

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

**EFFECTO DEL ÁCIDO GIBERÉLICO (AG₃) SOBRE LA GERMINACIÓN DE
SEMILLA DE PEJIBAYE *Bactris gasipaes* Kunth, EN FINCA SABANA GRANDE, EL
RODEO, ESCUINTLA**

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

TESIS

POR

RAMIRO ARTURO MONTENEGRO VIELMAN

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

Guatemala, noviembre de 2005

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01
T(2246)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M.V. Luis Alfonso Leal Monterroso

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr.	Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr.	Alfredo Itzep Manuel
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr.	Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr.	Danilo Ernesto Dardón Dávila
VOCAL CUARTO	M.E.P.U.	Elmer Antonio Álvarez Castillo
VOCAL QUINTO	P.M.P.	Miriam Eugenia Espinoza Padilla
SECRETARIO	Ing. Agr.	Pedro Peláez Reyes

Guatemala, noviembre de 2005

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

Distinguidos miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado

EFEECTO DEL ÁCIDO GIBERÉLICO (AG₃) SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLA DE PEJIBAYE *Bactris gasipaes* Kunth, EN FINCA SABANA GRANDE, EL RODEO, ESCUINTLA

Presentado como requisito previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento.

Atentamente,



RAMIRO ARTURO MONTENEGRO VIELMAN

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS:

Suya es la honra y la gloria, por iluminarme y permitirme culminar mi carrera.

MIS PADRES:

Arturo Montenegro Barillas, como un homenaje póstumo por todo su amor y sacrificios que hizo a lo largo de su vida para sacar adelante a sus hijos, especialmente a mi. **Enriqueta Vielman viuda de Montenegro**, por toda su comprensión y apoyo brindado a lo largo de todos mis estudios.

MIS HERMANOS:

Amparo, Esperanza, Ruth, Ricardo, Marino y Héctor, por su apoyo moral e incondicional.

MI ESPOSA:

Carmen Ziomara Ache de Montenegro, con mucho amor por su apoyo y motivación delicada y con ternura para poder concluir mi fase final universitaria.

MIS HIJAS:

Maricarmen y Marijosé, se los dedico con mucho amor, esperando que les sirva de ejemplo, de que con la ayuda de Dios nada es imposible en esta vida.

MIS AMIGOS:

Carlos Nicolas Tajer, a quien siempre tendré en mi memoria como el gran amigo que fue.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

TESIS QUE DEDICO

A:

Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Agronomía

Carrera en Sistemas de Producción Agrícola

Finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla.

AGRADECIMIENTOS

A:

- **Ing. Agr. Fredy Hernández Ola**, por su valiosa colaboración y asesoría en la fase de análisis de la investigación y al **Ing. Agr. Henry España**, por el apoyo decidido durante la fase de campo.

CONTENIDO GENERAL

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE CUADROS	iv
RESUMEN	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1 MARCO CONCEPTUAL	3
3.1.1 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL PEJIBAYE	3
3.1.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	3
A. Árbol	3
B. Corona	4
C. Inflorescencia	4
D. Flores	4
E. Racimo	5
F. Frutos	5
G. Semillas	5
3.1.3 PROPAGACIÓN POR SEMILLA DEL PEJIBAYE	6
A. Proceso de germinación	6
B. Selección de semilla	6
C. Extracción de semilla del fruto o chancado	7
D. Desinfección de la semilla	7
3.1.4 SITUACIÓN DEL PEJIBAYE EN GUATEMALA	8
A. Poblaciones definidas de pejibaye en Guatemala	8
3.1.5 USOS DEL PEJIBAYE	9
3.1.6 PROCESO DE OBTENCIÓN DE PALMITO DEL PEJIBAYE Y COMPOSICIÓN QUÍMICA	9
3.1.7 PRINCIPALES PAÍSES IMPORTADORES DEL PALMITO	11
3.1.8 PRINCIPIOS DE PROPAGACIÓN SEXUAL	12
A. Fases del ciclo biológico de las plántulas	12
B. Producción de la flor	13
C. Formación del fruto, la semilla y el embrión	13
D. Proceso de germinación de la semilla	14
E. Dormancia en las semillas	14
3.1.9 PRUEBA DE GERMINACIÓN	16
3.1.10 ESTADO DE DORMANCIA EN LAS SEMILLAS DE PEJIBAYE	16
3.1.11 RUPTURA DE LA DORMANCIA EN LAS SEMILLAS	17
A. Mecanismo de acción de las giberelinas en la ruptura de la dormancia	17
3.1.12 GIBERELINAS (ÁCIDO GIBERÉLICO)	18
A. Naturaleza química	19
B. Lugar de síntesis de las giberelinas	19
C. Transporte	19
3.1.13 MÉTODOS NO PARAMÉTRICOS EN EL ANÁLISIS DE VARIANZA	20
A. Consideraciones al emplear estadística no paramétrica	21

