

Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Agroforestal



“Comparación de la eficiencia de tres tratamientos pregerminativos de semillas, mecánico con cautín; químico con ácido sulfúrico y físico por inmersión en agua caliente, en tres especies de árboles forestales, Teca (*Tectona grandis*); Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*); y Aripín (*Caesalpineia velutina*)”

Trabajo de graduación presentado por

Roberto Enrique Wantland Arce

para optar por el grado académico de Licenciatura en
Ingeniería Forestal

Guatemala
2009

“Comparación de la eficiencia de tres tratamientos pregerminativos de semillas, mecánico con cautín; químico con ácido sulfúrico y físico por inmersión en agua caliente, en tres especies de árboles forestales, Teca (*Tectona grandis*); Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*); y Aripín (*Caesalpinea velutina*)”

Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Agroforestal



“Comparación de la eficiencia de tres tratamientos pregerminativos de semillas, mecánico con cautín; químico con ácido sulfúrico y físico por inmersión en agua caliente, en tres especies de árboles forestales, Teca (*Tectona grandis*); Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*); y Aripín (*Caesalpineia velutina*)”

Trabajo de graduación presentado por

Roberto Enrique Wantland Arce

para optar por el grado académico de Licenciatura en
Ingeniería Forestal

Guatemala
2009

Vo. Bo. :

(f) _____
Ingeniero Carlos Ramírez

Tribunal Examinador:

(f) _____
Ing. Cesar Castañeda

(f) _____
Ing. Carlos Ramírez

(f) _____
Ing. Luis Andrés Arévalo

Fecha de aprobación: Guatemala, 19 de noviembre de 2009

PREFACIO

La deforestación es un fenómeno que ha afectado mucho a Guatemala, lo cual ha sido causado por la tala inmoderada de árboles, que ha llevado al país a perder la mayoría de su cobertura boscosa. Por eso es necesario buscar urgentemente formas de reforestar el país y promover la silvicultura en las regiones con vocación forestal, ya que Guatemala es un país inminentemente forestal. Para esto se hace necesario dar a conocer esa cultura como una opción para obtener beneficios económicos, generar empleos y mejores condiciones de vida para sus habitantes.

La elaboración de este trabajo surgió precisamente del interés por coadyuvar a buscar formas eficientes de germinación de especies forestales que permitan reforestar el país, así como para dejar una herramienta importante de apoyo.

Agradezco la colaboración del Instituto Nacional de Bosques (INAB), dependencia del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación que me proporcionó las semillas que se utilizaron en la investigación, así como a la Universidad Del Valle de Guatemala en cuyas instalaciones se realizaron todas las pruebas.

Muy especialmente agradezco a mi asesor, Ingeniero Carlos Ramírez, y al Ingeniero César Castañeda, Director del Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Del Valle de Guatemala quienes me dieron su apoyo.

CONTENIDO

	Página
Prefacio	v
Contenido	vi
Lista de cuadros	viii
Lista de gráficas	x
Lista de figuras	xi
Resumen	xii
I Introducción	1
II Planteamiento del problema	4
A. Preguntas a responder en el experimento	4
B. Objetivos	4
C. Hipótesis	5
D. Variables	6
E. Definición conceptual de las variables	7
F. Definición operacional de las variables	7
III Revisión de la literatura	9
A. Semilla	11
1. Testa o tegumento externo	11
2. Testa o tegumento interno	11
3. Hilo	11
4. Cotiledones	11
5. Plúmula	11
6. Radícula	12
B. Germinación	12
1. Estados en el desarrollo de una semilla	12
a. Desarrollo del embrión	12
b. Acumulación de reservas alimenticias	12
c. Maduración	13
2. Fases del proceso de germinación	14
a. Fase de hidratación	14
b. Fase de germinación	14
c. Fase de crecimiento	14
3. Factores que afectan el proceso de germinación	14
4. Respiración	15

	C. Latencia y problemas en la germinación	16
	D. Especificaciones para el análisis de semillas del ISTA	17
	1. Prueba de contenido de humedad	17
	2. Prueba de peso de la semilla	19
	3. Prueba de pureza	19
	4. Prueba de germinación	20
	5. Pruebas indirectas de viabilidad	21
	a. Prueba de corte	21
	b. Prueba topográfica tetrazolium	21
	c. Método de peróxido de hidrogeno	21
	E. Escarificación y tratamientos pregerminativos	22
	1. Métodos mecánicos	22
	2. Métodos químicos	23
	3. Métodos físicos	24
	F. Descripción de las especies	24
	1. Conacaste, <i>Enterolobium cyclocarpum</i>	24
	2. Teca, <i>Tectona grandis</i> L. f.	27
	3. Aripín, <i>Caesalpinea velutina</i>	28
IV	Materiales y métodos	32
	A. Materiales	32
	B. Metodología	33
	1. Primera fase: Pruebas de pureza, peso, #/kg y tamaño	33
	2. Segunda fase: Tratamientos	34
	3. Tercera fase: Pruebas de germinación	37
	4. Cuarta fase: Resultados	38
V	Resultados	39
	A. Análisis de las semillas	39
	1. Análisis de pureza	39
	2. Análisis de peso	41
	3. Cantidad de semillas por kilogramo	42
	4. Tamaño de la semilla	43
	B. Pruebas de germinación	43
VI	Discusión de los resultados	54
VII	Conclusiones	61
VIII	Recomendaciones	63
IX	Bibliografía	64
X	Apéndice	66
	A. Fotografías	66
	B. Instrumento para toma de datos	73

LISTA DE CUADROS

Cuadro No. 3.1:	Factores que inciden en la germinación	15
Cuadro No. 5.1:	Prueba de pureza de la muestra de la semilla de Aripín (<i>Caesalpinea velutina</i>)	39
Cuadro No. 5.2:	Pureza de la muestra de la semilla de Conacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	40
Cuadro No. 5.3:	Pureza de la muestra de la semilla de Teca (<i>Tectona Grandis</i>)	40
Cuadro No. 5.4:	Peso de la semilla de Aripín (<i>Caesalpinea velutina</i>)	41
Cuadro No. 5.5:	Peso de la semilla de Conacaste (<i>enterolobium cyclocarpum</i>)	41
Cuadro No. 5.6:	Peso de la semilla de Teca (<i>Tectona grandis</i>)	42
Cuadro No. 5.7:	Cantidad de semillas de Aripín (<i>Caesalpinea velutina</i>) por kilogramo	42
Cuadro No. 5.8:	Cantidad de semillas de Conacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	42
Cuadro No. 5.9:	Cantidad de semillas de Teca (<i>Tectona grandis</i>)	42
Cuadro No. 5.10:	Tamaños mínimos y tamaño máximos de la semilla de Aripín (<i>Caesalpinea velutina</i>)	43
Cuadro No. 5.11:	Tamaños mínimos y máximos de Conacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	43
Cuadro No. 5.12:	Tamaños mínimos y máximos de Teca (<i>Tectona grandis</i>)	43
Cuadro No. 5.13:	Resultados de la germinación de las semillas de Aripín	44
Cuadro No. 5.14:	Resultados de germinación de las semillas de Conacaste	46
Cuadro No. 5.15:	Resultados de germinación de las semillas de Teca	48

Cuadro No. 5.16:	Cantidad de semillas de Aripín germinadas por día	49
Cuadro No. 5.17:	Datos para el análisis de varianza - cantidad de semillas germinadas de Aripín	50
Cuadro No. 5.18:	Análisis de varianza - media de días de germinación del Aripín	50
Cuadro No. 5.19:	Cantidad se semillas de Conacaste germinadas por día	51
Cuadro No. 5.20:	Datos para el análisis de varianza - cantidad de semillas germinadas de Conacaste	52
Cuadro No. 5.21:	Análisis de varianza - media de días de germinación del Conacaste	52

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica No. 5.1:	Porcentaje de pureza de las semillas de Aripín	39
Gráfica No. 5.2:	Porcentaje de pureza de las semillas de Conacaste	40
Gráfica No. 5.3:	Porcentaje de pureza de las semillas de Teca	41
Gráfica No. 5.4:	Cantidad de semillas de Aripín germinadas	45
Gráfica No. 5.5:	Porcentaje de semillas de Aripín germinadas	45
Gráfica No. 5.6:	Cantidad se semillas de Conacaste germinadas	47
Gráfica No.5.7:	Porcentaje de semillas de Conacaste germinadas	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Escarificación con cautín en Aripín	35
Figura 2:	Escarificación con cautín en Teca	36
Figura 3:	Escarificación con cautín en Conacaste	36

RESUMEN

Esta investigación tuvo, como propósito, determinar cuál de los tres tratamientos pregerminativos de semillas (mecánico, con cautín; químico, con ácido sulfúrico y físico, por inmersión en agua caliente) es el más eficiente para lograr la germinación de tres especies de semillas de testa dura (Conacaste, Teca y Aripín).

Para ello se aplicó cada tratamiento a 400 semillas de teca, 370 semillas de conacaste y 79 de arripín. Los lotes de semillas que se utilizaron estuvieron conformados por 1609 semillas de teca, 1489 semillas de conacaste y 319 semillas de arripín, que fueron proporcionadas por el Banco de Semillas Forestales – BANSEFOR - del Instituto Nacional de Bosques (INAB).

Además de la prueba de germinación con las semillas tratadas y su control, se aplicó la prueba de pureza, peso y cantidad de semillas por kilogramo a cada lote de semillas, todas éstas son recomendadas por La Asociación Internacional para Análisis de Semillas, ISTA por sus siglas en inglés.

Todas las pruebas y tratamientos aplicados se realizaron entre los meses de septiembre y octubre del 2009 en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala.

Los tratamientos pregerminativos consistieron en: 1). inmersión en agua caliente, 2). inmersión en ácido sulfúrico al 97.5% y 3). escarificación con cautín; además, cada especie tuvo un grupo control, al que no se le aplicó ningún tratamiento.

Luego de cada tratamiento, las semillas se colocaron en un lecho durante un período de 24 días; el control de germinación se realizó en 15 ocasiones, registrando diariamente el día en que germinó cada una de las plántulas de cada grupo para establecer la media del tiempo que tardan en germinar; también se determinó el porcentaje de semillas germinadas por grupo. La eficiencia de los tratamientos se determinó y comparó a partir de dos variables: media de días que tardan en germinar las semillas y el porcentaje de semillas germinadas por tratamiento.

Para establecer si la diferencia de las medias de días de germinación lograda a partir de los tres tratamientos, más el control, era o no estadísticamente significativa, y determinar si la diferencia del porcentaje de semillas germinadas/no germinadas fue estadísticamente significativa se utilizó el método ANOVA y el estadígrafo Chi Cuadrado.

I. INTRODUCCIÓN

La deforestación es un fenómeno que ha afectado al planeta y al que muchos científicos asocian con el calentamiento global; Guatemala no es la excepción ya que durante siglos la tala de árboles, especialmente de maderas duras y preciosas, ha sido una actividad no sólo causada por la demanda de madera, sino por las necesidades de leña y cultivos de subsistencia. Además, la tala de árboles ha causado la desaparición de especies, muchas de las cuales ni siquiera fueron registradas.

De acuerdo con www.rel-uita.org/.../deforestacion_guatemala.htm (en línea - fecha de consulta 28 de junio de 2009), <<Guatemala pierde anualmente 73.148 hectáreas de bosque por distintas causas entre las que sobresalen las actividades del ser humano; en un periodo de diez años se registra la pérdida del 11 por ciento del recurso natural a nivel nacional>>. De acuerdo con ese informe, el 61% de la deforestación se da en áreas protegidas; este hecho ha colocado a Guatemala como el país de América con el mayor índice de deforestación.

Con base en este problema, hay que buscar formas de reforestar de nuevo el país y tratar de establecer plantaciones en todas las áreas de vocación forestal. Por supuesto que hay que dejar claro que no se puede reforestar con cualquier especie en cualquier lugar. Se deben designar las especies aptas para cada tipo de clima y lograr obtener bosques con más aptitudes para sobrevivir. Al estar establecidas estas áreas, se deben buscar métodos de propagación de la especie que se quiere sembrar. Uno de los métodos más usado para la propagación de una especie en un área para fines forestales, es el método por semillas.

El éxito de la propagación por semilla depende de muchos factores, que van desde la recolección y el manejo de la semilla para que ésta pueda

germinar con éxito, hasta el éxito de la reforestación y del manejo que se le dé al bosque después de la siembra.

Los proyectos de reforestación y los éxitos en una producción forestal comienzan en el vivero; por eso la responsabilidad de los viveros es importantísima para los plantadores e instituciones que se dedican a estas actividades.

El objetivo del viverista es suministrar al plantador las plántulas adecuadas en especie, tipo y características, en las fechas previstas y a un bajo costo. Tomando en cuenta esto, el vivero y el viverista pertenecen a un grupo de personas que tienen como objetivo básico, plantar árboles forestales, ya sea en plantaciones o en lotes comunitarios. Estos árboles formarán fuentes de productos y beneficios forestales con metas determinadas, tales como la producción de madera para pulpa, aserraderos, producción de leña, protección de cuencas, y recuperación de la cobertura boscosa que ya se ha perdido.

Sin embargo, muchas de las semillas forestales son difíciles de germinar por su testa dura; ello ha originado que muchas instituciones a nivel mundial promuevan la experimentación de distintos métodos de escarificación de las semillas; los métodos utilizados son físicos, mecánicos y químicos. Cada uno de estos métodos tiene formas distintas; en este experimento se utilizó, como tratamiento pregerminativo de escarificación mecánica, el cautín; el tratamiento físico consistió en la inmersión de las semillas en agua caliente y el químico en la inmersión de las semillas en ácido sulfúrico al 97.5%.

Estos tres métodos se aplicaron a las semillas de tres diferentes especies forestales: Teca (*Tectona grandis*), Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) y Aripín (*Caesalpinia velutina*).

Los resultados demuestran que el tratamiento más efectivo para las especies, Aripín y Conacaste, fue el de inmersión en agua caliente, obteniendo porcentajes de germinación de 37.97% y 73.24 %

respectivamente. En la evaluación de Teca no se obtuvo ningún porcentaje de germinación, en ninguno de los tratamientos.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A. PREGUNTAS A RESPONDER EN EL EXPERIMENTO

1. ¿En qué medida es estadísticamente significativa la diferencia de las medias de días que tardan en germinar tres especies de semillas de testa dura (conacaste, teca y aripín) al utilizar tres tratamientos pregerminativos diferentes y su respectivo testigo sin tratamiento?
2. ¿En qué medida es estadísticamente significativa la diferencia de las proporciones de semillas de conacaste, teca y aripín germinadas al utilizar tres tratamientos pregerminativos diferentes para cada especie, también comparadas con su respectivo testigo sin tratamiento?

B. OBJETIVOS

1. Generales

- a. Determinar la pureza, peso, tamaño y cantidad de semillas por kilogramo, de un lote de semillas, de conacaste, teca y aripín.
- b. Determinar en qué medida es estadísticamente significativa la media del tiempo que tardan en germinar tres especies de semillas de testa dura (conacaste, teca y aripín) al utilizar tres tratamientos pregerminativos diferentes para cada especie, incluyendo testigo sin tratamiento.
- c. Determinar en qué medida es estadísticamente significativa la diferencia de los porcentajes de semillas de conacaste, teca y aripín germinadas al utilizar tres tratamientos pregerminativos diferentes para cada especie, incluyendo testigo sin tratamiento.

2. Específicos

- a. Determinar la pureza de los lotes de semillas de conacaste, aripín y teca.
- b. Determinar el peso de las semillas de conacaste, aripín y teca.

