Y = b_0 + e^{(b_1+b_2Dias)}$	$R^2 = 0.02$	No significativo
Modelo Logarítmico	$Y = b_0 + b_1 \log^{(Dias)}$	$R^2 = 0.0004$	No significativo
Modelo Transformado	Arcoseno $\sqrt{(Y)} = b_0 + b_1\sqrt{(días)}$	$R^2 = 0.01$	No significativo
Modelo Transformado	Arcoseno $\sqrt{(Y)} = b_0 + b_1(días)$	$R^2 = 0.02$	No significativo

Donde "x"= días de almacenamiento y "y"= porcentaje de germinación.

Sin embargo, ningún modelo es estadísticamente significativo.

Como se puede observar en los modelos anteriores, el modelo cúbico presenta un coeficiente  $R^2$  de **0.47**. Sin embargo, aún es demasiado bajo para poder utilizarlo para fines de predicción de germinación con respecto al tiempo de una manera confiable.

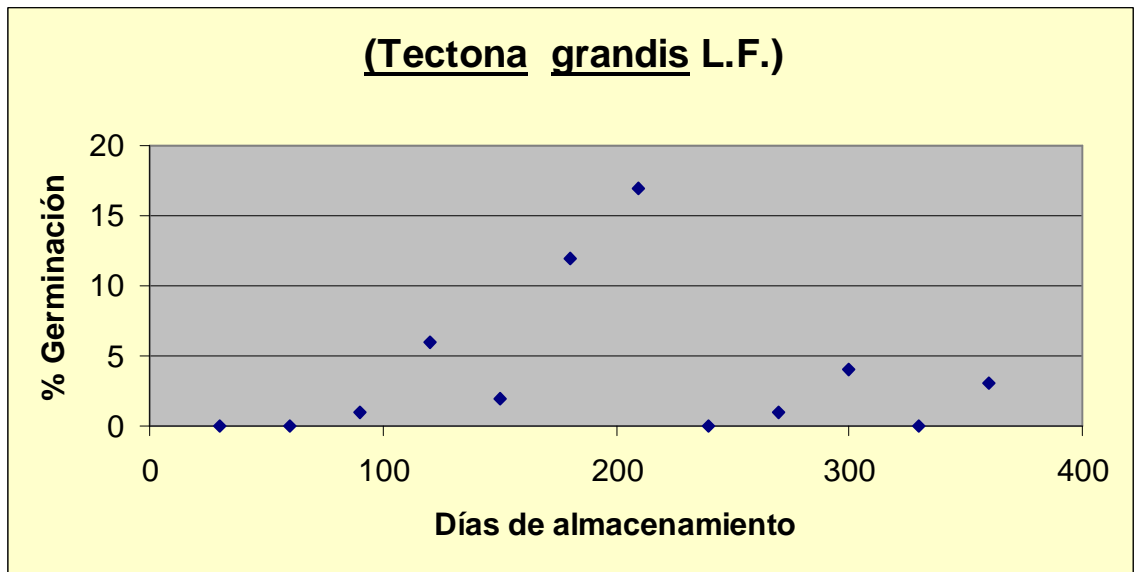
Dado que en las semillas y plántulas se reportaron daños por hongos, sería recomendable utilizar algún regulador de crecimiento y en el sustrato algún funguicida de amplio espectro, además es necesario indicar que debido a la dispersión de los datos es recomendable almacenar un

máximo de 200 días y luego de este punto, compensar los lotes de semilla en peso debido al declive de germinación.

#### **7.5 Resultados obtenidos con la semilla de Tectona grandis L.F**

Aunque la **Teca** ha obtenido alto interés en los silvicultores de Guatemala, aún no se ha podido establecer cuál de los métodos comunes para escarificar semilla es el más recomendado. El ISTA, recomienda para romper el corcho que cubre la semilla de Teca, el remojo de las semillas durante tres días y luego secarla un día en la sombra y repetir éste procedimiento durante 6 veces, para dar un total de 18 días de pretratamiento (para romper dormancia). El mismo que para el presente ensayo no presentó resultados significativos ni en los modelos lineales ni en los modelos no lineales.

En la Figura 6 se puede apreciar la dispersión de los datos para la semilla de Teca (**Tectona grandis** L.F.)



**Figura 6. Comportamiento de la germinación de la semilla de (Tectona grandis L.F.) durante un año de ensayo de germinación**

Al observar el comportamiento de ésta dispersión de datos es notable que aproximadamente 200 días después de la siembra la germinación decrece de tal manera que sería un error seguir comercializando los lotes de semilla de Teca, sin la debida compensación en peso.