3.2	MARCO REFERENCIAL	22
3.2.1	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN	22
3.2.2	LÍMITES, EXTENSIÓN Y VÍAS DE ACCESO	22
3.2.3	RELIEVE Y FISIOGRAFÍA	22
3.2.4	CLIMA Y ZONAS DE VIDA	22
3.2.5	GEOLOGÍA Y SUELOS	23
3.2.6	INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON LA PRESENTE TESIS	24
	A. Investigaciones realizadas en el extranjero	24
	B. Investigaciones realizadas en Guatemala	25
4.	OBJETIVOS	26
4.1	GENERAL	26
4.2	ESPECÍFICOS	26
5.	HIPÓTESIS	27
6.	METODOLOGÍA	28
6.1	UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO	28
6.2	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	28
6.3	UNIDAD EXPERIMENTAL	28
6.4	DISEÑO EXPERIMENTAL	29
6.5	DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	29
6.6	VARIABLES DE RESPUESTA	30
	6.6.1 PORCENTAJE DE GERMINACIÓN	30
	6.6.2 PESO FRESCO RADICAL	30
6.7	MANEJO DEL EXPERIMENTO	30
	6.7.1 OBTENCIÓN DE SEMILLAS DE PEJIBAYE	30
	6.7.2 TRATAMIENTO DE LA SEMILLA	32
	A. Preparación de las soluciones de ácido giberélico	32
	B. Inmersión de las semillas en cada tratamiento por una hora	32
	C. Siembra de la semilla en los recipientes plásticos	33
	D. Monitoreo de la humedad del sustrato	34
6.8	TOMA Y REGISTRO DE DATOS	34
6.9	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	34
	6.9.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	34
	6.9.2 ANÁLISIS DE COSTOS	35
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
7.1	DATOS DE CAMPO OBTENIDOS PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA	36
	7.1.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA DE LA SOLUCIÓN SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE PEJIBAYE	36
	7.1.2 PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS	37
7.2	PORCENTAJE DE GERMINACIÓN A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA	38
	7.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE GERMINACIÓN	39
7.3	PESO FRESCO DE LA RAÍZ DE PEJIBAYE	40
7.4	COSTO DE PRODUCCIÓN UNITARIO DE PLÁNTULAS DE PEJIBAYE	43
8.	CONCLUSIONES	45
9.	RECOMENDACIONES	46
10.	BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Corte transversal del tallo de palmito mostrando las cuatro envolturas y el corazón de palmito	10
Figura 2.	Ubicación de finca Sabana Grande donde se realizó el experimento	21
Figura 3.	Detalle de la unidad experimental	29
Figura 4.	Distribución de los tratamientos en el campo	30
Figura 5.	Obtención de pejibaye mostrando el poro fértil y los dos poros estériles	31
Figura 6.	Porcentaje de germinación de semillas de pejibaye a los 90 días después de la siembra, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005.	38
Figura 7.	Inicio de la emergencia de plúmulas de semillas de pejibaye en el tratamiento 7 (repetición 3) captada a los 69 días después de la siembra, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005	39
Figura 8.	Cambios morfológicos en pejibaye desde la emergencia de la plúmula hasta la formación de hojas	40
Figura 9.	Peso fresco de la raíz de pejibaye en miligramos a los 90 días después de la siembra, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla	41
Figura 10.	Conformación de raíces en plántulas de pejibaye tratadas con diferentes dosis de ácido giberélico	42
Figura 11A.	Distribución de los tratamientos en el campo	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición química del palmito de pejibaye <i>Bactris gasipaes</i> Kunth sin procesar	10
Cuadro 2.	Importaciones de palmito en Estados Unidos para el período 1995-2000	11
Cuadro 3.	Gramos de Biogib empleados para elaborar 1 litro de solución	32
Cuadro 4.	Formato para el registro de datos de porcentaje de germinación y peso fresco de raíz de pejibaye a los 90 días después de la siembra	34
Cuadro 5.	Datos de campo obtenidos para las variables de respuesta, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005	36
Cuadro 6.	Resumen del ANDEVA para la variable de respuesta porcentaje de germinación de semillas de pejibaye finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005	38
Cuadro 7.	Resumen del ANDEVA para la variable de respuesta peso fresco de raíz de pejibaye, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005	41
Cuadro 8.	Costo unitario por plántula a los 90 días después de la siembra en cada uno de los tratamientos donde hubo respuesta a la germinación, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Distribución de los tratamientos en el campo	51
Anexo 2.	Prueba de normalidad para los 7 tratamientos	52
Anexo 3.	Prueba de Kruskal-Wallis para la variable de respuesta porcentaje de germinación	56
Anexo 4.	Prueba de normalidad y ANDEVA para los tratamientos 5, 6 y 7	58

EFFECTO DEL ÁCIDO GIBERÉLICO (AG₃) SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLA DE PEJIBAYE *Bactris gasipaes* Kunth, EN FINCA SABANA GRANDE, EL RODEO, ESCUINTLA

EFFECST OF THE GIBELIC ACID (AG₃) OVER GERMINATION OF PEJIBAYE *Bactris gasipaes* Kunth SEEDS, IN SABANA GRANDE, EL RODEO, ESCUILTLA

RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación fue el de evaluar el ácido giberélico aplicado en solución a semillas de pejibaye por una hora previo a la siembra a temperatura ambiente ($18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$) y a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se emplearon para la solución a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ las dosis de 0, 150, 300 y 500 ppm de ácido giberélico y para la temperatura de la solución ambiente ($18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) se emplearon las dosis de 0, 150 y 300 ppm de ácido giberélico.

Se evaluó el efecto de la temperatura de la solución por una hora a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, para conocer si con tan poco tiempo de exposición se promueve la germinación de la semilla en lugar de inhibirla, puesto que ya se ha demostrado que a esta misma temperatura de la solución pero por un período de exposición no menor a 48 horas el embrión muere.

El ensayo demostró que al sumergir las semillas por una hora en solución con ácido giberélico o sin el a temperatura de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, provoca la muerte del embrión; lo cual descarta definitivamente éste método físico, como alternativa para la germinación de las semillas, puesto que en un lapso pequeño de tiempo (una hora) no permite que ninguna semilla germine.

A temperatura ambiente de la solución ($18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$), la dosis de ácido giberélico de 300 ppm permite que germine el 35.71 % de las semillas con un peso radical de 77.17 miligramos y un costo por pilón de un quetzal, lo cual es significativo estadística y económicamente, comparado con los niveles actuales de germinación que son de alrededor del uno por ciento con un costo por pilón de aproximadamente cuarenta quetzales.