- c. Determinar la cantidad de semillas de conacaste, aripín y teca por kilogramo.
- d. Determinar el tamaño de la semilla de conacaste, de aripín y teca.
- e. Determinar la media de días que tardan en germinar las semillas de conacaste, aripín y teca al utilizar el tratamiento pregerminativo de escarificación mecánica con cautín.
- f. Determinar la media de días que tardan en germinar las semillas de conacaste, aripín y teca al utilizar el método de escarificación química con ácido sulfúrico.
- g. Determinar la media de días que tardan en germinar las semillas de conacaste, aripín y teca al utilizar el tratamiento pregerminativo físico por inmersión en agua caliente.

C. HIPÓTESIS

1. Nulas

- a. A un nivel alpha de 0.05, la diferencia de las medias de días que tardan en germinar las semillas de conacaste, teca y aripín al utilizar tres tratamientos pregerminativos no es estadísticamente significativa.
- b. A un nivel alpha de 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la proporción de semillas de conacaste, teca y aripín germinadas al utilizar tres tratamientos pregerminativos.

2. Alternas

- a. A un nivel alpha de 0.05, la diferencia de las medias de días que tardan en germinar las semillas de conacaste, teca y aripín al utilizar tres tratamientos pregerminativos es estadísticamente significativa.
- b. A un nivel alpha de 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la proporción de semillas de conacaste, teca y aripín germinadas al utilizar tres tratamientos pregerminativos.

D. VARIABLES

1. Variable independiente

- a. Tratamientos pregerminativos de escarificación mecánica con cautín, escarificación química con ácido sulfúrico e inmersión en agua caliente.

2. Variables dependientes

- a. Media de días que tardan en germinar las semillas de conacaste, teca y aripín germinadas al utilizar tres tratamientos pregerminativos diferentes.
- b. Porcentaje de semillas de conacaste, teca y aripín germinadas al utilizar tres tratamientos pregerminativos diferentes y su testigo.

3. Variables controladas

- a. Especie de semilla (conacaste, teca, aripín)
- b. Lugar de colecta y procedencia de las semillas (proporcionado por el BANSEFOR)
- c. Sustrato utilizado (se utilizó el mismo sustrato para todas las semillas de cada especie)
- d. Condiciones (todas las pruebas a las semillas de cada especie se hicieron en las mismas condiciones de humedad, temperatura y luz)

4. Variables no controladas

- a. Calidad física de las semillas
- b. Calidad genética de las semillas
- c. Calidad del cautín
- d. Marca del químico utilizado en PPM
- e. Calidad del agua utilizada

E. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES

1. Variables independientes:

- a. **Tratamiento pregerminativo por escarificación mecánica con cautín:** este método consiste en causar en la testa de la semilla una pequeña lesión, haciendo un pequeño orificio cortando con algo filoso y/o perforando o lijando la testa de la semilla. En este caso, el orificio se hizo utilizando cautín que es una herramienta comúnmente empleada para soldar.
- b. **Tratamiento pregerminativo por escarificación química con ácido sulfúrico:** este método consiste en sumergir la semilla en una sustancia química como ácido sulfúrico.
- c. **Tratamiento pregerminativo físico por inmersión en agua caliente:** este método consiste en sumergir la semilla en agua caliente, hasta 100°C, y después en remojo hasta alcanzar temperatura ambiente, para ablandar la testa de las semillas.

2. Variables dependientes:

- a. **Media de días:** la media es un estadígrafo de posición que consiste en sumar n cantidad de valores y dividir el resultado entre "n".
- b. **Proporción o porcentaje:** es la igualdad de dos razones de una misma clase y que tienen el mismo valor.

F. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES

1. Variables independientes

- a. **Tratamiento pregerminativo por escarificación mecánica con cautín:** en esta investigación, este tratamiento pregerminativo se utilizó para abrir y dañar la testa de las semillas en las tres especies de semillas utilizando un cautín tipo lápiz.
- b. **Tratamiento pregerminativo por escarificación química con ácido sulfúrico:** en esta investigación, el tratamiento

pregerminativo por escarificación química con ácido sulfúrico se realizó sumergiendo las tres especies de semillas en ácido sulfúrico al 97.5%, y después se lavaron con agua.

- c. **Tratamiento pregerminativo físico por inmersión en agua caliente:** en esta investigación, el tratamiento pregerminativo físico por inmersión en agua caliente se realizó sumergiendo las tres especies de semillas en agua caliente a 100°C.

2. Variables dependientes:

- a. **Media de días:** en esta investigación es el promedio de días que tardan en germinar las tres especies de semillas utilizando los tres métodos indicados y su testigo.
- b. **Proporción de semillas germinadas:** en esta investigación es la cantidad de semillas germinadas de las tres especies, contra la cantidad de semillas no germinadas, utilizando los tres métodos indicados y su testigo.

III. REVISIÓN DE LA LITERATURA

De acuerdo con Thompson (1979), la mejora consistente en la calidad de la semilla se remonta a 1869 cuando Friedrich Nobbe abrió una estación experimental de semillas agrícolas en Alemania, laboratorio al que muchos agricultores enviaban sus semillas para que les certificaran su calidad mediante el análisis de su pureza analítica y capacidad de germinación. Cincuenta años después funcionaban estaciones oficiales de ensayo de semillas en 60 países diferentes.

En 1924 se formó la Asociación Internacional para el Ensayo de Semillas (ISTA) con el propósito de estandarizar los ensayos practicados en los distintos laboratorios; en la actualidad se cuenta, gracias al ISTA, con normativas relacionadas tanto con los estándares de calidad como con los métodos para su medición. Esos reglamentos se revisan periódicamente con el propósito de incorporar nuevos descubrimientos y prevenir los cambios en las prácticas agrícolas. Gracias a iniciativas como las del ISTA, se ha logrado mejorar el rendimiento de muchas especies (Thompson, 1979).

Para obtener en el vivero las plantas con las características a sembrar, hay que seguir un proceso, que va desde la semilla, con su obtención, procesamiento, el manejo que se le dé en el beneficio de semillas, y el tratamiento y manejo que se le dé en el vivero antes de la siembra; un factor que depende totalmente de la semilla es la calidad genética de la especie.

Para garantizar que el material reproductivo que se va a sembrar tiene buena calidad genética, se deben obtener las semillas de bancos que usen propuestas del “Proyecto de la OCDE para la certificación de material forestal reproductivo que circula en el comercio internacional”. La OCDE es la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (Napier, 1985).

El proyecto de la OCDE define los materiales reproductivos en cuatro diferentes categorías:

- **Material de fuente identificada** donde, como mínimo, se menciona en el certificado una descripción de la localización (es decir, la región de procedencia, la fuente de la semilla o el rodal delimitado) y posiblemente altitud. No ha habido ninguna forma de selección fenotípica.
- **Material seleccionado**, donde el material básico ha sufrido una selección fenotípica a nivel de población. Esto incluye rodales semilleros que son fenotípicamente superiores a otros rodales de la misma región de procedencia.
- **Material cualificado**, donde ha habido una selección fenotípica a nivel individual.
- **Material comprobado**, donde se ha encontrado que el material es genéticamente superior mediante ensayos como de progenies o comparativos (Nanson, 2001).

Por eso hay que tratar de conseguir la semilla de alguna de estas cuatro categorías diferentes. Otro de los factores para que la inversión en el vivero sea segura, es que se debe tratar de obtener la semilla de más alta calidad posible.

Una semilla de alta calidad debe ser de alta pureza analítica, de especies y cultivares libres de malas hierbas, de alto vigor y capacidad germinativa, de tamaño uniformemente grande, libre de enfermedades y con bajo contenido de humedad (Thompson 1979).

La germinación y los tiempos que ésta requiera para germinar dependen de todos estos factores y de otros que ya son propios de la especie, como por ejemplo, la latencia.

A. SEMILLA

Las semillas se forman en las con flores (angiospermas) y están dentro del fruto. Aunque las semillas proceden de flores, no todos los botones florales dan lugar a semillas maduras ya que en ello influyen factores como suministro de agua, nutrientes minerales, luz y temperatura, entre otros.

De acuerdo con Thompson (1979), las semillas angioespermicas que es el tipo de semilla de las tres especies con las cuales se experimentó, tienen la siguiente estructura:

1. Testa o tegumento externo: es una capa protectora que puede tener distintas texturas y apariencias; generalmente es dura y consta de dos capas: una interna y una externa de cutícula y una o más capas de tejido grueso que sirve de protección; por lo tanto, es impermeable al agua y a los gases lo que le confiere una influencia reguladora sobre el metabolismo y crecimiento de la semilla. Es la testa dura precisamente uno de los factores que más dificulta la germinación de semillas de especies forestales, como las que se utilizaron en este experimento.

2. Tegumento interno: es la cubierta o envoltura de la semilla (cubierta seminal o epispermo); esta capa protege a la semilla por lo que su estructura está relacionada con las funciones que desempeña: protección, dispersión y absorción de agua. Es la primera defensa de la semilla contra las condiciones adversas del medio que la rodea; la protege de las tensiones mecánicas y la invasión de organismos patógenos y de las variaciones de humedad y temperatura. Está cubierta por una capa llamada testa.

3. Hilo: es la cicatriz que deja, por abscisión, la separación entre la semilla y el ovario; su forma puede ser circular o elíptica.

4. Cotiledones: es la parte más importante de la semilla, ya que es allí en donde se almacena la reserva alimenticia (endosperma). El nudo de fijación de los dos cotiledones permite dividir el eje en dos regiones: hipocotílo (se localiza en la región baja; da origen a la raíz primaria) y epicotílo (se localiza en la región superior con aspecto de racimo de hojas diminutas).

5. Plúmula: da origen a las primeras hojas

6. Radícula: es una estructura que sale de la plúmula y se convierte en raíz.

B. GERMINACIÓN

Los tipos de semillas varían por la cantidad de cotiledones y por la permanencia de éstos. Las semillas angiospérmicas pueden ser monocotiledóneas (tienen un solo cotiledón en su embrión) y dicotiledóneas (tienen dos cotiledones) o epigeas (el tallo embrionario se desarrolla activamente, llevando consigo los cotiledones que se guardan adheridos a él) e hipogeas (conservan sus cotiledones en el suelo).

1. Estados en el desarrollo de una semilla: Una semilla se desarrolla en el óvulo situado en el ovario de una flor. De acuerdo con Thompson (1979), típicamente pueden distinguirse tres estados en el desarrollo de una semilla, luego de la polinización:

a. Desarrollo del embrión: caracterizado por una rápida división celular producida luego de la fusión sexual. En este estado, las semillas tienen un contenido de humedad de aproximadamente 80%.

b. Acumulación de reservas alimenticias: fabricadas en las partes verdes de las plantas, se transportan a la semilla en desarrollo; en las semillas endospérmicas las reservas se depositan fuera del embrión formando el endospermo; en las semillas no endospérmicas, el material es absorbido por el embrión y almacenado en hojas especiales llamadas cotiledones. Por lo tanto, el endosperma desempeña una función importante como intermediario, tanto en la nutrición del embrión durante su desarrollo y maduración, como en el crecimiento de la plántula ya que ejerce un control hormonal en el crecimiento y diferenciación del embrión y en su ausencia el embrión generalmente aborta (www.cyta.com.ar/semilla/.caracteristicas.htm).

c. Maduración: en esta etapa, aunque el peso seco permanece constante, la humedad desciende hasta un 10-20% lo que ocasiona cambios de color. Se deposita una capa de corcho en la base de la semilla lo que la separa de la conexión con la planta madre.

El embrión dentro de la semilla es una planta en miniatura; aunque está vivo – resultado de la inhibición – respira muy lentamente. Una buena germinación supone el desarrollo del embrión a una plántula con un sistema radicular capaz de absorber el agua y disolver los nutrientes minerales y con una superficie foliar capaz de realizar la fotosíntesis; estas condiciones la convierten en una planta independiente que es capaz de crecer en un ambiente favorable.

En la germinación el embrión se hincha, y la cubierta de la semilla se rompe. La radícula de la planta, en la punta del hipocotílo, es la primera parte del embrión que emerge o que sale de la cubierta seminal, forma la raíz primaria. Al fijarse en el suelo, emerge el epicotílo y empieza a desarrollarse la planta. Los cotiledones permanecen en el suelo o son llevados al aire por el crecimiento hacia arriba de la parte superior del hipocotílo. Poco a poco, cuando la planta ya consumió las sustancias almacenadas en los cotiledones, éstos disminuyen de tamaño, se secan y se desprenden.

<<Poco antes de alcanzar la madurez fisiológica, la semilla comienza a deshidratarse en la planta madre, primero a través de la cubierta seminal y en la etapa final continúa la deshidratación por el hilo. En general, las cubiertas seminales son secas y permeables al agua. A medida que la semilla madura en la planta madre es común que las capas celulares externas se transformen en esclereidas como en las leguminosas y las vicias. En estas especies, algunas semillas se vuelven impermeables, y se las conoce como semillas duras ya que para poder absorber agua durante la imbibición, necesitan de un tratamiento denominado escarificación, que remueve un sector de la cubierta seminal>>

(www.cyta.com.ar/semilla/.../caracteristicas.htm)

Para que el proceso de germinación tenga lugar, es decir, para recuperar la actividad biológica de la semilla, tenga lugar, es necesario proveer una serie de condiciones ambientales favorables entre las que se encuentran un sustrato húmedo, disponibilidad de oxígeno para facilitar la respiración aerobia y temperatura adecuada. La absorción de agua por la semilla desencadena una secuencia de cambios metabólicos, que incluyen la respiración, la síntesis proteica y la movilización de reservas. A su vez la división y el alargamiento celular en el embrión provoca la rotura de las cubiertas seminales, que generalmente se produce por la emergencia de la radícula.

2. Fases del proceso de germinación: De acuerdo con www.euita.upv.es/variados/biologia/.../tema_17.htm, en el proceso de germinación se pueden distinguir tres fases:

a. Fase de hidratación: Durante esta fase se produce una intensa absorción de agua por parte de los distintos tejidos que forman la semilla; esto, a su vez, incrementa la actividad respiratoria.

b. Fase de germinación: Se producen las transformaciones metabólicas, necesarias para el correcto desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse.

c. Fase de crecimiento: Es la última fase de la germinación y se asocia con la emergencia de la radícula (cambio morfológico visible). Esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria.

3. Factores que afecta el proceso de germinación: En el proceso de germinación intervienen tanto factores internos, como externos, según se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 3.1
Factores que inciden en la germinación

	Factores	Importancia
Internos	Madurez	Es necesario que las distintas estructuras de la semilla hayan alcanzado su desarrollo y experimenten las transformaciones fisiológicas necesarias (pérdida de las sustancias inhibitoras y acumulación de sustancias promotoras)
	Viabilidad	Se relaciona con el tiempo de la capacidad de una semilla para germinar; una semilla es más longeva cuando menor es su metabolismo por lo que se suele aumentar su longevidad disminuyendo la temperatura ambiente y la cantidad de oxígeno o deshidratándola.
Externos	Humedad	Para que la semilla recupere su metabolismo es necesario que se hidrate por lo que debe dársele la cantidad de agua que necesite, siin que sea excesiva para que no se pudra.
Externos	Temperatura	La temperatura influye en las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que tienen lugar luego de la rehidratación; la temperatura necesaria varía con las especies.
	Gases	La germinación requiere un medio suficientemente aireado que permita una adecuada disponibilidad de O ₂ y CO ₂ que ayudan al embrión a obtener la energía que necesita para realizar su metabolismo.