A continuación se presentan los resultados de los modelos probados para encontrar la ecuación que nos permita predecir la germinación con respecto al tiempo para la semilla de Tectona grandis L.F (cuadro 5).

Cuadro 5. Resultados obtenidos con Tectona grandis L.F.

TIPO DE MODELO	ECUACIÓN DEL MODELO	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN	SIGNIFICANCIA
Modelo Lineal Simple	$y=b_0+b_1x$	$R^2 = 0.01$	No significativo
Modelo Cuadrático	$y=b_0+b_1x+b_2x^2$	$R^2 = 0.27$	No significativo
Modelo Cúbico	$Y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3$	$R^2 = 0.29$	No significativo
Modelo Polinomial de grado 4	$Y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+b_4x^4$	$R^2 = 0.47$	No significativo
Modelo Exponencial	$Y = b_0 + e^{(b_1+b_2Días)}$	$R^2 = 0.01$	No significativo
Modelo Logarítmico	$Y = b_0 + b_1 \log^{(Días)}$	$R^2 = 0.04$	No significativo
Modelo Transformado	Arcoseno $\sqrt{(Y)} = b_0 + b_1\sqrt{(días)}$	$R^2 = 0.05$	No significativo
Modelo Transformado	Arcoseno $\sqrt{(Y)} = b_0 + b_1(días)$	$R^2 = 0.02$	No significativo

Donde “x”= días de almacenamiento y “y”= porcentaje de germinación.

Sin embargo, ningún modelo es estadísticamente significativo.

Al igual que con las otras tres especies los coeficientes  $R^2$  son demasiado bajos como para que éstos sean base para predecir germinación con respecto al tiempo; sin embargo, se encontró un modelo polinomial de grado 4 que nos proporciona un  $R^2$  de **0.47**.

#### 7.6 Resultados obtenidos con la semilla de Gmelina arbórea R.

Al igual que con la **Teca**, la madera de Gmelina arbórea R., ha tenido una gran demanda por parte de los silvicultores de Guatemala, debido a que está catalogada como una madera especial para interiores de barcos. En Guatemala existen ya plantaciones beneficiadas con el programa PINFOR, que están explotando esta especie para comercializarla en el extranjero.

La dispersión de los datos de Gmelina arbórea R., mostró un aumento en el contenido de germinación al inicio de la prueba (con pretratamiento de germinación, recomendado por ISTA para romper dormancia). Sin embargo, al aumentar el tiempo el contenido de germinación de la semilla decayó notablemente, tomando en consideración que para la prueba 5 (150 días después de la siembra) reportó su mayor contenido de germinación a un 62%, lo que nos permitiría pensar que aunado al pretratamiento recomendado por ISTA, el almacenamiento y luego pretratamiento rompe la dormancia de la semilla de una manera agresiva y sin uso de ningún medio químico ni mecánico para realizarlo.

En la Figura 7 se presenta la distribución de los datos para Gmelina arbórea R.