1. INTRODUCCIÓN

A mediados de 1994 se introdujo a Guatemala el cultivo de pejibaye *Bactris gasipaes* Kunth; el cual posee buena adaptación a condiciones tropicales bajo los 1,000 msnm. Esta planta comparada con otras palmeras tiene un aspecto sobresaliente que es su precocidad en la producción de palmito al año después del trasplante y a los 3 años inicia el ensayo de la fructificación con rendimientos de hasta 25 toneladas métricas por hectárea (6, 14, 17).

El pejibaye tiene una serie de usos como: palmito deshidratado, conservación de palmito en fresco, pateo de palmito, elaboración de sopas instantáneas, ensilaje para ganado, alimento de aves entre otros (29).

Uno de los inconvenientes para la propagación sexual de pejibaye es que las semillas pierden la dormancia en forma irregular por lo que se dificulta la obtención de una germinación rápida y uniforme, siendo el porcentaje de germinación bajo, por lo cual se necesita una gran cantidad de semilla para satisfacer la demanda de plántulas para cultivar una hectárea y el costo por plántula es superior a los Q. 40.00. En tal sentido, con la presente investigación se pretende contribuir de alguna manera en la solución de ésta problemática, al evaluar el efecto sobre la germinación de semillas de pejibaye empleando soluciones con distintas concentraciones de ácido giberélico (AG_3) a temperatura ambiente (± 18 °C) y temperatura de 40 °C de la solución, para sumergir las semillas de pejibaye por una hora previo a la siembra.

La investigación se realizó en finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla durante los meses de noviembre de 2004 a febrero de 2005, para lo cual se empleó una distribución completamente al azar con 7 tratamientos y 4 repeticiones, siendo las variables de respuesta el porcentaje de germinación y el peso fresco de raíces por plántula de pejibaye.

De la investigación se estableció que la temperatura de la solución de 40 °C provoca la muerte del embrión, por lo cual no permite que el ácido giberélico active la enzima α -amilasa, la cual desdobla el almidón para aportar energía a los puntos de crecimiento meristemáticos en la semilla. El ácido giberélico al ser empleado a temperatura ambiente (± 18 °C) favorece la germinación de las semillas de pejibaye, de tal forma que a una concentración de 300 ppm se obtiene un 35.71 por ciento de germinación, con un peso promedio de raíces por plántula de 77.17 miligramos y un costo de producción por plántula de un quetzal.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala se cultiva pejibaye en forma comercial; sin embargo se necesita de una gran cantidad de semillas para producir los pilones, se han obtenido porcentajes de germinación que oscilan entre el 1 y el 10 por ciento, lo cual se debe a que las semillas pierden la dormancia en forma irregular por lo duro de la testa y a la desecación del endospermo una vez que han sido extraídas del fruto. De esta cuenta los productores de pejibaye, no han podido ampliar el área de cultivo, puesto que se invierte demasiado trabajo en la propagación. En Guatemala el método actual de propagación sexual del pejibaye, consiste en colocar las semillas en sacos plásticos; sin embargo, los resultados han sido poco satisfactorios en la costa Sur de Guatemala, tal es el caso de la finca Bulbuxyá, donde se obtuvo un 1.17 % de germinación (41 semillas germinadas de 3,500), entre noviembre de 2003 a febrero de 2004 y en la finca Chipó (en los últimos 3 años), donde el porcentaje de germinación ha oscilado entre un 3 y 10 por ciento empleando éste método (10).

En Costa Rica que es el segundo mayor productor de pejibaye en el mundo (exporta el 38.1 % del palmito que se consume en Estados Unidos) han realizado varias investigaciones y al sumergir las semillas de pejibaye por una hora en una solución de AG_3 a 75 ppm han obtenido porcentajes de germinación de hasta un 30 por ciento (28).

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL PEJIBAYE

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Subclase:	Arecidae
Orden:	Arecales
Familia:	Arecaceae
Género:	Bactris
Especie:	<i>Bactris gasipaes</i> Kunth
Nombres comunes:	Pejibaye, palma para palmito, pupunha, chontaduro, pibá, pijuayo, peach Palm (14).

3.1.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La descripción morfológica del pejibaye cultivado se hizo con base en las colecciones del Banco de Germoplasma de Pejibaye, ubicado en la Estación Experimental Los Diamantes, Guápiles, Costa Rica. Este Banco es considerado como el más extenso y con mayor número de introducciones del mundo. Los datos fueron tomados de 398 árboles procedentes de Bolivia, Brasil, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá y Costa Rica, utilizándose una lista de descriptores con 101 variables empleadas por Mattos-Silva 1992 (14). La descripción siguiente se basa en promedios, valores mínimos y máximos y distribución de frecuencias.

A. Árbol

Árbol de crecimiento cespitoso; altura promedio de 16 metros con un rango de 5.5 a 24.0 metros, tallo cilíndrico, recto de 12 metros (2,5 a 21 metros) de altura y 18 centímetros (11.5 a 26 centímetros) de diámetro; nudo o cicatriz foliar generalmente nivelado 4.0 centímetros (2.3 a 9.2 centímetros) e internudo 14.5 centímetros (6.6 a 26.6 centímetros) de longitud, con espinas o glabro; espinas, cuando presentes, con un promedio de 38 (7 a 97 espinas) en 16 cm² en el internudo, generalmente oscuras y de consistencia que varía de débiles a fuertes, las más largas con tamaños que varían de 2.5 a 14.3 centímetros (6, 14, 17).