FUENTE: www.euita.upv.es/varios/biologia/.../tema_

Por el otro lado, dentro de los procesos metabólicos que tienen lugar durante la germinación, hay por lo menos dos:

4. Respiración De acuerdo con www.euita.upv.es/varios/biologia/.../tema_, la semilla seca muestra una escasa actividad respiratoria, aumentando el consumo de O₂, después de iniciada la imbibición. A partir de este momento el proceso respiratorio de las semillas se divide en cuatro fases:

a. Fase 1: Se caracteriza por un rápido incremento en la respiración que se inicia antes de las 12 horas desde el inicio de la imbibición; la

actividad respiratoria es proporcional a la hidratación de los tejidos de la semilla; se cree que el sustrato principal utilizado en esta fase es la sacarosa.

b. Fase 2: La actividad respiratoria se estabiliza entre 12-24 horas después de iniciada la imbibición. Se cree que las cubiertas seminales, que aún están intactas, limitan la entrada de O_2 ; la eliminación de la testa puede acortar o anular esta fase.

c. Fase 3: vuelve a incrementarse la actividad respiratoria ya que hay mayor disponibilidad de O_2 , como consecuencia de la ruptura de la testa producida por la emergencia de la radícula y por la actividad de las mitocondrias sintetizadas en las células del eje embrionario.

d. Fase 4: vuelve a disminuir la respiración y se desintegran los cotiledones que, para entonces, exportaron ya sus reservas almacenadas.

5. Movilización de las sustancias de reserva: las reservas de lípidos, proteínas, carbohidratos y compuestos inorgánicos se movilizan permitiendo el crecimiento de la plántula.

C. LATENCIA Y PROBLEMAS EN LA GERMINACIÓN

Las tres necesidades básicas para la germinación son agua, oxígeno y temperatura que varía entre 5 y 45 °C, dependiendo de la semilla. Una semilla que germina cuando se satisfacen estos requerimientos se dice que está madura para germinar. Una semilla que acaba de madurar, sin embargo, no necesariamente puede germinar.

La latencia inhibe la germinación de la semilla al estar madura y desarrollada; la latencia está es causada por diversos factores y puede implicarse en más de un proceso. Según Thompson, pareciera que se bloquean diversos procesos fisiológicos en la germinación, como que haya un inhibidor o esté ausente una sustancia promotora del crecimiento. En una semilla pueden estar promotores e inhibidores, predominando los inhibidores (Thompson 1979).

Un ejemplo de esta latencia puede ser que en algunas leguminosas, se producen semillas duras que tienen la dificultad de de permear gases y/o agua. En el caso de los gases, la testa de la semilla no tiene la capacidad de dejar pasar oxígeno y liberar dióxido de carbono para que la semilla pueda respirar y en el caso del agua, no puede ser absorbida por la semilla; para interrumpir la latencia se debe hacer perder la impermeabilidad de la testa.

Una semilla puede haber perdido la latencia y estar en óptimas condiciones para germinar, pero si la semilla es de testa muy dura, puede ser que se necesite de procesos climáticos, como cambios de temperatura y humedad, para que la testa se suavice y que el embrión pueda absorber agua y respirar para poder germinar.

D. ESPECIFICACIONES PARA EL ANÁLISIS DE SEMILLAS DEL ISTA

La Asociación Internacional de Análisis de Semillas (ISTA) fue creada en el año 1921 con el propósito de estandarizar los análisis de semillas y facilitar el mercadeo internacional. Aunque inicialmente sus objetivos se centraron en el análisis de semillas agrícolas, en la actualidad también incluyen las semillas forestales (CATIE, 2000).

De acuerdo con CATIE (2000), en el análisis de semillas forestales, deben incluirse, como mínimo, las pruebas de contenido de humedad, peso de semilla y porcentaje de germinación.

1. Prueba de contenido de humedad: Dado que el contenido de humedad y la temperatura son factores cruciales durante el almacenamiento y manejo de la semilla, el análisis del contenido de humedad ayuda a determinar la actividad fisiológica y bioquímica de la semilla. Para realizar este análisis, de acuerdo con CATIE (2000), se pueden utilizar tanto métodos directos como indirectos.

Los métodos directos se realizan para eliminar el agua de las semillas y, entre estos, el más recomendado por ISTA (CATIE, 2000) está el de secado

al horno o “método del horno a temperatura baja constante”. Para ello se seleccionan, al azar, dos grupos de semillas (cada uno con un peso de entre 4 y 10 gramos si son semillas pequeñas o 30 semillas si son grandes); las semillas de más de 10 mm de diámetro se cortan rápidamente en 4-5 pedazos (se debe hacer rápidamente para evitar la pérdida de humedad) cada grupo se deja, durante 17 horas, en un recipiente a temperatura de 1 grado centígrado. Transcurrido el tiempo recomendado, los recipientes se colocan en un desecador hasta que se enfrían. Luego se pesan en una balanza de aproximación al 0.001 g y se calcula el contenido de humedad de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$(M2-M3) \times \frac{100}{(M2-M1)}$$

en donde:

- M1 es el peso del recipiente, en gramos
- M2 es el peso del recipiente y su contenido en gramos antes del secado
- M3 es el peso del recipiente y su contenido en gramos después del secado

El resultado se establece como el promedio de las dos repeticiones, expresado en decimal y se compara con los límites de tolerancia establecidos por ISTA (CATIE, 2000).

Entre los métodos indirectos, está el “Dickey John moisture meter” (CATIE, 2000) que consiste en un medidor de humedad que mide la capacitancia, la cual se incrementa a medida que la humedad de la semilla aumenta.

Otros métodos indirectos consisten en secar las semillas bajo una bombilla de luz infrarroja por 35 minutos así como métodos higrométricos.

2. Prueba de peso de la semilla: De acuerdo con CATIE (2000), esta prueba tiene, como objetivo, calcular el peso de 1000 semillas con el propósito de establecer el número de semillas por kilogramo. ISTA (CATIE, 2000) sugiere el siguiente procedimiento:

- a. Separar, al azar, 100 semillas.
- b. Calcular el peso de las 100 semillas.
- c. Regresar las semillas al grupo.
- d. Separar, al azar, 100 semillas, etc.
- e. Este procedimiento se repite ocho veces, determinando el peso cada vez.
- f. Se calcula el peso total sumando los ocho valores obtenidos y multiplicando el resultado por 1.25.
- g. Luego se calcula la varianza y la desviación estándar.
- h. El coeficiente de variación se calcula al multiplicar la desviación estándar por cien y dividir el resultado entre el promedio de los ocho pesos.

De acuerdo con CATIE (2000), puesto que el peso depende del contenido de humedad de la semilla, si el coeficiente de variación excede 4, se debe repetir la prueba, calculando el peso 16 veces.

3. Prueba de pureza: La prueba de pureza de las semillas tiene, como objetivo, determinar la composición, por peso, de la muestra de análisis ya que pueden contener impurezas como malezas, semillas de otras especies, estructuras desprendidas, partículas de hojas, ramas, etc. los cuales pueden reducir el rendimiento durante la siembra.

Thomson (1979) afirma que la pureza analítica indica qué cantidad del material de la bolsa es semilla intacta de la especie, análisis que es un componente básico de la calidad de la semilla.

Para determinar la pureza, CATIE (2000) recomienda utilizar el siguiente procedimiento:

- a. Colocar las semillas en una lámina de vidrio con luz por debajo, colocada sobre una mesa.
- b. Separar el material con un cuchillo plano de madera o bisturí de acuerdo con tres criterios: semillas puras (semillas que se están analizando), otras semillas (semillas de otras especies distintas a la que se está analizando) y materia inerte (malezas, estructuras desprendidas de las semillas, partículas de hojas y ramitas, etc.).
- c. Calcular el peso de las semillas puras (las semillas que se están analizando).
- d. Calcular el porcentaje de pureza al dividir el peso de las semillas puras entre el peso total del material (semillas puras, otras semillas y materia inerte) y multiplicar el resultado por cien.

4. Prueba de germinación: De acuerdo con CATIE (2000), esta prueba tiene, como objetivo, establecer la cantidad máxima de semillas que pueden germinar bajo condiciones óptimas de luz, humedad y temperatura (el tiempo recomendado es de 3-4 semanas).

El ISTA (CATIE, 2000), sugiere seguir el procedimiento siguiente:

- a. Decidir si se va a utilizar un tratamiento de rompimiento de latencia.
- b. Extender las semillas (con o sin tratamiento de rompimiento de latencia) sobre el sustrato húmedo espaciándolas a 1.5-5 veces el ancho de las semillas para evitar la difusión de hongos.
- c. Registrar, una o dos veces por semana, la cantidad de semillas germinadas.
- d. Sacar las semillas contadas para evitar la propagación de hongos.
- e. Al finalizar, deben contarse las semillas que germinaron normalmente, es decir las plántulas que tienen sus estructuras esenciales (raíz, brotes axilares, cotiledones, cogollos), que están completas, sanas y bien desarrolladas así como las plántulas con

defectos menores, pero con capacidad de desarrollarse como plantas satisfactorias y las plántulas que fueron infectadas en forma secundaria, es decir, que la infección no se originó en la semilla madre.

De acuerdo con CATIE (2000), el resultado de la prueba de germinación se estima con base en la categoría de germinadas normales y corresponde a la mediana de las cuatro réplicas.

5. Pruebas indirectas de viabilidad: De acuerdo con CATIE (2000), una prueba de germinación dura de tres a cuatro semanas. Sin embargo, dado que en algunos casos se necesita una estimación rápida, pueden utilizarse las pruebas indirectas de viabilidad que tienen, como objetivo, hacer un estimado rápido de la viabilidad de las muestras. Entre las pruebas indirectas de viabilidad están (CATIE, 2000):

a. Prueba de corte que consiste en la inspección ocular de las semillas que se deben abrir con un cuchillo o bisturí para examinar el endospermo (si éste es de color normal y con un embrión bien desarrollado), se asume que su probabilidad de germinar es alta.

b. Prueba topográfica tetrazolium. En esta prueba se utiliza el producto trifenil tetrazolium chloride en el cual se sumergen las semillas por 6-24 horas a una temperatura de 25-30 grados centígrados. Luego se lavan y se evalúa el patrón de tinción; si están tenidas de rojo, se asume que tienen una buena viabilidad (CATIE, 2000).

c. Método de peróxido de hidrógeno. Aunque no se ha establecido, con seguridad, la base bioquímica de esta prueba, de acuerdo con CATIE (2000), se cree que el peróxido de hidrógeno amplía las fases tempranas de germinación al incrementar el nivel de oxígeno en el ambiente lo cual estimula la respiración de las semillas. De acuerdo con CATIE (2000), este método consiste en remojar las semillas en peróxido de hidrógeno al 1% durante 24 horas; luego se corta, con un cuchillo, el extremo de la radícula y

se transfieren las semillas cortadas a una solución de peróxido de hidrógeno al 1%; se dejan incubar, en la oscuridad, a temperatura ambiente durante tres días. Luego se sacan las semillas y se cuentan las que tienen radículas evidentes. Se vuelven a sumergir en peróxido de hidrógeno al 1% durante otros cuatro días y se determina la cantidad de semillas germinadas al día siete.

E. ESCARIFICACIÓN Y TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS

Como es sabido, muchas semillas de especies forestales no germinan debido a que la testa dura impide la entrada de agua (latencia física). Por ello, muchas semillas forestales deben escarificarse.

Para ello, se utilizan varios tratamientos pre germinativos, que funcionan con éxito dependiendo de qué tratamiento se aplique a cada especie. El objetivo de estos tratamientos es permitir que la semilla, que presente síntomas de latencia o que tenga testa dura e impermeable, absorba agua y oxígeno, para que se inicie el proceso de germinación lo más rápido posible, evitando el ataque de hongos e insectos, o algún otro agente externo (Intecap, 1979). Otro objetivo de estos métodos es homogenizar la semilla y uniformar la germinación de la misma, para obtener mejores resultados en el vivero (Napier 1985).

Hay métodos fáciles y otros muy sofisticados para tratar la semilla, pero los más prácticos y utilizados por el viverista son los métodos de escarificación mecánica, escarificación química (con químicos) y la sumersión en agua, al tiempo o caliente.

1. Métodos mecánicos: El objetivo de la escarificación mecánica es suprimir el efecto de la testa impermeable y restrictiva por lo cual se busca reducir el grosor de la capa de la testa al perforar parte de la misma. En cualquier caso, se debe evitar quitar la testa completamente dejando el endospermo visible o dañar el embrión, ya que esto impedirá que la semilla germine.

Hay muchos métodos de escarificación mecánica; entre ellos están el uso de papel de lija para gastar la semilla, la utilización de un escarificador mecánico, que consiste en un cilindro con papel lija grueso en su interior, donde se ponen a dar vueltas las semillas hasta gastar la testa; también está el uso del cautín, una herramienta común para trabajos de soldadura, que fue precisamente el método mecánico utilizado en este experimento.

En 1999, CATIE publicó el libro *Técnicas para la escarificación de semillas forestales*, en el cual describe tres métodos de escarificación mecánica de semillas de testa dura y describen el uso del cautín como un método mecánico tan eficiente como otros hechos taladrando, astillando o limando la testa.

De acuerdo con CATIE (2000), la escarificación con cautín es un método manual lo cual limita su uso en grandes cantidades de semillas; sin embargo, es un método mecánico muy utilizado ya que generalmente el procesamiento de cien semillas toma entre dos y tres minutos.

El procedimiento consiste en colocar la punta del cautín o una punta de varilla de hierro al rojo vivo en la testa de la semilla por medio segundo lo cual abre un agujero color marrón y deja algunas rajaduras pequeñas en la capa exterior impermeable de la testa de la semilla. CATIE (2000) recomienda trabajar a la temperatura más alta posible, con una punta de contacto lo más pequeña posible y tocar la testa durante el menor tiempo posible. Al seguir esas recomendaciones se logra casi el 100% de escarificación.

2. Métodos químicos: La escarificación con químicos consiste en utilizar un ácido para atacar la testa de la semilla. El método consiste en sumergir una malla con las semillas durante un periodo de entre 15 a 60 minutos, dependiendo de la especie. Luego las semillas se lavan con agua corriente alrededor de unos 10 minutos, para después secarlas al sol. Hay que tener cuidado en no excederse en el tiempo de inmersión en el ácido, ya que esto puede también dañar la semilla. En este experimento se usó ácido sulfúrico

al 97.5%, por ser fácil de conseguir y es el ácido más utilizado para escarificar semillas.

3. Métodos físicos: Este método consiste en sumergir las semillas en cuatro ó cinco veces su volumen en agua a unos 80° aproximadamente, dependiendo de la especie, ya que hay unas semillas que necesitan más temperatura, mientras que otras morirían a esta temperatura. Al sumergirlas se debe dejar de calentar el agua y dejarlas reposar en la misma durante unas horas (Napier 1985).

F. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

Las especies que se usaron en este experimento son *enterolobium cyclocarpum* (conacaste), *tectona grandis* (teca) y *caesalpineia velutina* (aripín). Se escogieron estas especies porque son de uso forestal comercial y tienen varias características que las hacen valiosas para su investigación. Adicional a esto, son semillas que están disponibles en el Banco de Semillas del BANSEFOR, por lo que el experimento podría ser de interés para el INAB.

A continuación se describen algunas de las características más importantes de las especies.

1. Conacaste: *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.

Familia: MIMOSACEAE

Nombre científico: *Enterolobium Cyclocarpum*.

Nombre común: Conacaste, Guanacaste, Pit.