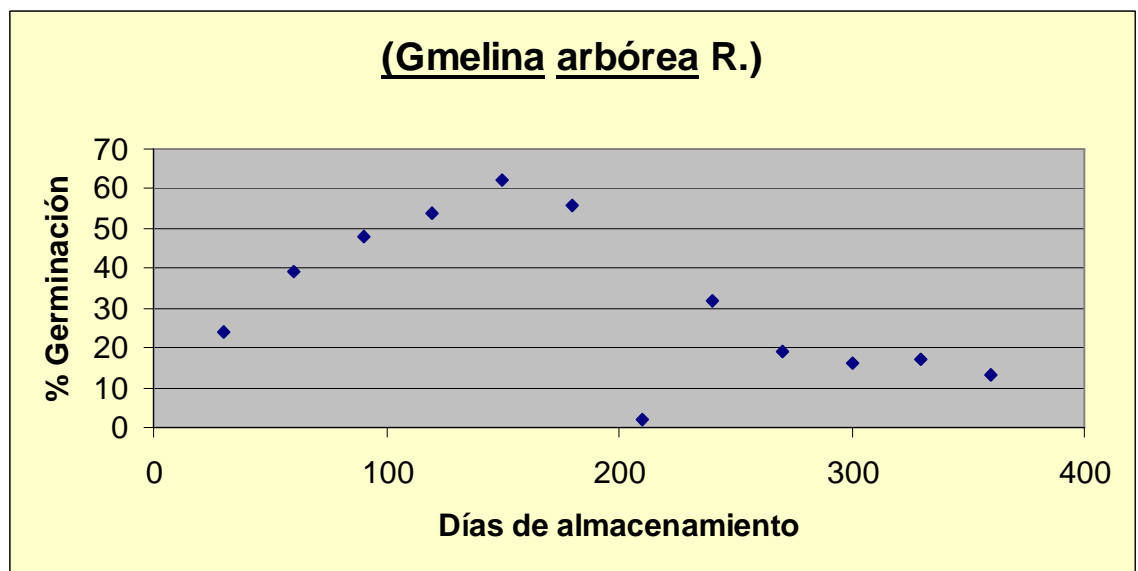


Figura 7. Comportamiento de la germinación de la semilla de (Gmelina arbórea R.) durante un año de ensayo de germinación.

A continuación se presentan los modelos lineales y no lineales probados para el ensayo de germinación con semilla de Gmelina arborea R (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Resultados obtenidos con Gmelina arborea R.**

TIPO DE MODELO	ECUACIÓN DEL MODELO	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN	SIGNIFICANCIA
Modelo Lineal Simple	$y=b_0+b_1x$	$R^2 = 0.31$	No significativo
Modelo Cuadrático	$y=b_0+b_1x+b_2x^2$	$R^2 = 0.43$	No significativo
Modelo Cúbico	$Y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3$	$R^2 = 0.65$	* Significativo
Modelo Polinomial de grado 4	$Y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+b_4x^4$	$R^2 = 0.66$	* Significativo
Modelo Exponencial	$Y = b_0 + e^{(b_1+b_2Dias)}$	$R^2 = 0.30$	No significativo
Modelo Logarítmico	$Y = b_0 + b_1 \log^{(Dias)}$	$R^2 = 0.13$	No significativo
Modelo Transformado	Arcoseno $\sqrt{Y} = b_0 + b_1\sqrt{(días)}$	$R^2 = 0.22$	No significativo
Modelo Transformado	Arcoseno $\sqrt{Y} = b_0 + b_1(días)$	$R^2 = 0.29$	No significativo

Donde "x"= días de almacenamiento y "y"= porcentaje de germinación.

\* Estos modelos son estadísticamente significativos porque la probabilidad de que sean válidos con un intervalo de confianza del 95% (0.05 de error) son mayores al 55%, analizados con la prueba de significancia del sistema SAS.

Como se puede observar, de todos los modelos estimados para encontrar una ecuación que permita predecir la germinación con respecto

al tiempo se encuentra el Modelo Cúbico, como un modelo aceptable desde el punto de vista que presenta un  $R^2$  de 0.65.

Se cree que el haber tenido un mes de almacenamiento al inicio de la prueba, pudo influir de manera positiva en que la germinación fuera alta, además que el pretratamiento recomendado por ISTA, funciona bien para el rompimiento de la dormancia de la semilla.

Aunque utilizando un regulador de crecimiento o utilizando recambios de agua (fría y caliente) a lo largo de las pruebas de germinación, sería posible aumentar la germinación de la semilla a partir de los 180 días de almacenada para obtener mejores resultados. En todo caso sería conveniente que a las personas que adquieran la semilla de Gmelina, se les haga la recomendación que luego de comprarla no más de 120 días de almacenamiento proporcionan un aumento en la germinación y menos de 120 días aunque proporcionarán un germinación aceptable no alcanzarán más del 50% de germinación en el lote.

La ecuación encontrada para predecir la germinación con respecto al tiempo de almacenamiento se presenta a continuación:

$$\% \text{ Germinación} = -6.35354 + 1.17087\text{Dias\_Siembra} - 0.00686\text{Dias\_Siembra}^2 + 0.00001\text{Dias}^3.$$

## 8. CONCLUSIONES

1. El máximo de días de almacenamiento para *Abies guatemalensis* R. es de 80 días, luego de este tiempo no es recomendable seguir almacenando debido a la baja de germinación. Para *Pinus oocarpa* S. el máximo de días de almacenamiento es de 150, para *Cupressus lusitánica* M. no más de 200, para *Tectona grandis* L.f. un número de días no mayor a 180, y para *Gmelina arborea* R. no es recomendable almacenar por un tiempo mayor a los 150 días de germinación.
2. Se estimaron modelos de regresión que permitirán predecir la viabilidad con respecto al tiempo de germinación, de las 5 especies sin embargo, sólo el modelo cúbico para *Gmelina arborea* R. es estadísticamente significativo y presenta un coeficiente de determinación aceptable ( $R^2=0.65$ ).
3. Las semillas de Pinabete (*Abies guatemalensis* R.) no presentan un elevado porcentaje de germinación debido a que existe en un lote común de semilla vana y muerta, producto de la oviposición de un Hymenóptero.
4. El almacenamiento de semilla forestal, es un proceso que requiere de condiciones estables de laboratorio, ya que si no se cumplen con las medidas establecidas con los lotes de semilla, pueden mostrar variaciones significativas de germinación.