B. Corona

La corona formada por 21 hojas (10 a 30 hojas) pinnadas, glabras o con espinas cortas presentes en toda la extensión de la vaina, del pecíolo y de la vena central; las espinas pueden también estar presentes en las superficies abaxial y adaxial y en el borde de los folíolos; no hay evidencia fenotípica clara que pueda separar la vaina del pecíolo (excepto durante su desarrollo cuando forma un cilindro que se abre por la presión del estípote al engrosar), ambos sumados miden 107 centímetros (49 a 179 centímetros) de longitud; lámina con 300 centímetros (178.5 a 396 centímetros) de longitud y presenta 249 folíolos (180 a 386 folíolos); los folíolos son siempre bifidos, pubescentes en la fase joven con 84 centímetros (57.5 a 114.8 centímetros) de longitud y 4 centímetros (2.6 a 6.3 centímetros) de ancho máximo, con un promedio de 5 (0 a 64) fusionados en la base de lámina y 11 (0 a 29) en el ápice (6, 14, 17).

C. Inflorescencia

Inflorescencia inicialmente dentro de dos brácteas; una externa corta triangular y dura (profilar) aproximadamente 12.7 centímetros de ancho y 180 (50 a 875) gramos y la interna (peduncular) encerrada, es una espata glabra o con espinas distribuidas en toda su extensión o solamente en el ápice; espata cerrada, cuando desarrollada con una longitud promedio de 83 centímetros, varía entre 51 y 125.5 centímetros; diámetro de 12 centímetros (6 a 18 centímetros), peso total 2.65 kilogramos (0.7 a 6.25 kilogramos) con un peso del espádice de 1.73 kilogramos (0.35 a 4.2 kilogramos); grosor de la espata 5.6 milímetros (1.9 a 15 milímetros), internamente de color crema, algunas veces amarillo pálido; y con huellas presentes o no en la superficie interior, las huellas son provocadas por la compresión de las flores, principalmente las femeninas; pedúnculo 27 centímetros (10 a 71 centímetros) de longitud, raramente con espinas; raquis 50 centímetros (31 a 77.5 centímetros) de longitud, con 3 raquillas (0 a 16 raquillas) abortadas, cuyas bractéolas varían mucho en longitud, diámetro y forma; raquillas (espigas) fértiles 55 (25 a 145), longitud de 29 centímetros (16 a 47 centímetros) rectas o recurvadas, con bractéolas que varían mucho en longitud y ancho; en las espigas aparecen ocasionalmente flores hermafroditas funcionales y además flores masculinas modificadas ("flores acompañantes") que son generalmente estériles y mal diferenciadas (6, 14, 17).

D. Flores

Flores estaminadas (masculinas) de color crema, algunas veces amarillo pálido, con 6 estambres dispuestos en pares a los lados de la corola y miden 4.4 milímetros (2.3 a 6 milímetros) de diámetro por 4

milímetros (1.7 a 6.3 milímetros) de longitud; las pistiladas (femeninas) generalmente son de color amarillo y rara vez verdes; están intercaladas entre las estaminadas; son tricarpelares, sincárpicas, uniloculares con estigmas sésiles formados por la fusión incompleta de la parte distal de los carpelos, donde queda un canal (recubierto con tejido glandular) comunicador con el lóculo; miden 7.6 milímetros (3.5 a 12.3 milímetros) de diámetro por 7.2 milímetros (3 a 13.1 milímetros) de longitud; el estigma queda expuesto, ya que la corola no alcanza a cubrir el ovario; pero está parcialmente protegido por un velo que lo rodea formado por una extensión de la epidermis (6, 14, 17).

E. Racimo

Racimo siempre en las axilas de las hojas inferiores con un peso de 6.1 kilogramos (0.7 a 20.4 kilogramos); pedúnculo casi siempre glabro de 32 centímetros (12 a 60 centímetros) de longitud; raquis de 46 centímetros (21 a 71 centímetros) de longitud, con 50 centímetros (18 a 89 centímetros) las raquillas fértiles y 3 centímetros (0 a 15 centímetros) las abortadas.

F. Frutos

Fértiles con el epicarpo generalmente brillante y de color anaranjado, amarillo, rojo o naranja encendido con 154 frutos (0 a 764 frutos) por racimo, peso promedio 45 gramos (4 a 186 gramos), diámetro máximo promedio 4.2 centímetros (1.9 a 5.1 centímetros) y longitud 4.5 centímetros (2.1 a 6.9 centímetros); rayas en el epicarpo presentes o ausentes; mesocarpo de color anaranjado (algunos naranja encendido o crema), con alto a medio contenido de fibras, contenidos variables de aceite y de agua; el ápice del fruto puede ser mamiforme, redondeado, puntiagudo o truncado; la base es ondulada, plana, ancha o redondeada; la corola dentada, tridentada o redondeada; frutos partenocárpicos 21 (0 a 326 frutos) por racimo, peso promedio 36 gramos (3.1 a 142 gramos), diámetro máximo promedio 3.6 centímetros (1.8 a 7.1 centímetros) y 4.3 centímetros (2.0 a 6.5 centímetros) de longitud (6, 14, 17).

G. Semillas

Semillas (aquí se considera el endocarpo como uno de los componentes de la semilla que, aunque botánicamente esto es controversial, funcionalmente sí lo es) dispuestas en la parte mediana del fruto pero ocasionalmente, pueden ser encontradas en la zona distal; varían bastante de forma, la cual puede ser ovada, elíptica, redondeada, oblonga o cuneiforme; pueden ser libres, o de mediana a alta adherencia al mesocarpo.