Origen y extensión: Originaria de América tropical; Se extiende desde el oeste y sur de México a través de Centroamérica hasta el norte de Sudamérica (Venezuela y Brasil). También se le encuentra en Jamaica, Cuba, Trinidad y Guyana. Ha sido introducida a otras regiones tropicales.

Hábitat: Se desarrolla en regiones costeras del país y a lo largo de ríos y arroyos. Su hábitat propicio es de baja elevación (por debajo de los 500 m).

Presenta su mejor desarrollo en los suelos conocidos como vertisol pélico y vertisol gleyco (FAO). Suelos: arenoso-arcilloso, arenoso, negro.

Tipos de vegetación.

- Bosque de galería.
- Bosque tropical caducifolio.
- Bosque tropical perennifolio (vegetación secundaria).
- Bosque tropical subcaducifolio (vegetación secundaria).
- Bosque tropical subperennifolio.

Vegetación asociada. *Swietenia humilis*, *Byrsonima crassifolia*, *Brosimum* *sp.*, *Licania sp.*, *Salix sp.*, *Trichilia sp.*, *Ficus sp.*, *Sloanea sp.*, *Couepia sp.*

Zona (s) ecológica(s). Trópico húmedo. Trópico sub-húmedo.

Usos: Lo más importante de esta especie es que genera grandes cantidades de vainas nutritivas para el ganado aunque los frutos pueden ser abortivos para las yeguas. También es una fuente valiosa de madera y puede usarse como leña, y podría ser usada también en sistemas silvopastoriles.

Otros usos menores es la fabricación de jabón realizado directamente de las pulpas de las vainas (Guatemala); por el otro lado, las vainas y las semillas inmaduras son cocinadas como verduras para el consumo del ser humano (Sur de México).

Las flores se utilizan en muchos lugares para la extracción de miel.

También se ha usado como árbol ornamental a lo largo de las carreteras y parques, pero nunca ha sido sembrado en gran escala.

Forma de la Planta:

- **Raíz.** Sistema radical extenso y profundo.
- **Porte:** Árbol grande, caducifolio, de 20 a 30 m.. (hasta 45 m.) de altura, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 3 m; cuando crece en condiciones abiertas tiene un troco corto y grueso así como gruesas ramas para soportar la ancha y extendida copa.

- **Tronco / ramas:** tronco derecho y a veces con pequeños contrafuertes en la base; ramas ascendentes.
- **Corteza:** la externa es de lisa a granulosa y a veces ligeramente fisurada, gris clara a gris pardusca, con abundantes lenticelas alargadas, suberificadas, dispuestas longitudinalmente. La interna es de color crema rosado, granulosa, con exudado pegajoso y dulzón. Grosor: 2 a 3 cm.
- **Copa:** hemisférica
- **Hojas:** Miden entre 15 y 40cm.; son opuestas bipinnadas con 4 a 15 pares de pinnas opuestas; el follaje es abundante y puede alcanzar grandes diámetros; folíolos numerosos (15 a 30 pares por pinna) de color verde brillante que se pliegan durante la noche.
- **Flores:** Son pequeñas, blancas, dispuestas en inflorescencias de 1.0-1.5cm. de diámetro cuando están completamente abiertas; se disponen en pequeñas cabezuelas pedunculadas axilares, de 1.5 a 2 cm de diámetro, sobre pedúnculos de 1.5 a 3.5 cm de largo. Flores actino mórficas, cáliz verde y tubular; corola verde clara, de 5 a 6 mm de largo.
- **Frutos:** Las vainas en forma de orejas son el rasgo más distintivo de esta especie. Miden de 3-4cm ancho y tienen apariencia circular indehiscente, aplanada y enroscada; forman casi un círculo completo, de color marrón oscuro lustroso y sabor dulce. Contiene de (5) 10 a 15 (20) semillas que son grandes, ovoides y aplanadas, de 2.3 por 1.5 cm, morenas y brillantes con una línea pálida con la forma del contorno de la semilla, rodeadas por una pulpa esponjosa y fibrosa de olor y sabor dulce. Presentan una testa extremadamente dura que impide la germinación hasta que una modificación estructural permite la hidratación del embrión.

Germinación y tratamiento: El crecimiento es muy rápido y vigoroso al comienzo. Los árboles comienzan habitualmente a producir semillas a los 15-25 años de edad, produciendo cosechas casi todos los años. Un árbol adulto puede producir 2000 vainas de 10-16 semillas cada una. Las semillas se extraen manualmente, machacándolas y cribándolas. Las semillas son

grandes, duras y de cubiertas muy gruesas, entre 800 a 2000 semillas por kilogramo, por lo que requieren pre tratamiento para germinar. La cubierta de la semilla se debe romper mediante el método mecánico, agua caliente o ácido sulfúrico. El mejor método es la escarificación manual. Debido a la forma del árbol se deben usar espaciamientos estrechos en las plantaciones.

Tiempo de germinación: La semilla se siembra a 1 ó 2cm. de profundidad con el micrópilo hacia abajo; germinan entre 3-4 días.

Algunos tratamientos pre germinativos. La inmersión en agua a 75 ó 100°C durante 3 a 6 minutos estimula la germinación (80 a 85 %). También el remojo en ácido sulfúrico concentrado durante 10 minutos resulta en un 80 a 85 % de germinación (Cordero, 2003)

2. Teca: *Tectona grandis* L. f.,

Familia: Verbenaceae

Nombre científico: *Tectona grandis* L. f.,

Nombre común: Teca

Origen: Originario de la India, Birmania, Tailandia, Java e Indonesia.

Asociación vegetal: En su lugar de origen Bosque tropical caducifolio, Bosque decido. Bosque tropical seco.

Altitud (msnm): entre 380 a 1500 msnm.

Suelo: Profundos de arenosa a franca, limo-arcillosa, arcillosa. Los mejores sitios son los suelos aluviales fértiles, bien drenados, con el manto freático profundo. La teca tolera un amplio intervalo de suelos, siempre y cuando estos sean profundos y bien drenados. No tolera suelos poco profundos, compactos y mal drenados, aunque resiste inundaciones temporales.

Precipitación: El óptimo se encuentra en torno a los 1,250 – 2,500 mm, con 3 a 5 meses de sequía. En la India presenta resistencia a las sequías, y es sensible a las heladas y al fuego.

Usos: La madera de esta especie es muy apreciada en el mercado mundial, es empleada para la fabricación de muebles, palmetas y chapas, floreros, ebanistería, puertas, paneles, muebles fijos en laboratorio, construcción de casas, vagones de ferrocarril, durmientes, cabinas de trabajo y carpintería en general.

Forma: Árbol de 25 a 30 m (6) que alcanza los 50 m de altura (3), fustes con un diámetro mayor de 29 cm y hasta un metro.

Hojas: Árbol decíduo.

Flores: El florecimiento es inmediato a la caída de los frutos.

Frutos: Los frutos maduran y caen de febrero a marzo.

Características de las semillas: Las semillas son Ortodoxas, este tipo de semillas puede almacenarse con contenidos de humedad de 6 a 7% y temperaturas $\leq 0^{\circ}\text{C}$; tales condiciones permiten mantener la viabilidad por varios años. Generalmente las semillas ortodoxas presentan algún tipo de latencia. Se ha encontrado un promedio de entre 800 y 1780 semillas por kilogramo, pero en rodales semilleros, con semillas mas pequeñas, hasta un promedio de 2450 por kilogramo.

Tratamientos pregerminativos: Se colocan las semillas sobre un plástico al sol y se riegan de 2 a 3 veces al día, se repite hasta que la fruta se abra y emerja la radícula; o bien lavarlas con ácido sulfúrico diluido. También se pueden poner en agua caliente a 80°C . El tiempo de germinación es de entre 15 a 20 días.

3. Aripín: *Caesalpinia velutina* (Britton et Rose) Stanley

Familia: Caesalpinioideae

Nombre científico: *Caesalpineae Velutina*.

Nombre común: *Aripín, Chaltecoco, Chaperno Blanco, Palo Colorado y totoposte.*

Distribución geográfica: Sur de México (Oaxaca), Guatemala y Nicaragua; no suele encontrarse en otros lugares de modo natural; crece en suelos calcáreos, suelos derivados de serpentín, suelos rocosos y suelos salinos.

Altitud (msnm): se localiza desde los 50 hasta los 1,000 m. sobre el nivel del mar.

Suelos: Los bosques naturales donde se establece la especie presentan suelos derivados de origen calcáreo ó serpentina. No prospera en suelos con características vérticas, muy arcillosos, compactados; además de suelos salinos y con mal drenaje.

Precipitación (mm): Desde los 400 hasta los 1,000 mm, aunque crece mejor a partir de los 600 mm anuales. Crece en climas con ausencia de heladas y soporta sequías prolongadas, de seis a siete meses.

Usos: La madera es dura, muy usada para carbón y leña ya que es de excelente calidad y quema lentamente con gran producción de brasas. Su poder calórico es moderadamente alto y fluctúa entre 4,046.79 y 4,571.82 kcal/kg, sin olor desagradable, produce poco humo; seca rápidamente, y puede ser usada verde mezclada con leña seca. La madera seca puede ser almacenada sin problemas al aire libre, por un año o más siempre que se proteja de la lluvia. Ha sido utilizada para muebles rústicos, construcción, herramienta y postes. Se utiliza en sistemas agroforestales asociada con cultivos anuales (maíz, frijol y tomate), ó con pastos como *Cynodon plectostachyus* para uso en ganadería; aunque su follaje está reportado como no palatable, las cabras pueden comer sus hojas tiernas. Es una especie melífera y tiene potencial para uso ornamental. Se recomienda para incluirla en programas de conservación de suelos y control de la erosión; en Guatemala es usada para la reforestación de terrenos con alta pendiente y en la protección de cuencas hidrográficas.

Forma de la planta

- **Porte:** árbol pequeño, sin espinas, caducifolio, de 10-12 m. de alto y 20-30 cm. de diámetro; su tronco es recto con copa amplia y ligera y ramas bajas en condiciones abiertas.
- **Forma:** árbol caducifolio, de crecimiento relativamente rápido y tamaño mediano, que alcanza hasta 20 m de altura y 30 cm de DN.
- **Corteza:** su corteza es de color blanco grisáceo y lenticelada, la que en árboles adultos es desprendible en placas grandes.
- **Hojas:** sus hojas caducifolias y frutos son densamente velutinosos (aterciopelados); miden entre 20-30cm. de largo, son alternas y bipinnadas.
- **Flor:** abundantes flores amarillas en racimos; florecen entre marzo y mayo (Guatemala).
- **Fruto:** vainas de 10-15cm de largo en grupos, muy vellosas. Cuando maduran son café oscuro, cada vaina contiene de 2 a 10 semillas.

Germinación y tratamiento: Esta especie tiene una buena capacidad para la regeneración natural; produce gran cantidad de semillas al final de la estación lluviosa lo cual incrementa su supervivencia. Sin embargo, siempre hay una voraz predación de la semilla la cual limita la capacidad de la especie de formar rodales naturales. Las vainas no se abren solas y necesitan ser extraídas manualmente. Las semillas recién recolectadas, que pueden ser entre 5000 a 9000 semillas por kilogramo, no necesitan tratamiento pre germinativo y pueden germinar más del 90%, pero la semilla almacenada más de un año o más debe de ser tratada remojándola en agua fría o agua caliente por 3 minutos. La escarificación manual también es efectiva.

Tiempo de germinación: La germinación comienza de 3 a 4 días y dura dos semanas. Las plántulas deberían alcanzar los 40-50cm las primeras 15 semanas. Desde la germinación no es necesario sombra si se riega tres veces por semana, menos en el último mes para endurecer las plantas, y se debe suprimir 8 días antes de plantar.

Algunos tratamientos pregerminativos: Se sugiere mantenerlas en remojo durante 24 horas antes de la siembra. El tratamiento más recomendado para estimular y acortar el tiempo de germinación es el agua hirviendo cuando las semillas han sido almacenadas por más de un año es conveniente sumergirlas en agua a 100°C durante 5 segundos; posteriormente se colocan en agua a temperatura ambiente, y se dejan reposar por 24 horas, cambiando el agua dos veces. El porcentaje promedio es 80% tanto en semillas frescas como en semillas almacenadas. la germinación inicia al tercer día y se prolonga por dos semanas.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. MATERIALES

Para realizar el trabajo de campo se utilizaron los siguientes materiales:

1. Semillas: Las semillas fueron proporcionadas por el Banco de Semillas Forestales del INAB.

- a. Aripín: Se usaron 3 semillas para la prueba preliminar con ácido sulfúrico, y después 79 semillas para cada tratamiento, con un total de 319 semillas.
- b. Conacaste: Se usaron 9 semillas para las pruebas preliminares con ácido sulfúrico y 370 semillas por tratamiento, utilizando, en total, 1489 semillas.
- c. Teca: Se usaron 9 semillas para las pruebas preliminares con ácido sulfúrico y 400 por tratamiento, para un total de 1609 semillas.

2. Materiales utilizados en las pruebas y tratamientos:

- a. Para las pruebas de pureza y peso se utilizó una balanza con capacidad de peso de 4,000 g +- 0.01 g, en donde se pesaron las semillas de las tres especies.
- b. Se utilizó una regla pequeña para medir el tamaño de la semilla.
- c. Tratamiento de escarificación con Cautín:
 - 1) 1 cautín tipo lápiz, con punta fina, marca Pretul, modelo CAU-30P de 30 Watts de consumo.
- d. Tratamiento de escarificación con ácido sulfúrico:
 - 1) Se utilizó ácido sulfúrico al 97.5% de concentración (aproximadamente 600 ml).
 - 2) 1 malla para meter las semillas y sumergirlas en el ácido sulfúrico
 - 3) 1 beaker de 2,000 ml de capacidad.
- e. Tratamiento con agua caliente:

- 1) 1 hornilla eléctrica para calentar el agua.
 - 2) 1 olla mediana
 - 3) 1 termómetro de temperatura límite de 200°C.
 - 4) 3 recipientes de plástico para dejar en remojo las semillas.
- f. Para las pruebas de germinación se utilizaron:
- 1) 4 Tablones de 1 m X 1 m X 8 cm.
 - 2) 4 tablones pequeños de 90 cm x 20 cm X 8 cm.
 - 3) 29 bandejas de germinación de plástico, de 51 posiciones de 4 cm de diámetro cada una y 10 cm de alto.
 - 4) Se usaron dos tipos de sustrato: Peat Moss rubio canadiense (utilizado para el aripin y el conacaste) y turba elaborada en Guatemala (utilizada para la teca)

B. METODOLOGÍA

Luego de revisar la literatura para obtener información acerca de las características de las semillas y su germinación, y de los tratamientos pregerminativos utilizados para traspasar la dureza de la testa, se obtuvo información acerca de las características de las especies utilizadas en esta investigación. Esto se realizó por medio de revisión de libros y textos impresos, así como de internet y algunas tesis que puntualizan las pruebas de germinación.

1. Primera fase: pruebas de pureza, peso, cantidad de semillas por kilogramo y tamaño: La primera fase experimental del trabajo consistió en realizar las pruebas de pureza, peso de la semilla, cantidad de semillas por kilogramo y tamaño de la semilla. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad del Valle de Guatemala.