## 9. RECOMENDACIONES

1. Debido a que las recomendaciones que hace ISTA (International Seed Testing Association), para la semilla de TECA (*Tectona grandis* L.F.), en cuanto a pretratamiento, no proporcionan un aumento en la germinación de la semilla, se recomienda comparar la germinación de semillas de Teca escarificadas mecánicamente versus las escarificadas con las recomendaciones de ISTA.
2. Para las semillas de (*Abies guatemalensis*, *Pinus oocarpa*, *Cupressus lusitánica* y *Tectona grandis* L.F.) se recomienda hacer otro arreglo en el ensayo y tomar en cuenta otros factores, como el porcentaje de humedad y uso de otros sustratos versus los sustratos tradicionales, a fin de encontrar ecuaciones con mejores tasas de coeficientes  $R^2$  y así poder entonces, predecir la germinación con respecto al tiempo de almacenamiento.
3. Se hace necesario implementar el monitoreo de los lotes de semilla almacenados en el Banco de Semillas Forestales (**BANSEFOR**), a por lo menos una prueba trimestral, lo que sería de utilidad para conocer las viabilidades a lo largo del tiempo de una manera más confiable.
4. Para las especies forestales ensayadas y para las especies que el Banco de Semillas Forestales (**BANSEFOR**) pueda ofrecer a los usuarios, será recomendable realizar monitoreos de germinación mensual.
5. Para las presentes 5 especies ensayadas no es recomendable almacenar por más de 4 meses y si por alguna razón no se pueden comercializar durante este tiempo compensar en peso para contrarrestar la baja de germinación.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR CUMES, J.M. 1961. Pinos de Guatemala. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Dirección General Forestal. 32 p.
2. AGUILAR CUMES, J.M.; PONCIANO GOMEZ, I.; DARY FUENTES, J.M. 1988. Las coníferas de Guatemala. Cuadernos de Investigación (Gua.) no. 12-87. 88 p.
3. BARCELO COLL, J. 1980. Fisiología vegetal. Madrid, Pirámide. 752 p.
4. BIDWEL, R.G.S. 1979. Fisiología vegetal. México, AGT. 784 p.
5. BUDOWSKI, G. 1954. La identificación en el campo de los árboles forestales más importantes de la América Central. Tesis Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica, IICA. p. 35-37.
6. CARVALHO, J.A. 1954. **Cupressus lussitanica** en Sao Paulo. Anuario Brasileiro de Economía Forestal (Bra.) (7):124-142.
7. CATIE. 1967. El ciprés (**Cupressus lusitánica** Mill.) como base de las reforestaciones planificadas en el valle central de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 83 p.
8. CATIE. 1997. Nota técnica sobre manejo de semillas forestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica, Ficha no. 20. 4 p.
9. CATIE. 1997. Nota técnica sobre manejo de semillas forestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica, Ficha no. 22. 4 p.
10. CATIE. 2000. Técnicas para la escarificación de semillas forestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica, Manual Técnico no. 36. p. 14-22.

11. CRONQUIST, A. 1981. An integrated system of clasification of flowering plants. New York, USA., Columbia University Press. 1,262 p.
12. DALLIMORE, W.; JACKSON, A. 1954. Handbook of coniferae. 3 ed. London, Arnold. p. 190-203.
13. DYSON, W.G. 1966. **Cupressus lusitanica** Miller progeny trial no. R.E. 207. Kenya, East African Agricultural and Forestry Research Organization. 6 p. (Technical Note no.101).
14. FAO. 1957. Métodos de plantación de bosques en África tropical. Roma, Italia. 333 p. (FAO-Cuaderno de Fomento Forestal no. 8).
15. GONZALEZ M., J.H. 1979. Caracterización ecológica de las comunidades de pinabete (**Abies guatemalensis** Rehder) en Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 79 p.
16. GRAYBILL, F. 1961. An introduction to linear statistical models. New York, USA. 463 p.  
  