Tienen un peso de 3.2 gramos (1 a 8.8 gramos), longitud de 2.2 centímetros (1.2 a 4 centímetros) y diámetro máximo promedio 1.5 centímetros (1 a 2.3 centímetros); los dos poros estériles están nivelados o con alturas diferentes y con 4.8 milímetros (2.1 a 7.7 milímetros) de separación y a una distancia de 1.5 milímetros (0.1 a 5.3 milímetros) del extremo distal; poro fértil a una distancia de 3.9 milímetros (0.8 a 5.3 milímetros) del extremo distal; tejido de fibras aplanadas sobre el endocarpo, semejando un arilo, oscuro distribuido generalmente en la parte dorsoventral, algunas veces sólo en la dorsal o sobre todo el endocarpo; endocarpo con un grosor de 0.8 milímetros (0.2 a 1.2 milímetros); fibras libres en toda la extensión, más concentradas en el ápice, cuerno presente o ausente (6, 14, 17).

3.1.3 PROPAGACIÓN POR SEMILLA DEL PEJIBAYE

A. Proceso de germinación

La semilla, como se indicó en la sección anterior, está formada por tres partes básicas. Una cubierta exterior dura o endocarpo, que la protege de daños y deshidratación. Esta cubierta posee tres poros que corresponden a los tres carpelos que formaron el ovario de la flor femenina. Uno de estos poros, el más marcado y con posición generalmente superior, es el poro germinal colocado sobre el embrión de la semilla y por donde emergerá la plántula. El embrión, que producirá la plántula, es muy pequeño y está alojado en una pequeña cavidad del endospermo. El endospermo es la parte blanca de la semilla y constituye la reserva de alimento que utilizará la plántula durante los primeros estados del desarrollo (3).

La primera manifestación del inicio de la germinación es la apariencia "hinchada" del poro germinal. Pocos días después aparece el "*punto blanco*" en dicho poro, cuando crece el haustorio u órgano que empuja el embrión fuera del endocarpo para que inicie su desarrollo. El haustorio transporta el alimento del endospermo o parte blanca de la semilla y lo trasloca a la plántula naciente (3).

B. Selección de la semilla

La selección de semillas se debe hacer de plantas sanas, vigorosas, de crecimiento rápido y con una capacidad de macollamiento moderado. Para obtener una buena germinación, se debe seleccionar frutos sanos y maduros. Se cosechan poco tiempo antes del procesamiento de la semilla para disminuir la contaminación con hongos y bacterias (3).

C. Extracción de la semilla del fruto o chancado

Se debe eliminar la pulpa del fruto para separar las semillas. Esta operación puede realizarse de varias maneras de acuerdo con las facilidades de que se disponga y del manejo que posteriormente se le pretenda dar a la semilla, así como del volumen de semillas a procesar. Estos métodos son básicamente dos: 1) Para el manejo de poca semilla y/o ausencia de otras facilidades, se majan los frutos con las manos o alguna herramienta, triturándolos con moderación para que quede expuesta la semilla, la cual se recoge a mano; 2) Si el volumen de fruta por procesar es grande y se dispone de recursos económicos, se puede construir un molino propulsado por un motor que separa la pulpa de la semilla con mayor rapidez. Debe tenerse cuidado de que el espacio entre los cilindros o cuchillas permita el paso de la semilla sin dañarla (3).

D. Desinfección de la semilla

La semilla extraída queda aún con una ligera cantidad de pulpa, la cual tiende a fermentarse rápidamente. Esto puede evitarse procesándola de inmediato.

Para obtener una buena germinación, la semilla debe lavarse hasta eliminar toda traza de pulpa y luego tratarla con una mezcla de fungicidas Benomyl + Vitavax, para prevenir el ataque de hongos. Este lavado y desinfección es indispensable si la semilla se pone a germinar en bolsas o recipientes de plástico. Si se trata de gran cantidad de semillas, éstas pueden ser lavadas en una batidora de concreto, a la cual se le puede agregar, además de la semilla, un poco de piedra quebrada para que ayude a limpiar con su acción pulidora. También puede lavarse con un aparato de confección artesanal. En este caso se torna un estañón y se le pone un eje que pase a través de este, pero con entrada y salida a distinta altura, con un manubrio en un extremo que permita hacerlo girar a mano. El eje debe tener paletas que permitan agitar las semillas y debe quedar en posición horizontal, pero el estañón queda inclinado para provocar una mayor agitación de las semillas. Este aparato también puede acoplarse a un motor y operarlo así más fácilmente (3).

En ninguna circunstancia se recomienda dejar en agua la semilla por varios días, porque se fermentará y se contaminará con hongos y bacterias. Esta práctica es muy usada, porque al fermentarse la pulpa se suaviza y es más fácil de remover, pero no es una práctica aconsejable si se dispone de un sistema de lavado mecánico. La única situación en que puede resultar adecuada es cuando se cuenta con una corriente de agua continua, por ejemplo un río, en donde la semilla puede colocarse en un saco de malla que permita el paso constante del agua y los desechos del lavado. En esta situación puede dejarse por tres o

cuatro días hasta que quede limpia. Luego se debe desinfectar. En sustitución de este método pueden probarse agentes químicos que hidrolicen esa pulpa y permitan un lavado fácil (3).

3.1.4 SITUACIÓN DEL PEJIBAYE EN GUATEMALA

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, introdujo en Guatemala durante los años 1989 y 1990, 3 materiales de pejibaye *Bactris gasipaes* Kunth que importó de Costa Rica. Estos materiales se han evaluado en la zona de Ixcán, Playa Grande, Quiché y se han adaptado a las condiciones edafoclimáticas de la Franja Transversal del Norte. Este cultivo es una alternativa para que los pequeños y medianos agricultores del país diversifiquen sus sistemas de producción y para que las empresas agrícolas lo aprovechen a gran escala. La tecnificación de la siembra del pejibaye se está iniciando y presenta gran capacidad económica cuando se explota por su fruto, como sucedáneo del maíz, o por su palmito. Se espera que a corto plazo se transforme en uno de importancia económica que ofrezca una opción más, dentro de los cultivos tropicales permanentes para las zonas bajas y húmedas del país, y que sirva como base para el desarrollo de una agroindustria muy significativa (13).