Para la prueba de pureza, en la balanza, para cada especie, se pesó la muestra completa de semillas proporcionada por el INAB; después se separaron las semillas que se consideraron puras y se volvieron a pesar. Se catalogaron como semillas puras a las semillas en buen estado y con la testa completa. La pureza de las semillas se determinó con la siguiente fórmula:

$$\text{Pureza de la semilla (\%)} = \frac{\text{peso semilla pura}}{\text{peso muestra completa}} \times 100$$

Para obtener el peso de la semilla se contaron 1000 semillas de cada especie, se pesaron y se dividió este peso entre 1000:

$$\text{peso de la semilla (g)} = \frac{\text{peso de 1000 semillas (g)}}{1000}$$

La cantidad de semillas por kilogramo se obtuvo dividiendo 1000 g entre el peso de la semilla obtenido anteriormente:

$$\# \text{ Semillas por kilogramo} = \frac{1000 \text{ g}}{\text{peso de la semilla (g)}}$$

Para obtener el tamaño mínimo de la semilla de cada especie, se midieron 10 semillas de las más pequeñas y se obtuvo un promedio que permitió establecer el tamaño máximo; lo mismo se hizo con 10 de las semillas más grandes.

2. Segunda fase (tratamientos): Los tratamientos también se llevaron a cabo en el laboratorio de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad del Valle de Guatemala.

a. Tratamiento con agua caliente: Para cada especie, se calentó agua en una olla, aproximadamente 3 veces el volumen de la muestra de semilla. El agua se llevó hasta 100 grados de temperatura, y en su punto de ebullición se retiró el recipiente de la fuente de calor. Inmediatamente después se depositaron las semillas en otro recipiente y se dejaron ahí hasta

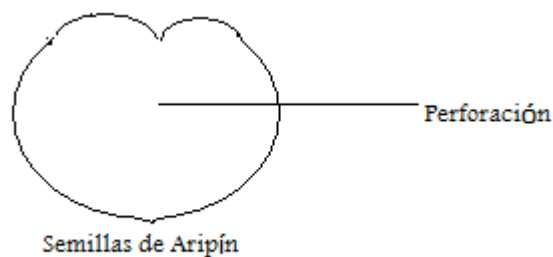
alcanzar la temperatura ambiente; permanecieron en el agua hasta ser sembradas (9 horas aproximadamente).

Fecha y hora de aplicación del tratamiento: 16/09/2009 7:30 a.m

b. Tratamiento por escarificación con cautín: Para cada especie: Se calentó el cautín a la máxima temperatura posible, para que la punta penetrara mas fácilmente la testa. El tratamiento consistió en abrirle un pequeño agujero con la punta incandescente del cautín. Este tratamiento se hizo para las tres especies, el día 15 de septiembre del 2009.

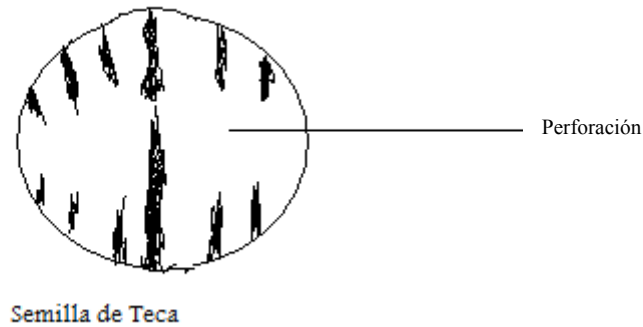
- 1) Aripín: A la semilla de Aripín se le aplicó el tratamiento poniendo la punta del cautín en la testa, en el lugar que se muestra a continuación, el cautín tocó la superficie de la testa aproximadamente 3 segundos:

Figura 1. Escarificación con cautín en Aripín



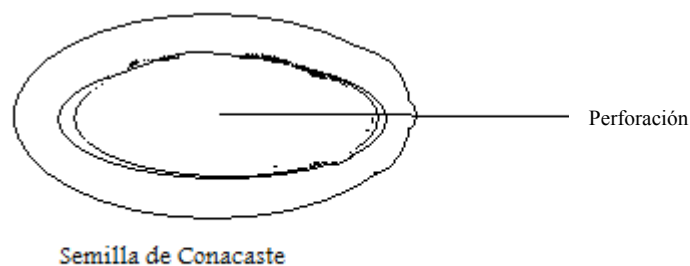
- 2) Teca: Se trató de perforar un poco la testa oprimiendo el cautín sobre la misma. La perforación fue de menos de 1 mm de profundidad y se hizo en donde se muestra en el siguiente diagrama:

Figura 2. Escarificación con cautín en Teca



- 3) Conacaste: Las semillas de conacaste se expusieron a la punta del cautín durante aproximadamente 2 segundos, hasta que se escuchara el ruido 'pff'. Al aplicarlo, la testa de esta semilla presentó una leve perforación, ni muy profunda ni grande, en donde se muestra a continuación:

Figura 3. Escarificación con cautín en Conacaste



c. Tratamiento por escarificación con ácido sulfúrico al 97.5 % de concentración: Para cada especie: Lo primero que se hizo fue sumergir de 1 a 3 semillas por especie en ácido sulfúrico durante 5, 10 y 15 minutos. Es decir, 3 semillas durante 5 minutos, otras 3 durante 10 minutos y otras 3 durante 15 minutos; esto en el caso de Teca y Conacaste; con el Aripín se usó 1 semilla por cada tiempo, por la escases de las mismas.

Lo anterior permitió determinar qué tiempo se colocaría cada especie en al ácido sulfúrico para la escarificación. Se fue revisando cada semilla, y determinando si había mucho daño en la misma, si presentaba perforaciones o mucho deterioro, que pudiera causar daño al embrión; los resultados

permitieron establecer que el tiempo de exposición fue muy largo (si la semilla no presentaba mucho daño, pero sí una testa algo deteriorada, se determinó como escarificada).

Al obtener este dato se aplicó el tratamiento, para lo cual se hizo una malla donde se metieron las semillas. Después se sumergió en 2 veces el volumen de las semillas en ácido sulfúrico al 97.5 % de concentración. Después de transcurrido el tiempo determinado anteriormente, se sacaron las semillas y se pusieron a escurrir, para después ser lavadas con agua. Seguidamente se pusieron a secar al sol y se sembraron aproximadamente 1 hora después.

- **Ver fotografías 6 y 7 en los anexos**

Fecha de aplicación del tratamiento para las tres especies: 16 de septiembre del 2009.

3. Tercera fase (pruebas de germinación): Las pruebas de germinación se llevaron a cabo en el invernadero de la parcela de la Universidad del Valle de Guatemala.

- a. La semilla de Teca se sembró en tabloncillos de 1 m X 1 m X 8 cm, para cada prueba de germinación y su respectivo control. Para ésta se usó turba elaborada en Guatemala. Se sembró un total de 400 semillas por tratamiento y control.
- b. Para Aripín se usaron 4 tabloncillos pequeños de 90 cm x 20 cm X 8 cm. y Peat Moss canadiense para la siembra con cada tratamiento y su respectivo control, usando 79 semillas por cada grupo.
- c. La germinación de Conacaste se hizo en 29 bandejas de germinación de plástico, de 51 posiciones de 4 cm. de diámetro y 10 cm. de alto cada una con Peat Moss canadiense. Esto para cada tratamiento y su control, usando 370 semillas por grupo.

La siembra de todas las semillas de las tres especies fue el 16 de septiembre del 2009, a las 4:30 P.M.

- **Ver fotografías 8 y 9 en los anexos**

4. Cuarta fase (resultados): Por último, para llevar el control de germinación se creó una hoja de control para colocar la fecha en la que se tomó la lectura. La hoja de control se hizo con los datos de fecha de toma de lectura, días transcurridos desde la fecha de siembra, y cantidad de semillas germinadas. De este instrumento se obtuvieron los datos para determinar la cantidad de semillas germinadas y el porcentaje de germinación.

Seguidamente se aplicó el método estadístico ANOVA para determinar la significancia estadística de la diferencia de las medias de los días en que tardaron en germinar las semillas sometidas a los tres tratamientos (más el control) y el Chi Cuadrado para determinar la significancia estadística de la diferencia de proporciones entre semillas germinadas/no germinadas con los tres tratamientos (más el control).

V. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos utilizando los procedimientos descritos en el capítulo anterior.

A. ANÁLISIS DE LAS SEMILLAS

Como se indicó en el capítulo anterior, previo a realizar los tratamientos pre germinativo de escarificación (mecánico, físico y químico), cumpliendo con las normas del ISTE se procedió a analizar las semillas. Por ello, a las semillas se les hizo la prueba de pureza, la de contenido de humedad y la de peso.

1. Análisis de pureza: A continuación se muestran los cuadros con los porcentajes de pureza para cada especie.

Cuadro 5.1
Prueba de pureza de la muestra de la semilla de Aripín (*Caesalpineae velutina*)

Pureza de la muestra de la semilla de Aripín	
Peso de la muestra (g)	42.0 g
Peso de semilla pura (g)	42.0 g
Peso de materia Inerte (g)	0.0 g
% de materia Inerte	0.0 %
% de pureza	100.0 %

Gráfica 5.1
Porcentaje de pureza de las semillas de Aripín

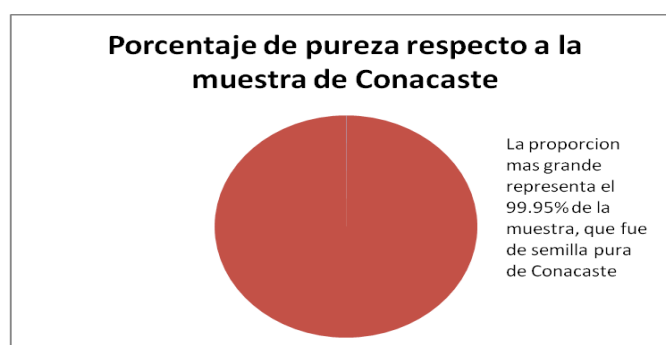


Observaciones: En total, se utilizaron únicamente 319 semillas de aripín puras, ya que no había más disponibles en el Banco de Semillas del INAB; como la semilla fue escogida, toda la muestra era pura.

Cuadro 5.2
Pureza de la muestra de la semilla de Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*)

Pureza de la muestra de la semilla de Conacaste	
Peso de la muestra (g)	1248.1 g
Peso de semilla pura (g)	1247.5 g
Peso de materia Inerte (g)	0.6 g
% de materia Inerte	0.05 %
% de pureza	99.95 %

Gráfica 5.2
Porcentaje de pureza de las semillas de Conacaste

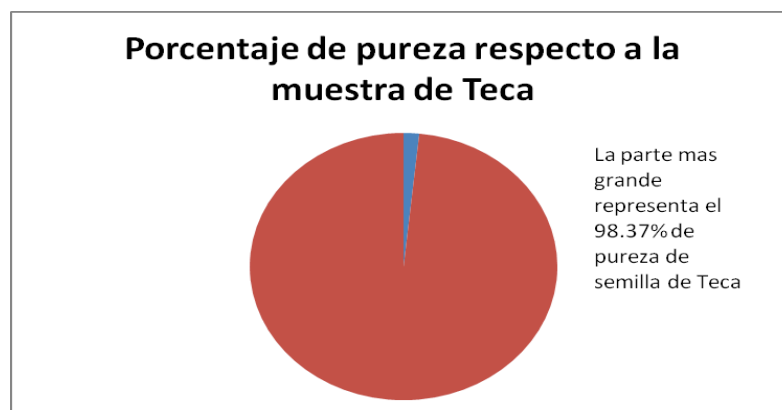


Observaciones: Dado que la semilla de conacaste es grande y fácil de pesar, el análisis de pureza fue fácil. Como se muestra en la tabla, el porcentaje de pureza fue de 99.95%.

Cuadro 5.3
Pureza de la muestra de la semilla de Teca (*Tectona grandis*)

Pureza de la muestra de la semilla de Teca	
Peso de la muestra (g)	893.2 g
Peso de semilla pura (g)	878.6 g
Peso de materia Inerte (g)	14.6 g
% de materia Inerte	1.63 %
% de pureza	98.37 %

Gráfica 5.3
Porcentaje de pureza de las semillas de Teca



Observaciones: Al igual que la semilla de conacaste, la de teca también es grande y fácil de pesar. Como se muestra en la tabla, el porcentaje de pureza fue de 98.37%.

- **Observar las fotografías de la 1 a la 5 en los anexos**

2. Análisis de peso: En los cuadros que se muestran a continuación se muestran los resultados de los pesos de las semillas de las tres especies.

Cuadro 5.4
Peso de la semilla de Aripín (*Caesalpinea velutina*)

Peso de la semilla de Aripín	
Cantidad de semillas en la muestra	319
Peso de la muestra (g)	42 g
Peso de la semilla (g/semilla)	0.132 g/semilla

Cuadro 5.5
Peso de la semilla de Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*)

Peso de la semilla de Conacaste	
Cantidad de semillas en la muestra	1000
Peso de la muestra (g)	786.6 g
Peso de la semilla (g/semilla)	0.787 g/semilla

Cuadro 5.6
Peso de la semilla de Teca (*Tectona grandis*)

Peso de la semilla de Teca	
Cantidad de semillas en la muestra	1000
Peso de la muestra (g)	453.7 g
Peso de la semilla (g/semilla)	0.454 g/semilla

Como se observa, 1000 semillas de conacaste pesaron 786.6 gramos con un peso promedio por semilla de 0.787 gramos, el peso del lote de la semilla de aripín fue de 42 gramos, con un peso promedio por semilla de 0.132 gramos, y las 1000 semillas de conacaste pesaron 786.6 gramos con un peso promedio por semilla de 0.787 gramos.

3. Cantidad de semillas por kilogramo: En los cuadros 5.7 a 5.9 se muestra la cantidad de semillas por kilogramo, para cada especie.

Cuadro 5.7
Cantidad de semillas de Aripín (*Caesalpinea velutina*) por kilogramo

Cantidad de semillas de Aripín por kilogramo	
Peso de la semilla (g)	0.132 g/semilla
Cantidad de semillas por Kg	7,575.75

Cuadro 5.8
Cantidad de semillas de Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) por kilogramo

Cantidad de semillas de Conacaste por kilogramo	
Peso de la semilla (g)	0.787 g/semilla
Cantidad de semillas por Kg	1,270.65

Cuadro 5.9
Cantidad de semillas de Teca (*Tectona grandis*) por kilogramo

Cantidad de semillas de Teca por kilogramo	
Peso de la semilla (g)	0.454 g/semilla
Cantidad de semillas por Kg	2202.64

En los cuadros observamos que el total de semillas de teca, por kilogramo, es de 2,202.64, el total de semillas de aripín, por kilogramo, es de 7,575.75., y el de conacaste es de 1,270.65 semillas por kilogramo.

4. Tamaño de la semilla: El tamaño mínimo y máximo de la semilla se muestran en los cuadros que se incluyen a continuación:

Cuadro 5.10
Tamaños mínimos y máximos de la semillas de Aripín (*Caesalpinea velutina*)

Tamaños mínimos y máximos de la semillas de Aripín			
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grueso (mm)
Peso mínimo	6	5	1
Peso máximo	11	8	1.5

Cuadro 5.11
Tamaños mínimos y máximos de la semillas de Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*)

Tamaños mínimos y máximos de la semillas de Conacaste			
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grueso (mm)
Peso mínimo	15	9	5
Peso máximo	21	13	9

Cuadro 5.12
Tamaños mínimos y máximos de la semillas de Teca (*Tectona grandis*)

Tamaños mínimos y máximos de la semillas de Teca		
	Díámetro (mm)	Ancho (mm)
Peso mínimo	7.5	6
Peso máximo	13	12

B. PRUEBA DE GERMINACIÓN

A continuación se muestran los resultados de la prueba de germinación para cada una de las especies, según los tres tratamientos pre germinativos a los que fueron sometidas.