Citado por: Reyes Chávez, L.M. 1981. El análisis de regresión y sus métodos de cómputo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 146 p.
17. GUTIERREZ, F. 1966. Valle central de Costa Rica. San José, Costa Rica, Instituto Geográfico. p. 43-44. (Informe semestral enero-junio).
18. INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. 1996. International rules for seed testing and rules. Zurich, Switzerland, s.n. p. 29-34.
19. KIRCH, A. 1975. Estadística con Fortran. México, Interamericana. 437 p.  
  
Citado por: Reyes Chávez, L.M. 1981. El análisis de regresión y sus métodos de cómputo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 146 p.
20. LAURIDSEN, E.B. 1990. Biología de las semillas. Humlebaek, Dinamarca, DANIDA. 37 p.

21. LEGGAT, G.T. 1954. A Uganda softwood scheme. Empire Forestry Review 33(4):345-351.
22. MENDENHALL, W. 1982. Introducción a la probabilidad y estadística. México, Grupo Editorial Ibero América. p. 343-345.
23. MOREIRA, N.; NAKAGAWA, J. 1988. Sementes: ciencia, tecnología e producao. Brasil, Fundacao Cargill. 425 p. (Serec Tecneca no. 144).
24. PARDE, L. 1961. Les confieres. Paris, Maison Rustique. p. 204-212.
25. PARRY, M.S. 1954. Tree planting in Tanganyika; species for dry areas. East African Agricultural Journal (Ken.) 19(3):154-160.
26. PEÑALONZO, R.; ZANOTTI, J.R. 1989. El pinabete (**Abies guatemalensis**), su producción para árbol de navidad. Guatemala, Dirección General de Bosques. 21 p.
27. SALAZAR, M.E. 1991. Development of treatments to improve seed germination, and effect of nitrogen on seedling growth of **Abies guatemalensis** Rehder. Thesis Mag. Sc. USA, University al Releigh, Faculty of North Carolina State. 119 p.
28. SAMAYOA, P.R.; SAGASTUME D., J.A. 1946. Algunas especies maderables de nuestros bosques. Revista Agrícola de Guatemala (Gua.) 2(21/26):298-303.
29. SANCHEZ, O. 1996. Probabilidad y estadística. México, Mc. Graw-Hill. p. 237-242.
30. SPURR, S.H.; BARNES, B.V. 1982. Ecología forestal. Trad. por Carlos Luis Raigorodsky Z. México, Universidad de Guanajuato. 321 p.
31. STRASBURGER, E.; NOLL, F.; SCHIMPER A., F.W. 1953. Tratado de botánica. Trad. Oriol de Blós. España, Universidad de Barcelona. p. 436-440.
32. TRIVIÑO, T.; ACOSTA, R.; CASTILLO, A. 1990. Técnicas de manejo para algunas especies forestales neotropicales en Colombia. Bogotá, Colombia, CONIF. Serie de Documentación no. 19. p. 22-25.

33. USDA. 1986. Semillas. Trad. Antonio Marino, Pánfilo Rodríguez. México, Continental. 1,020 p.
34. VAQUEZ SOTO, J. **et al** 1964. Botánica forestal. Chapingo, México, Escuela Nacional de Agricultura. p. 73-79. (Serie de apuntes no. 1).
35. VEIGA, A. de A. 1955. Nota preliminar sobre o espaciamiento inicial de **Cupressus lusitanica** Mill. Revista de Agricultura (Bra.) 30(7/12):199-208.
36. WEAVER, R. 1982. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Trad. Agustín Contin. México, Trillas. 622 p.

Vo. Bo. Rolando Aragón Barrios

# ANEXOS



Meses	Días de almacenamiento	% germinación sp. 1	% germinación sp. 2	% germinación sp. 3	% germinación sp. 4	% germinación sp. 5
1	30	0	75	22	0	24
2	60	0	42	30	0	39
3	90	3	64	37	1	48
4	120	2	77	30	6	54
5	150	1	28	35	2	62
6	180	1	73	34	12	56
7	210	2	41	44	17	2
8	240	2	54	23	0	32
9	270	0	35	18	1	19
10	300	2	45	17	4	16
11	330	1	78	32	0	17
12	360	2	59	33	3	13

CUADRO DE RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE UN AÑO DE ENSAYO DE GERMINACIÓN PARA CINCO ESPECIES FORESTALES.

Sp. 1 (Abies guatemalensis R.)

Sp. 2 (Pinus oocarpa S.)

Sp.3 (Cupressus lusitanica M.)

Sp.4 (Tectona grandis L.F.)

Sp.5 (Gmelina arborea R.)