A. Poblaciones definidas de pejibaye en Guatemala

En la introducción de materiales se pueden identificar 2 poblaciones muy definidas como son:

a. Palmicta Ixcán

Es una palmera cuyos frutos son de color amarillo, de ésta se puede obtener palmito a partir de los 18 meses de plantada, lo cual equivale a tener un fuste de 15 centímetros o más de diámetro. La cosecha de fruto comienza a partir del cuarto o quinto año. La capacidad de producción es de 500 frutos por planta por año distribuidos en 8 y 10 racimos (13).

b. Palmicta Chixoy

Los frutos de esta palmera son de color rojo. La producción principia a partir del cuarto o quinto año; se obtienen 450 frutos por planta por año, los cuales se distribuyen en 8 y 10 racimos. Si el interés de la plantación es la producción de palmito, ésta se puede hacer a partir de los 18 meses de establecida la plantación, lo que equivale a tener un fuste formado de 15 centímetros de diámetro mínimo (13).

3.1.5 USOS DEL PEJIBAYE

Estudios e investigaciones llevadas a cabo en Costa Rica, demuestran que el pejibaye es una palmera multiuso, de la cual puede aprovecharse su palmito y su fruta. Para preparar productos que no solo son de consumo humano sino también productos de consumo animal o desarrollar actividades de tipo artesanal o industrial. Algunos de estos son los productos siguientes:

- A. Palmito deshidratado.
- B. Palmito pos cocción al vacío.
- C. Conservación de palmito fresco.
- D. Patee de Palmito.
- E. Elaboración de sopas instantáneas.
- F. Ensilaje para ganado.
- G. Alimento para aves.
- H. Elaboración de papel con desechos de palmito.
- I. Para consumo animal (fruta) (29).

El proceso para la producción de palmito envasado consta de 16 pasos que se mencionan a continuación: 1) Cosecha, 2) Transporte ,3) Recepción, 4) Pelado o Descortezado, 5) Extracción del Palmito, 6) Cortado en Trozos, 7) Clasificación de Trozos, 8) Lavado de Trozos, 9) Escaldado, 10) Llenado de Trozos, 11) Pesado, 12) Adición de Solución de Cubierta, 13) Sellado, 14) Tratamiento Térmico, 15) Enfriado y finalmente 16) Almacenamiento (29).

3.1.6 PROCESO DE OBTENCIÓN DE PALMITO DEL PEJIBAYE Y COMPOSICIÓN QUÍMICA

Una vez que el tallo ha sido cosechado, se extraen las cuatro capas de envoltura que se observan en la Figura 1 para extraer la parte tierna del tallo: el “cogollo” o “corazón de palmito”. Primeramente se le quitan las dos envolturas externas (capa 1 y 2), para dejarlo con las dos envolturas internas (capa 3 y 4). Este proceso se hace para dejar un medio de protección natural hasta que el palmito ingrese a la fase de procesamiento donde recién le son quitadas estas dos capas (29).

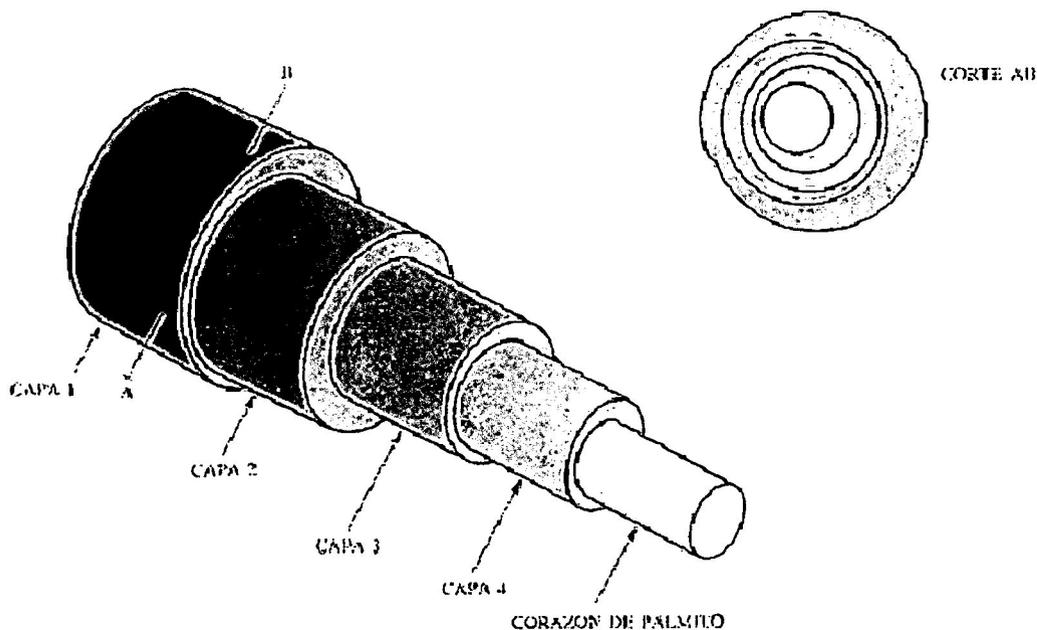


Figura 1. Corte transversal del tallo de palmito mostrando las cuatro envolturas y el corazón de palmito

En esta etapa (contando las dos capas internas) el tallo llega a pesar aproximadamente 755 gr. en promedio. La cáscara constituye el 59,6% del total del peso y el 25,4% es parte basal constituida por internudos y hojas abiertas. El restante 15% es el palmito que se aprovecha cuya composición química se presenta en el Cuadro 1 (29).