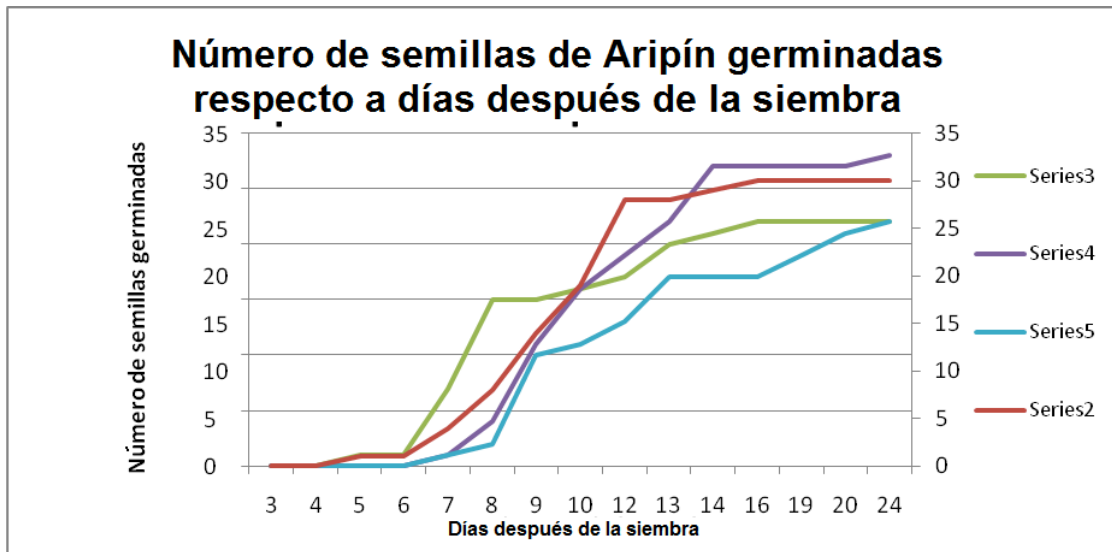
- **Ver fotografías de la 10 a la 20 en los anexos**

Cuadro 5.13
Resultados de germinación de las semillas de Aripín
(Cifras en cantidad de semillas germinadas)

Todas las semillas se sembraron el 16 de septiembre del 2009								
Días después de la siembra	Tratamiento con agua caliente		Escarificación con ácido sulfúrico al 97.5%		Escarificación con cautín		Control	
	Cantidad de semillas germinadas	% de germinación	Cantidad de semillas germinadas	% de germinación	Cantidad de semillas germinadas	% de germinación	Cantidad de semillas germinadas	% de germinación
3.00	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
4.00	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
5.00	1	1.27%	1	1.27%	0	0.00%	0	0.00%
6.00	1	1.27%	1	1.27%	0	0.00%	0	0.00%
7.00	4	5.06%	7	8.86%	1	1.27%	1	1.27%
8.00	8	10.13%	15	18.99%	4	5.06%	2	2.53%
9.00	14	17.72%	15	18.99%	11	13.92%	10	12.66%
10.00	19	24.05%	16	20.25%	16	20.25%	11	13.92%
12.00	28	35.44%	17	21.52%	19	24.05%	13	16.46%
13.00	28	35.44%	20	25.32%	22	27.85%	17	21.52%
14.00	29	36.71%	21	26.58%	27	34.18%	17	21.52%
16.00	30	37.97%	22	27.85%	27	34.18%	17	21.52%
19.00	30	37.97%	22	27.85%	27	34.18%	19	24.05%
20.00	30	37.97%	22	27.85%	27	34.18%	21	26.58%
24.00	30	37.97%	22	27.85%	28	35.44%	22	27.85%
Cantidad de semillas sembradas por tratamiento: 79								

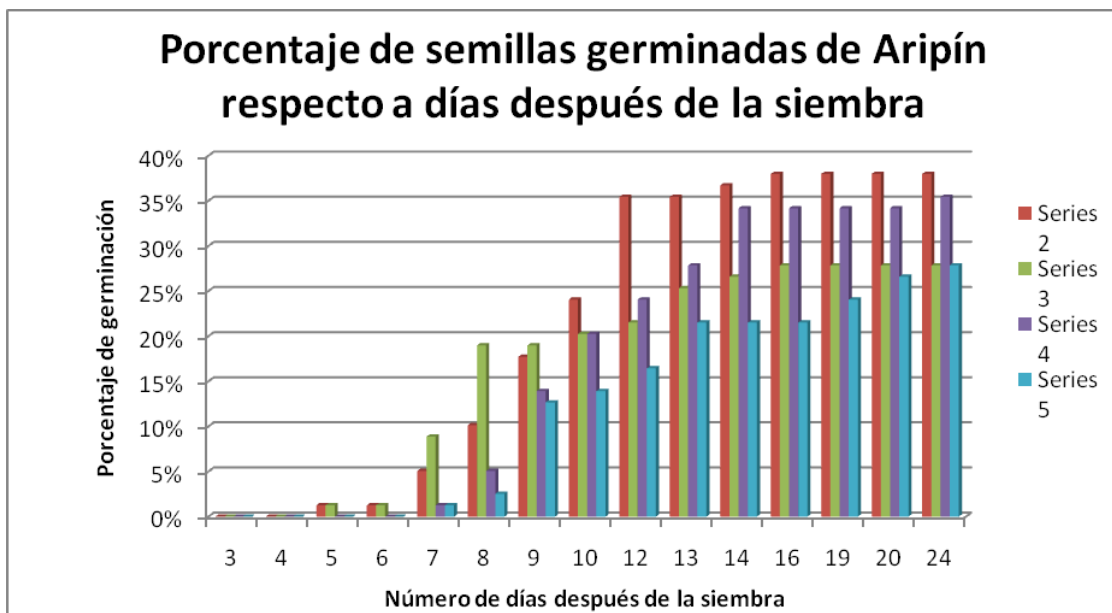
Las gráficas siguientes permiten visualizar los resultados

Gráfica 5.4
Cantidad de semillas de Aripín germinadas



Serie 2: Tratamiento con agua caliente
 Serie 3: Escarificación con ácido sulfúrico al 97.5%
 Serie 4: Escarificación con cautín
 Serie 5: Control

Gráfica 5.5
Porcentaje de semillas de Aripín germinadas



Serie 2: Tratamiento con agua caliente
 Serie 3: Escarificación con ácido sulfúrico al 97.5%
 Serie 4: Escarificación con cautín
 Serie 5: Control

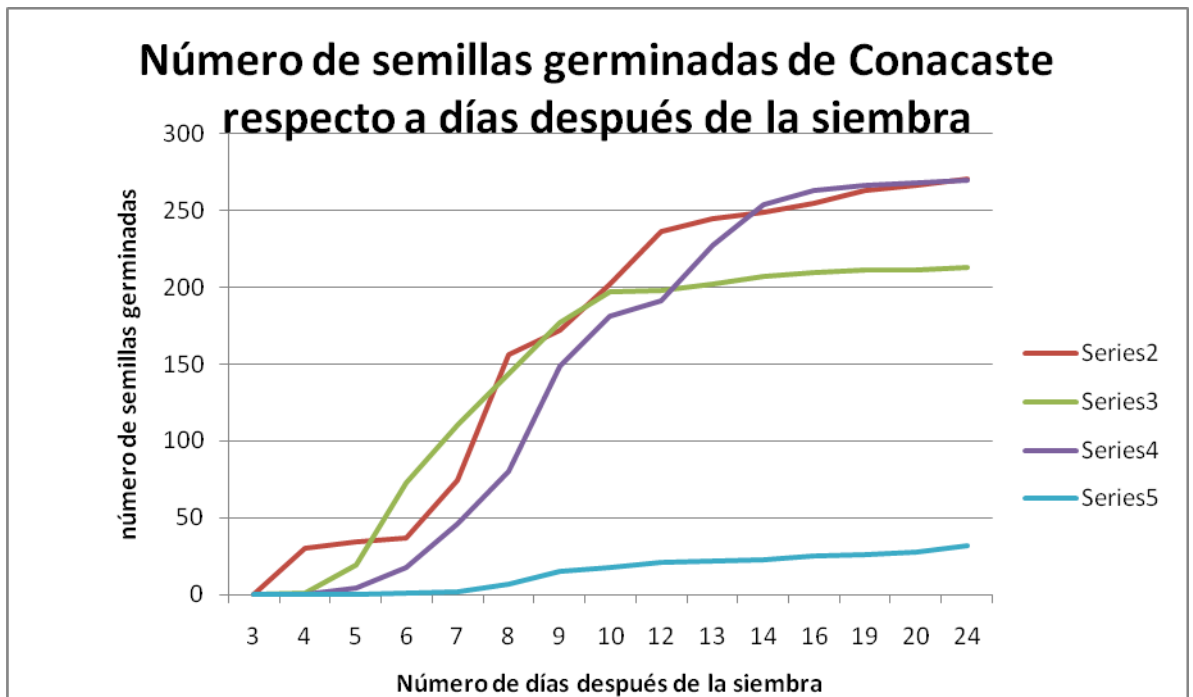
Como se observa, las primeras semillas en germinar fueron las que se sometieron a tratamiento con agua caliente (método físico) y con ácido sulfúrico (método químico). Las que se sometieron a escarificación con cautín fueron las últimas en germinar, aunque lo hicieron el mismo día que las del grupo control. A lo largo de las quince lecturas en que se hizo el registro (veinticuatro días en total), germinó un total de 30 semillas sometidas a tratamiento con agua caliente, 22 sometidas a tratamiento con ácido sulfúrico, 28 sometidas a tratamiento con cautín y 22 del grupo control.

Cuadro 5.14
Resultados de germinación de las semillas de Conacaste
(cifras en cantidad de semillas germinadas)

Todas las semillas se sembraron el 16 de septiembre del 2009								
Días después de la siembra	Tratamiento con agua caliente		Escarificación con ácido sulfúrico al 97.5%		Escarificación con cautín		Control	
	# de semillas germinadas	% germinación	# de semillas germinadas	% germinación	# de semillas germinadas	% germinación	# de semillas germinadas	% germinación
3.00	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
4.00	30	8.11%	1	0.27%	0	0.00%	0	0.00%
5.00	34	9.19%	19	5.14%	4	1.08%	0	0.00%
6.00	37	10.00%	73	19.73%	18	4.86%	1	0.27%
7.00	74	20.00%	110	29.73%	46	12.43%	2	0.54%
8.00	156	42.16%	144	38.92%	80	21.62%	7	1.89%
9.00	172	46.49%	177	47.84%	149	40.27%	15	4.05%
10.00	202	54.59%	197	53.24%	181	48.92%	18	4.86%
12.00	236	63.78%	198	53.51%	191	51.62%	21	5.68%
13.00	245	66.22%	202	54.59%	227	61.35%	22	5.95%
14.00	249	67.30%	207	55.95%	254	68.65%	23	6.22%
16.00	255	68.92%	210	56.76%	263	71.08%	25	6.76%
19.00	263	71.08%	211	57.03%	266	71.89%	26	7.03%
20.00	266	71.89%	211	57.03%	268	72.43%	28	7.57%
24.00	271	73.24%	213	57.57%	270	72.97%	32	8.65%
Numero de semillas sembradas por tratamiento: 370								

Las gráficas siguientes permiten visualizar los resultados.

Gráfica 5.6
Cantidad de semillas de Conacaste germinadas



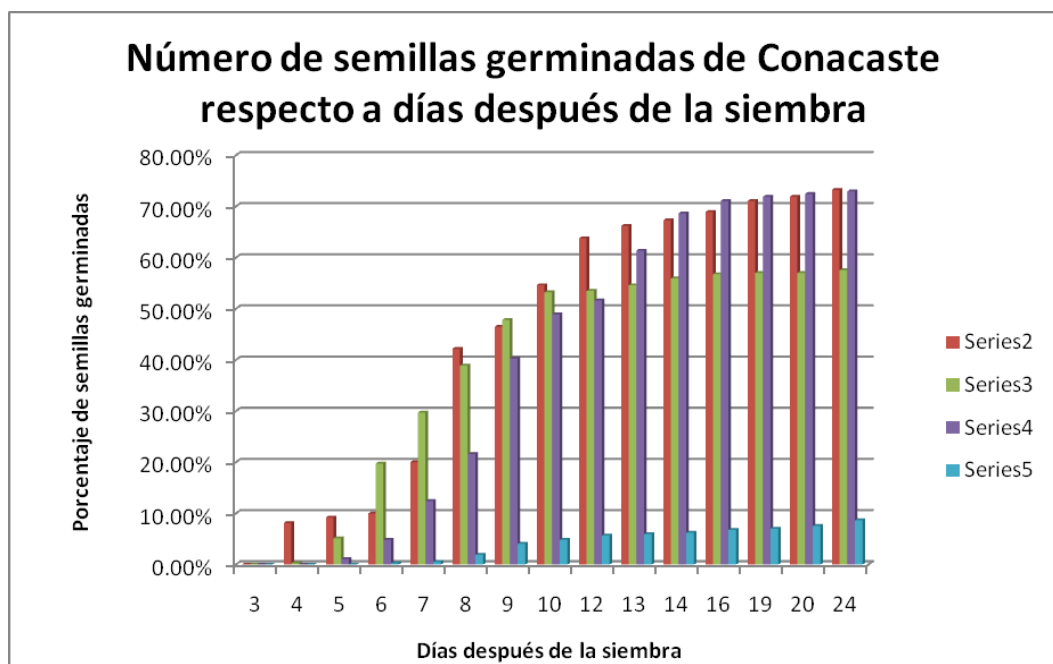
Serie 2: Tratamiento con agua caliente

Serie 3: Escarificación con ácido sulfúrico al 97.5%

Serie 4: Escarificación con caútín

Serie 5: Control

Gráfica 5.7
Porcentaje de semillas de Conacaste germinadas



- Serie 2: Tratamiento con agua caliente
 Serie 3: Escarificación con ácido sulfúrico al 97.5%
 Serie 4: Escarificación con cautín
 Serie 5: Control

Como se observa, las primeras semillas en germinar fueron las sometidas a tratamiento con agua (método físico); las últimas en germinar fueron las del grupo control. A lo largo de las quince lecturas en que se hizo el registro (veinticuatro días en total), la cantidad de semillas germinadas con el tratamiento de agua caliente fue 271, 213 con el tratamiento de ácido sulfúrico, 270 con el tratamiento con cautín y 32 del grupo control.

Cuadro 5.15
Resultados de germinación de las semillas de Teca
(Cifras en cantidad de semillas germinadas)

Todas las semillas se sembraron el 16 de septiembre del 2009							
Tratamiento con agua caliente		Escarificación con ácido sulfúrico al 97.5%		Escarificación con cautín		Control	
Fecha de conteo	# de semillas germinadas	Fecha de conteo	# de semillas germinadas	Fecha de conteo	# de semillas germinadas	Fecha de conteo	# de semillas germinadas
19/09/2009	0	19/09/2009	0	19/09/2009	0	19/09/2009	0
20/09/2009	0	20/09/2009	0	20/09/2009	0	20/09/2009	0
21/09/2009	0	21/09/2009	0	21/09/2009	0	21/09/2009	0
22/09/2009	0	22/09/2009	0	22/09/2009	0	22/09/2009	0
23/09/2009	0	23/09/2009	0	23/09/2009	0	23/09/2009	0
24/09/2009	0	24/09/2009	0	24/09/2009	0	24/09/2009	0
25/09/2009	0	25/09/2009	0	25/09/2009	0	25/09/2009	0
26/09/2009	0	26/09/2009	0	26/09/2009	0	26/09/2009	0
28/09/2009	0	28/09/2009	0	28/09/2009	0	28/09/2009	0
29/09/2009	0	29/09/2009	0	29/09/2009	0	29/09/2009	0
30/09/2009	0	30/09/2009	0	30/09/2009	0	30/09/2009	0
02/10/2009	0	02/10/2009	0	02/10/2009	0	02/10/2009	0
05/10/2009	0	05/10/2009	0	05/10/2009	0	05/10/2009	0
06/10/2009	0	06/10/2009	0	06/10/2009	0	06/10/2009	0
10/10/2009	0	10/10/2009	0	10/10/2009	0	10/10/2009	0

Como se observa, pese a haber sido sometidas a tres tratamientos distintos (más el control), ninguna de las semillas de teca germinó.