Cuadro 1. Composición química del palmito de pejibaye *Bactris gasipaes* Kunth sin procesar.

Componente	Palmito de plantas de desarrollo precoz	Palmito de plantas de desarrollo normal
Humedad (%)	91.43	87.85
Sólidos totales (%)	8.15	12.15
Proteínas (%)	3.21	4.74
Fibra (%)	0.57	0.68
Grasa (%)	0.75	0.36
Ceniza (%)	1.04	0.78
Carbohidratos (%)	2.58	6.27
pH (20°C)	5.9	5.8
Acidez (mg.Ac.cítrico)	0.12	0.12

Debido a las características de su composición, el palmito está dentro del grupo de hortalizas comestibles y es similar a la composición del espárrago blanco, a diferencia de su menor contenido de carbohidratos (alrededor de 3.0% en el palmito y 6.7% en el espárrago) (29).

3.1.7 PRINCIPALES PAÍSES IMPORTADORES DE PALMITO

Entre los países demandantes de palmito nivel mundial se encuentra en primer lugar Francia con un 64% de las importaciones mundiales, luego EE.UU. con 15.7%, España con 7,1 %: Estos tres países además de Italia absorben el 96 % de las exportaciones mundiales y la tendencia va en aumento y ha superado gradualmente las 20.000 toneladas métricas anuales (11).

Las importaciones de palmito enlatado en los Estados Unidos han experimentado una tendencia creciente desde 1998 hasta el año 2000. En el año 1998, Estados Unidos incrementó sus importaciones en 37% con respecto al año precedente. Así también, en el año 2000 el incremento en las importaciones fue del 7% más que en el año anterior (Cuadro 2) (11).

Cuadro 2. Importaciones de palmito en Estados Unidos para el período 1995-2000.

Año	TM	\$us (en millones)	Precio (\$us/TM)
1995	2,384	6.34	2,659.82
1996	3,119	9.34	2,995.19
1997	2,755	8.42	3,056.26
1998	2,775	8.30	2,990.27
1999	3,789	9.23	2,436.00
2000	4,052	9.10	2,246.79

En términos de valor, el año 1996 se importaron \$us 9,34 millones y en los siguientes dos años esta cifra disminuyó a \$us 8,42 y \$us 8,29 millones. Después de esta tendencia hacia la baja, el año 1999 se importaron \$us 9,23, y el año siguiente algo más de \$us 9,19 millones.

El precio promedio durante el período 1995-2000 es de 2.688 \$us/TM. Los primeros tres años de este período la tendencia del precio fue ascendente hasta lograr 3.056 \$us/TM en el año 1997. A partir del año 1998 desciende hasta llegar a un precio de 2.247 \$us/TM (11).

3.1.8 PRINCIPIOS DE PROPAGACIÓN SEXUAL

La propagación por semillas es uno de los métodos principales de reproducción de las plantas en la naturaleza y uno de los más eficientes que más se usan en la propagación de plantas cultivadas. La siembra de la semilla es el inicio físico de la propagación de plántulas. Sin embargo, la semilla misma es el producto final de un proceso de crecimiento y desarrollo efectuado en la planta progenitora. Este proceso se inicia con la *fusión de gametos masculino y femenino* para formar, dentro del ovario de la flor, una sola célula *el cigoto*. El cigoto tiene la propiedad de *totipotencia*, esto es, tiene toda la información genética necesaria para reproducir la planta adulta e iniciar el ciclo de plántulas en la generación siguiente (12).

A. Fases del ciclo biológico de las plántulas

El ciclo se inicia con la formación en la flor de un *cigoto*. Esa estructura unicelular crece y se desarrolla dentro del óvulo y del ovario para producir un *embrión* encerrado en las semillas y el fruto. Durante ese período el embrión es parásito de la planta madre y pasa por etapas de desarrollo características (12).

Con la *germinación de la semilla*, el *embrión* se desarrolla para formar una *plántula*, iniciando la *fase juvenil*. A medida que la plántula crece mediante el alargamiento en tallos y raíces así como en sección transversal, predomina el crecimiento *vegetativo* (12).

Las plantas juveniles continúan en estado vegetativo durante cierto tiempo y no responden a estímulos inductores de la floración. Finalmente se inicia la *fase transicional*, en la cual la planta pierde sus características juveniles. En la fase siguiente, de *planta adulta o madura*, predomina la reproducción de la semilla. Al cambio del estado juvenil al adulto o maduro se le llama *cambio de fase o maduración* (12).

B. Producción de la flor

La producción de la flor comprende dos etapas morfológicas, distintas y contrastantes: *la vegetativa* y *la reproductiva*. Cuando una planta, o parte de la planta, está en estado vegetativo, una rama se alarga por las yemas apicales y laterales, produciendo una serie de nudos y entrenudos. Las yemas vegetativas apicales y laterales se desarrollan según patrones característicos de la especie a cultivar. En la *etapa reproductiva*, varios puntos de crecimiento vegetativo se diferencian para volverse reproductivos y se convierten en flores. La iniciación de la floración marca el fin de la etapa vegetativa de un punto de crecimiento específico. La etapa de floración se inicia con la inducción de la flor, la cual consiste en un cambio fisiológico interno en el punto de crecimiento individual, que precede a cualquier cambio morfológico (12).

C. Formación del fruto, la semilla y el embrión

Las partes minúsculas de la flor subsecuentemente se desarrollan para formar flores completas. El ciclo sexual completo comprende el desarrollo de las estructuras *masculinas* (polen) y *femeninas* (saco embrionario) de la flor para las flores de las angiospermas. En esta parte del ciclo se efectúa la *división reduccional de los cromosomas* para producir el número haploide (N) de los mismos (12).