Con los datos anteriores se pudo establecer cuántas semillas germinaron en el tiempo transcurrido entre una y otra medición; los resultados son los siguientes

Cuadro 5.16
Cantidad de semillas de aripín germinadas, por día
(Cifras en cantidad de semillas germinadas)

Días después de la siembra	Agua caliente	Acido sulfúrico	Cautín	Control
3.00	0	0	0	0
4.00	0	0	0	0
5.00	1	1	0	0
6.00	0	0	0	0
7.00	3	6	1	1
8.00	4	8	3	1
9.00	6	0	7	8
10.00	5	1	5	1
12.00	9	1	3	2
13.00	0	3	3	4
14.00	1	1	5	0
16.00	1	1	0	0
19.00	0	0	0	2
20.00	0	0	0	2
24.00	0	0	1	1
Total	30	22	28	22

Como se puede establecer, la mayor cantidad de semillas de aripín tratadas con agua caliente germinaron a los doce días después de sembradas; en el caso del tratamiento con ácido sulfúrico, la mayor cantidad germinó a los ocho días después de sembradas; con cautín, la mayoría germinó a los nueve días mientras que, en el grupo control, la mayor cantidad de semillas germinaron a los nueve días.

Cuadro 5.17
Datos para el análisis de varianza
Cantidad de semillas germinadas de Aripín

<i>Tratamiento</i>	<i>Utilizadas</i>	<i>Germinadas</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Agua	79	30	2.00	7.86
Acido sulfúrico	79	22	1.47	5.84
Cautín	79	28	1.87	5.41
Control	79	22	1.47	4.55
Total	316	92		

Como se puede establecer, el porcentaje de semillas germinadas es de 29%; los porcentajes de semillas germinadas, por tratamiento, es de 38% para el tratamiento con agua caliente, 28% para el tratamiento con ácido sulfúrico y 35% para el tratamiento con cautín; en el grupo control germinó también el 28%.

Al analizar la diferencia de las proporciones, con el estadígrafo Chi Cuadrado, decidió rechazar la hipótesis nula ya que el valor de k , para la diferencia de las proporciones de las semillas germinadas del aripín (145.57) es superior al valor de k , con un nivel alpha de 0.05 y 3 grados de libertad (7.81).

Cuadro 5.18
Análisis de varianza
Medias de días de germinación del Aripín

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3.4	3	1.13	0.19	0.90	2.77
Dentro de los grupos	331.2	56	5.91			
Total	334.6	59				

Como se observa, al hacer el análisis de varianza, dado que la F es de 0.19 con un valor crítico de 2.77, se acepta la hipótesis nula; en consecuencia, a un nivel alpha de 0.05, la diferencia de las medias de días que tardan en germinar las semillas de Aripín al utilizar tres métodos

diferentes de escarificación (más el grupo control) no es estadísticamente significativa.

Cuadro 5.19
Cantidad de semillas de conacaste germinadas, por día
(Cifras en cantidad de semillas germinadas)

Días después de la siembra	Agua caliente	Acido sulfúrico	Cautín	Control
3	0	0	0	0
4	30	1	0	0
5	4	18	4	0
6	3	54	14	1
7	37	37	28	1
8	82	34	34	5
9	16	33	69	8
10	30	20	32	3
12	34	1	10	3
13	9	4	36	1
14	4	5	27	1
16	6	3	9	2
19	8	1	3	1
20	3	0	2	2
24	5	2	2	4
Total	271	213	270	32

Como se puede establecer, la mayor cantidad de semillas de conacaste tratadas con agua caliente germinaron a los ocho días después de sembradas; en el caso del tratamiento con ácido sulfúrico, la mayor cantidad germinó a los seis días después de sembradas; con cautín, la mayoría germinó a los nueve días mientras que, en el grupo control, la mayor cantidad de semillas germinaron a los nueve días.

Cuadro 5.20
Datos para el análisis de varianza
Cantidad de semillas germinadas de Conacaste

<i>Tratamiento</i>	<i>Utilizadas</i>	<i>Germinadas</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Agua	370	271	18.07	476.07
Acido sulfúrico	370	213	14.20	306.17
Cautín	370	270	18.00	378.57
Control	370	32	2.13	4.84
Total	1480	786		

Como se puede establecer, del total de semillas de Conacaste disponibles, germinó el 53%. El porcentaje de semillas que germinó en cada uno de los tratamientos fue de 73% para el tratamiento con agua, 57% para el tratamiento con ácido sulfúrico y 73% para el tratamiento con cautín. En el grupo control, el porcentaje de semillas germinadas fue de sólo 8%. Al analizar la diferencia de las proporciones, con el estadígrafo Chi Cuadrado, decidió rechazar la hipótesis nula ya que el valor de k , para la diferencia de las proporciones de las semillas germinadas del aripín (428.90) es superior al valor de k , con un nivel alpha de 0.05 y 3 grados de libertad (7.81).

Cuadro 5.21
Análisis de varianza
Medias de días de germinación del Conacaste

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2552.33	3	850.78	2.92	0.04	2.77
Dentro de los grupos	16319.07	56	291.41			
Total	18871.40	59				

Como se observa, al hacer el análisis de varianza, dado que la F es de 2.92 con un valor crítico de 2.77, se rechaza la hipótesis nula; en consecuencia, a un nivel alpha de 0.05, la diferencia de las medias de días que tardan en germinar las semillas de conacaste al utilizar tres métodos

diferentes de escarificación (más el grupo control) es estadísticamente significativa.

Dado que ninguna de las semillas de teca germinó, no se hizo el análisis de varianza respectivo para esta especie.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados presentados (Cuadros 5.1, 5.2 y 5.3), en general, el porcentaje de pureza de las semillas de Aripín, Conacaste y Teca proporcionadas por el Banco de Semillas del INAB es superior al 95% (los porcentajes de pureza son 100%, 99.95% y 98.37%) lo cual está por encima de los estándares de calidad normados por la Asociación Internacional para el Ensayo de Semillas (ISTA). Esto es beneficioso para el país porque una muestra de semillas con un alto porcentaje de pureza incrementa el rendimiento de las semillas en los procesos de vivero. El grupo de semillas de Aripín (del cual sólo se obtuvieron 319 semillas) fue el más puro, esto debido obviamente a que las semillas fueron escogidas una por una, y la muestra, por consiguiente, fue solo de pura semilla. Los lotes de semilla y conacaste presentaban pocas impurezas, por lo que también su porcentaje de pureza fue bastante bueno.

En lo que respecta al peso de los lotes de semillas (Cuadros 5.4, 5.5 y 5.6), otra de las pruebas recomendadas por el ISTA para determinar la calidad de las mismas, se pudo establecer que éste está dentro de los parámetros normales ya que la semilla de Aripín tiene un peso promedio de 0.132 gramos, mientras que el del Conacaste es de 0.787 y el de Teca 0.454 gramos. Por ello, como se muestra en los cuadros 5.7, 5.8 y 5.9, la cantidad de semillas por kilogramo fue de 7,575.75 para el Aripín, 1,270.65 para el Conacaste (una semilla más grande y pesada) y 2,202.64 para la Teca.

Se aceptó que estos parámetros son normales para estos lotes de semillas, ya que según la literatura, cada kilogramo de semilla de Aripín contiene entre 5,000 a 9,000 semillas, entre 800 a 2,000 para Conacaste y un promedio de 2,450 semillas de Teca, recolectadas en rodales semilleros y más pequeñas que las de los huertos.

Las semillas de Aripín y Conacaste tienen un largo, ancho y grueso que está dentro de los estándares que se consideran normales para estas

especies (Cuadros 5.10 y 5.11); lo mismo sucede con la Teca, cuyo diámetro y ancho están dentro del tamaño esperado (Cuadro 5.12).

En lo que respecta al porcentaje de germinación, objetivo central de este trabajo de investigación, en el Cuadro 5.13 se muestran los porcentajes de germinación del Aripín registrados en las 15 observaciones que se realizaron a lo largo de los 24 días en que se realizó el trabajo de campo.

Como se observa, el tratamiento realizado con agua caliente (método físico muy utilizado para ablandar la testa de las semillas) permitió que, en 24 días, germinara un 37.9% de las semillas (79 sembradas luego de este tratamiento). El tratamiento realizado con ácido sulfúrico al 97.5% (método químico) facilitó la germinación de un 27.85% de las 79 semillas a las que se les aplicó el tratamiento (fue el menos efectivo de los tres). Por su parte, el tratamiento con cautín (método mecánico) permitió la germinación del 35.44% de las semillas. Sin tratamiento (grupo control o testigo), la germinación fue tan efectiva como el tratamiento con ácido sulfúrico. Por lo tanto, con respecto a los porcentajes de semillas de Aripín germinadas, por tratamiento, se puede establecer que el más efectivo fue el de agua caliente, las Gráficas 5.4 y 5.5 facilitan el análisis de estos datos. De hecho, el tratamiento con agua caliente (a temperaturas que oscilan entre los 80 y 100 grados centígrados) es uno de los más utilizados para suavizar la testa dura de las semillas de vocación forestal.

Básicamente, la prueba logró determinar, como ya se menciono antes, que el tratamiento con agua es el más efectivo de los tres para acelerar e incrementar la germinación de la semilla de Aripín. Lo que sí hay que resaltar es que la germinación no fue tan exitosa como se esperaba, ya que esta especie puede alcanzar hasta un porcentaje de germinación de 90%, en semilla recién colectada. Para semilla almacenada se alcanzan porcentajes de germinación más bajos, lo cual fue este caso, ya que la semilla estuvo almacenada desde su época de recolecta, que es entre los meses de noviembre y enero, hasta septiembre. También se puede pensar en que no conocemos los controles de la humedad en el almacenaje, lo que podría

afectar la viabilidad de la semilla en este caso. Esto pudo haber perjudicado el que no se alcanzara una germinación más exitosa. Se dedujo también que la muestra había alcanzado su germinación completa, ya que esta se completa a las 2 semanas después de la siembra. Una observación muy importante es que definitivamente la antigüedad y poca cantidad de la semilla nos sesgó el experimento con la especie de Aripín.

A pesar de esto, es imperativo mostrar los resultados, con el fin de poder recomendar y puntualizar sobre las ventajas que se presentaron en cada uno de los métodos y calificar cual podría ser el más conveniente para el viverista.

A continuación se presenta un cuadro de comparación, con las calificaciones en eficiencia, rapidez, economía y seguridad para cada método.

	Agua caliente	Acido sulfúrico	Cautín
Eficiencia	0	0	0
Rapidez	X	X	0
Economía	X	0	X
Seguridad	X	0	0
	3X	1X	1X

Como se puede observar, a mi criterio y con ayuda del experimento podría escoger y recomendar el tratamiento pregerminativo de inmersión en agua caliente, para la especie *Caesalpinea velutina*, ya que es más rápido, económico y seguro para el viverista. La falta de eficiencia se evidencia en los tres tratamientos, pero estos tres calificativos resaltan más este tratamiento para ser recomendado.

Por aparte, en el Cuadro 5.14, se muestran los porcentajes de germinación del conacaste registrados también en las 15 observaciones que

se realizaron a lo largo de los 24 días en que se realizó el trabajo de campo. Como se observa, el tratamiento realizado con agua caliente permitió que en 24 días germinara un 73.24% de las semillas (370 sembradas luego de este tratamiento). El tratamiento realizado con ácido sulfúrico al 97.5% (método químico) facilitó la germinación de un 57.57% de las semillas. Por su parte, el tratamiento con cautín (método mecánico) permitió la germinación del 72.97% de las semillas. Los resultados demuestran la necesidad de suavizar o perforar la testa de las semillas de conacaste antes de ser sembradas ya que en el grupo que no recibió tratamiento sólo germinó el 8.65% de las semillas. Este resultado es muy importante, porque se logró establecer la obligación de aplicar un tratamiento pregerminativo a la semilla de conacaste antes de su siembra. Por lo tanto, con respecto a los porcentajes de semillas de conacaste germinadas, por tratamiento se puede establecer que el más efectivo fue también el de agua caliente, aunque para esta especie, fue igualmente efectivo el tratamiento con cautín. Las Gráficas 5.6 y 5.7 facilitan el análisis de estos datos. En la literatura de la especie, se recomienda aplicar una escarificación mecánica para romper la testa y de esta forma acelerar la germinación con mayor éxito, por lo que es probable que algún otro tratamiento mecánico, diferente al del cautín, pueda tener mejor o igual eficiencia. De los tres tratamientos aplicados, el que menos porcentaje de germinación arrojó fue el de ácido sulfúrico. Tomando en cuenta que lograron germinar 213 semillas, se asume que el ácido sulfúrico es útil para pre-tratar la semilla. Lo que sí habría que hacer es analizar mejor los tiempos en que se debe sumergir la semilla, y lograr mejores resultados. Es decir que podríamos sumergir la semilla en el ácido por tiempos diferentes y hacer nuevamente la prueba de germinación. Al analizar estos datos, se puede decir que el más recomendable es el de sumersión en agua caliente, por lo práctico y rápido. Esto es porque comparado con el tratamiento mecánico y el de ácido sulfúrico, el tratamiento con agua caliente es más rápido y más económico, y obtenemos los mismos o mejores resultados en la germinación. Aquí se presenta el cuadro que muestra esa comparación, para determinar que el tratamiento pregerminativo de inmersión en agua caliente es el mejor calificado para la semilla de *Enterolobium cyclocarpum*.

	Agua Caliente	Acido sulfúrico	Cautín
Eficiencia	X	0	X
Rapidez	X	X	0
Economía	X	0	X
Seguridad	X	0	0
	4X	1X	2X

El tiempo de germinación del conacaste es entre 3 y 4 semanas, por lo que el experimento se llevo hasta el final de la germinación. Esto no descarta la posibilidad de que pudieran germinar más semillas con el pasar del tiempo, pero aun así se considero que el tiempo para la prueba era suficiente, debido a los tiempos descritos en la literatura de la especie.

Lastimosamente, como se observa en el Cuadro 5.15, ninguna de las semillas de Teca germinó con ninguno de los tres tratamientos aplicados; tampoco lo hicieron las que conformaron el grupo control lo cual demostró que, como se indicó en la Revisión de la Bibliografía, la Teca es una semilla difícil de tratar. A pesar de este punto, las causas pueden ser otras. Una de éstas puede ser que esta especie es de un clima tropical bajo, y la prueba de germinación se llevo a cabo en la Ciudad de Guatemala, en donde el clima es mas frio al habitual de la especie, y la altura mucho mayor a la requerida. Esta diferencia a las condiciones recomendadas pudo haber afectado la temperatura necesaria para la germinación, así como que la prueba se realizo en un invernadero y le pudo haber faltado sol a la semilla para germinar. Mucha literatura menciona que la germinación de la teca es epigea, y frecuentemente empieza de entre 10 a 12 días después de la siembra. En un experimento en Puerto Rico, las semillas empezaron a germinar a las 3 semanas, mientras que en India empezaron entre los 26 a los 31 días. Los porcentajes de germinación son muy variables, y pueden ser de entre 10% y 80%. En otros experimentos se han reportado valores de germinación de

0.5% a los 3 meses de germinación. Así que por alguna causa climatológica, o simple y sencillamente la latencia y bajo porcentaje de germinación propia de la especie, no obtuvimos ningún resultado favorable. Después de haber hecho el experimento se obtuvo la información de que la semilla tenía más de un año de haber sido almacenada, por lo que esta situación pudo disminuir evidentemente su viabilidad. Lastimosamente, el experimento con la teca no funcionó y se recomendaría hacerlo de nuevo, con semilla más joven y mejorar las condiciones de siembra. Por lo tanto no podemos afirmar, si alguno de los tratamientos pregerminativos aplicados, aceleró o incrementó la germinación de las semillas de la especie Teca. Hay varios tratamientos pregerminativos que se han investigado para esta especie, como la inmersión en agua fría y secado al sol durante varias veces, para causar contrastes de calor y rajarse la testa, que probablemente son más efectivos que los aplicados en este experimento. Por eso se recomendaría investigar más a fondo sobre tratamientos pregerminativos para esta especie. Otros factores como la procedencia de la semilla o el tiempo de almacenaje, las cuales son variables no controladas, podrían ser estudiados para establecer si afectarían la germinación de estas semillas al aplicar estos tratamientos.

Las hipótesis nulas planteadas para la investigación afirmaban que, a un nivel α de 0.05, no existe diferencia estadísticamente significativa entre los resultados de la media de días que tardaron en germinar las semillas.

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza obligan a aceptar la hipótesis nula para las semillas del aripín; en consecuencia de que a un nivel α de 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los resultados obtenidos. Por lo tanto, en término de días que tardan en germinar las semillas, los tres tratamientos (y el control) fueron igualmente efectivos para el aripín. Contrariamente, la prueba de hipótesis relacionada con el conacaste obliga a rechazar la hipótesis nula; por lo tanto, se puede afirmar que, en término de días que tardan en germinar las semillas, uno de los tres tratamientos fue más efectivo que los demás tratamientos. Sin embargo, es necesario considerar que el porcentaje de semillas germinadas

del grupo control fue muy bajo con respecto a los logros de los otros tratamientos, por lo que esto podría sesgar el análisis estadístico.

Por su parte, el contraste de la diferencia de las proporciones de semillas germinadas/no germinadas con los distintos tratamientos se realizó utilizando el estadígrafo Chi Cuadrado. Los resultados permitieron establecer que, tanto para las semillas de aripín como para las del conacaste (ninguna de las semillas de teca germinó) la proporción fue estadísticamente significativa obligando a rechazar la hipótesis nula. Por esto podemos afirmar que para la semilla de aripín, hay diferencia significativa entre los tres tratamientos para la el porcentaje de semillas germinadas, al igual que con el conacaste. Así podemos ver que hay alguno recomendable, como lo describimos anteriormente.

Finalmente, no está de más agregar que según los datos en las pruebas de pureza, peso, tamaño y numero de semillas; se podría haber asumido que las semillas eran totalmente viables, ya que los resultados de esas pruebas eran buenos, comparados con los mencionados en la literatura. Por eso si podríamos afirmar que los resultados de estas pruebas no son necesariamente indicadores de viabilidad.

El ISTA recomienda estas pruebas, pero también la prueba de humedad, antes de ser sometidas a un análisis de viabilidad, por lo que habría que realizar esa prueba para tener una mejor idea de las condiciones de la semilla.

VII. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las principales conclusiones de esta investigación

1. Las semillas de Aripín, Conacaste y Teca de Banco de Semillas del INAB tienen un excelente nivel de pureza (superior, en los tres casos, al 95%).
2. En lo que respecta al peso y tamaño y número de semillas por Kg de las tres especies de semillas, también se encuentra dentro de los estándares del ISTA.
3. Con ayuda del experimento se podría escoger y recomendar el tratamiento pregerminativo de inmersión en agua caliente para la especie *Caesalpinea velutina* (Aripín), ya que es más rápido, económico y seguro para el viverista. Seguido por el mecánico y por último el de ácido y control.
4. Para las semillas de *Enterolobium cyclocarpum* (Conacaste), el mejor porcentaje de germinación fue con el tratamiento con agua caliente, por lo que este es el método a recomendar. Es más eficiente, rápido y seguro para el viverista. Después vendrían el mecánico y el de ácido, en ese orden.
5. Los resultados demuestran la necesidad de suavizar o perforar la testa de las semillas de conacaste antes de ser sembradas, ya que la germinación en la semilla sin tratamiento fue deficiente.
6. Las semillas de Teca no germinaron con ninguno de los tres tratamientos; las del grupo control tampoco, por lo que se determinó que no funcionó el experimento con ninguno de estos tratamientos. Se recomendaría realizarlos de nuevo con semillas más jóvenes, en mejores condiciones y hasta con otros métodos.
7. La mayor cantidad de semillas de aripín germinadas con los distintos tratamientos fue muy parecida entre los tratamientos, pero no influyó en el % de germinación. Esto se pudo comprobar con la prueba, que

determinó que se aceptaba la hipótesis nula y que no había diferencia entre los días de la germinación.

8. Con el conacaste sí se determinó una diferencia significativa en los días de germinación, pero el bajo número de semillas germinadas pudo provocar un sesgo en la prueba estadística.
9. Los contrastes de las diferencias de los porcentajes de semillas germinadas y no germinadas fue significativo, por lo que se rechazó la hipótesis nula concluyendo que sí hay diferencias estadísticamente significativas para afirmar que hay diferencia entre los tres tratamientos, en aripín y conacaste.
10. La prueba de humedad debería realizarse, antes de ser sometidas a un análisis de viabilidad, para tener una mejor idea de las condiciones de la semilla antes de sembrarlas, ya que es un factor en la germinación.

VIII. RECOMENDACIONES

Derivadas de las conclusiones, se hacen las recomendaciones siguientes:

1. Debe fomentarse la ampliación del Banco de Semillas del INAB ya que las semillas a las que se les practicó el análisis de pureza, de peso y de tamaño, demuestra que sus semillas cumplen con los estándares del ISTA. Pero se recomienda hacer la prueba de humedad de la semilla también.
2. Debe experimentarse con otros tratamientos pregerminativos de las semillas de Aripín, Conacaste y Teca; ya que sólo la germinación de la semilla de conacaste con el tratamiento con agua caliente y con cautín ofreció resultados positivos.
3. Se recomendaría la inmersión en agua y el cautín como tratamiento pregerminativo a la semilla de conacaste.
4. En lo que respecta a la semilla de teca, es necesario realizar otros experimentos con otro tipo de tratamiento o durante más días ya que, como se indicó, ninguna semilla germinó.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), 2000. *Técnicas para la escarificación de semillas forestales*. CATIE. Costa Rica, 57 pp.
2. Chávez, Eladio. 1991. *Teca: Tectona grandis : L.f. especie de árbol de uso múltiple en América Central*. Biblioteca Orton IICA/CATIE. Costa Rica. 47 pp
3. Cordero, J. 2003. *Arboles de Centroamérica, un manual para extensionistas*. Forestry Research Institute. CATIE. Costa Rica. 1080 pp.
4. Hartmann, H. 1980. *Propagación de plantas, principios y prácticas*. Compañía Editorial continental, S.A. España. 814 pp
5. Jiménez, Edwin. *Sistemas de escarificación de semillas de Tagua (Phytelephas aecuatorialis) para mejorar germinación*. Revista Tecnológica. Vol 17. Numero 1. Junio 2004.
6. Misión Española. 1979. *Manual de viveros forestales*. INTECAP. Guatemala. 244 pp.
7. Nanson, A. 2001. *El nuevo proyecto de la OCDE para la certificación de material forestal reproductivo (The new OECD scheme for the certification of forest reproductive materials)*, *Silvae Genetica* 50: 5-6. <http://www.fao.org/forestry/4999/es/>
8. Napier, I. 1985. *Técnicas de viveros forestales con referencia especial a Centro América*. ESNACIFOR. Honduras. 274 pp.
9. Thompson, J. 1979. *Introducción a la tecnología de las semillas*. Editorial Acribia. España. 301 pp.
10. Vaughan, C; 1970. *Procesamiento mecánico y beneficio de semillas*. Herrero Hermanos, Sucesores, S.A. México. 284 pp.
11. Weaver, Peter L. 1993. *Tectona grandis L.f. Teak*. SO-ITF-SM-64. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 18 p.
12. Willan, R. 1991. *Guía para la manipulación de semillas forestales*. Danida. Roma.

Web

13. Danida Forest Seed Centre, 1999. DFSC, Humlebaek, Dinamarca, Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza. CATIE, Turrialba, Costa Rica. *Tres métodos para escarificación mecánica de semillas*. Poulsen. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0011S/A0011S.HTM>
14. R.L. Willan, 1991. *Guía para la manipulación de semillas forestales*. Centro de Semillas Forestales de DANIDA. FAO
15. <http://www.fao.org/DOCREP/006/AD232S/ad232s15.htm>
16. Sanabria, Damelys. *ESCARIFICACIÓN TÉRMICA DE SEMILLAS DE ACCESIONES DE Leucaena leucocephala*
http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/ZootecniaTropical/zt1501/texto/leucaena.htm
17. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/41-legum16m.pdf
18. Publicado en: *Flora of the British West Indian Islands* 226. 1860.
19. <http://www.cyta.com.ar/semilla/.../caracteristicas.htm>
20. http://www.euita.upv.es/variados/biologia/.../tema_17.htm

X. APÉNDICE

1. FOTOGRAFIAS

a. Pureza de la semilla:

Foto No. 1



Pesaje de semilla de conacaste

Foto No. 2



Peso de la semilla inerte de conacaste

Foto No. 3



Pesaje de semilla de aripín

Foto No. 4



Pesaje de semilla de teca.

Foto No. 5



Impurezas y materia inerte de semilla de teca

b. Tratamiento con ácido sulfúrico al 97.5%

Foto No. 6

Tratamiento con ácido sulfúrico al 97.5% a semillas de aripín

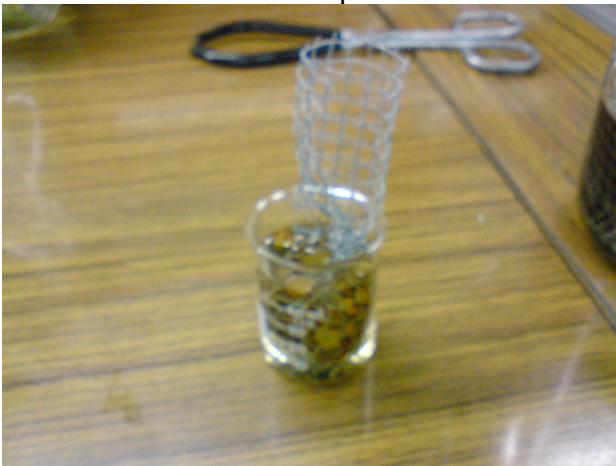


Foto No. 7

Tratamiento con ácido sulfúrico al 97.5% a semillas de conacaste



c. Siembra de la semilla:

Foto No. 8



Tablones para germinacion de teca

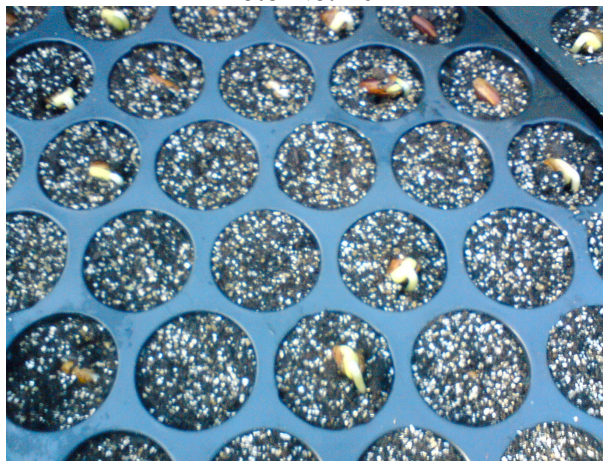
Foto No. 9



Bandejas para germinacion de conacaste

d. Germinación de la semilla:

Foto No. 10



Conacaste (tratamiento con agua caliente) 22 de sept

Foto No. 11



Conacaste (tratamiento con agua caliente) 22 de sept

Foto No. 12



Aripín (agua caliente) sept 23

Foto No. 13



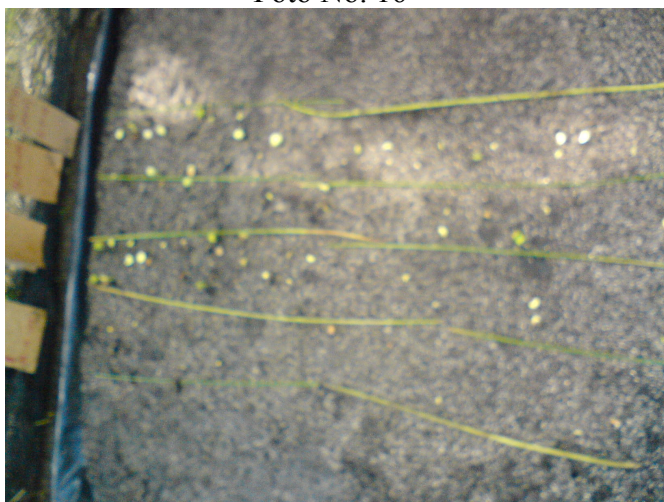
Conacaste (tratamiento con agua caliente) 26 de sept

Foto No. 14



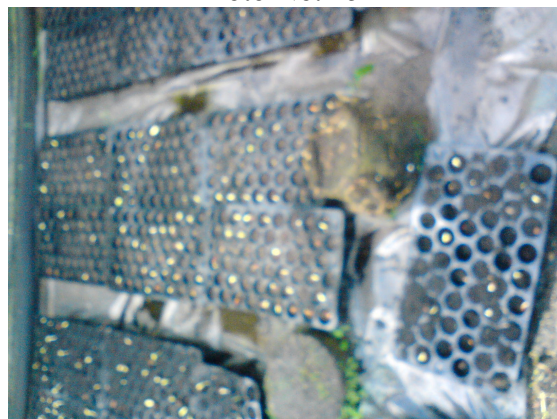
Conacaste (acido) Sept 26

Foto No. 16



Aripin (agua) sept 26

Foto No. 15



Conacaste (cautin) Sept 26

Foto No. 17



Conacaste (control) Sept 26

e. Germinación final:

Foto No. 18



Conacaste (agua) oct 10

Foto No. 19



Conacaste (cautín) oct 10

Foto No. 20



Conacaste (control) oct 10

2). INSTRUMENTO PARA TOMA DE DATOS

1. Instrumento para toma de datos de germinación de Aripín

Fecha	# de semillas germinadas agua caliente	# de semillas germinadas ácido sulfúrico 97.5%	# de semillas germinadas cautín	# de semillas germinadas control

2. Instrumento para toma de datos de germinación de Conacaste

Fecha	# de semillas germinadas agua caliente	# de semillas germinadas ácido sulfúrico 97.5%	# de semillas germinadas cautín	# de semillas germinadas control

3. Instrumento para toma de datos de germinación de Teca

Fecha	# de semillas germinadas agua caliente	# de semillas germinadas ácido sulfúrico 97.5%	# de semillas germinadas cautín	# de semillas germinadas control