Los *gametos masculino y femenino* (N) están contenidos respectivamente en los *granos de polen* y el *saco embrionario de ocho núcleos*. Durante la floración, el polen se transfiere de la antera al estigma (*polinización*), en donde germina. Un tubo polínico crece en el estilo hacia abajo hasta que llega al saco embrionario que está dentro del óvulo. En el saco embrionario son descargados dos gametos masculinos, uno que se unirá con el gameto femenino (*fecundación*) para producir el *cigoto* y otro que se unirá con los dos núcleos polares para producir el *endospermo* (12).

El *cigoto es diploide* (2N) y se divide para convertirse en el embrión; *el endospermo es triploide* (3N) y se desarrolla para formar tejido nutriente para el embrión en desarrollo. Ambas estructuras están encerradas dentro de la *nucela* (en el interior del óvulo), que inicialmente funciona como un tejido nodriza para el embrión y el endospermo en desarrollo. En algunas especies la nucela se desarrolla para formar un tejido de almacenamiento de alimentos en la semilla (12).

D. Proceso de germinación de la semilla

La semilla está constituida por un embrión, el endospermo que es un reservorio de nutrientes almacenado y cubiertas protectoras. Para que una semilla germine se necesitan las condiciones siguientes: Debe ser viable, embrión vivo y capaz de germinar; no debe estar en letargo y el embrión no debe tener barreras químicas para germinar; las semillas deben estar expuestas a las condiciones ambientales apropiadas: provisión de agua, oxígeno, temperatura adecuada y en ocasiones luz (12).

El proceso de germinación de las semillas involucra tres etapas fundamentales que se describen en los incisos siguientes:

a. Etapa 1 de activación

En la etapa 1 de activación suceden la *imbibición de agua*, donde el contenido de humedad se incrementa con rapidez y luego se estabiliza; luego la *síntesis de enzimas*, donde se reactivan las enzimas previamente almacenadas en la semilla y se sintetizan nuevas enzimas; y, finalmente la *elongación de células* y posterior emergencia de la plúmula y la radícula (12).

b. Etapa 2 de digestión y translocación

Las grasas, proteínas y carbohidratos contenidos en el endospermo de la semilla y los cotiledones son desdoblados a compuestos simples. Estos compuestos son translocados a los puntos de crecimiento del eje embrionario (12).

c. Etapa 3 de crecimiento de la plántula

Es la etapa de desarrollo de la plántula que resulta de la división celular en los puntos de crecimiento en forma continua, seguido por la expansión de las estructuras de la plántula. En el inicio del crecimiento del eje embrionario se dan los siguientes procesos: incremento del peso fresco de la plántula, aumento de la tasa de respiración y absorción de oxígeno, aumento de absorción de agua y disminución del peso total de los tejidos de almacenamiento (12).

E. Dormancia en las semillas

Muchas semillas de especies principalmente forestales y especies no domesticadas, cuando se ponen a germinar, no responden a la prueba de germinación, a pesar que están maduras. Este fallo en la germinación es definido como dormancia. Este fenómeno impide el proceso de germinación afectando económicamente

la actividad agrícola ya que se perderán recursos que se han invertido en el semillero. Antes de iniciar un programa de propagación de una especie poco conocida es necesario conocer si presenta el fenómeno de la dormancia.

La dormancia puede deberse a las cubiertas de las semillas, al embrión o de las sustancias de reserva, en otros casos existe una combinación de las mismas. La forma de enfrentar la dormancia depende obviamente del tipo que experimente la especie. El rompimiento de la dormancia debida a la cubierta de las semillas puede lograrse por varios métodos a saber: sumergimiento de la semilla en agua fría, agua caliente, haciendo punciones en las cubiertas de las semillas o el tratamiento de las mismas con ácidos, o simplemente rompiendo manualmente las semillas con un instrumento cortante. Otras técnicas son el uso de hormonas (giberelinas, citoquininas, etileno, etc.) y otros estimulantes químicos también se han utilizado con éxito (24).

a. Control del contenido de humedad

Algunas semillas se secan pero quedan encerradas en un fruto carnosos, otras semillas se secan a 30 a 50 por ciento de humedad y pierden su capacidad de germinación como los encinos y algunos cítricos.

b. Imposición de la dormancia

Durante la maduración se desarrollan controles internos que impiden la germinación y persisten en la semilla durante un período posterior a la cosecha. La dormancia puede dividirse en cuatro tipos como sigue:

i. Dormancia física: Debido a la testa impermeable que preserva las semillas con bajo contenido de humedad durante varios años, aún a temperaturas elevadas, como por ejemplo algunas leguminosas.

ii. Dormancia mecánica: Las semillas poseen cubiertas demasiado duras que no permiten que el embrión se expanda durante la germinación, como por ejemplo semillas de durazno, frutas de hueso.

iii. Dormancia química: Semillas que poseen sustancias inhibidoras de la germinación que se producen y se acumulan en el fruto en las cubiertas de la semilla tales como el ácido abscísico, fenoles y cumarinas.

iv. Dormancia morfológica: En este caso se diferencian dos tipos: *embriones rudimentarios* como el caso de la Magnolia que posee un proembrión embebido en el endospermo y *embriones no desarrollados* como en el caso de la zanahoria que posee embriones en forma de torpedo (12).

3.1.11 RUPTURA DE LA DORMANCIA EN LAS SEMILLAS

Los métodos utilizados en la ruptura de la dormancia se pueden clasificar en *físicos* y *químicos*. Entre los *físicos* uno de los más utilizados es el uso de alta o baja temperatura y en algunos casos combinaciones de ambas (4).

Los regímenes de temperatura regulan la sincronización de los procesos en semillas por su efecto en las tasas de reacción y cambios físicos de los componentes celulares.

Reguladores del crecimiento como las giberelinas (AG_3), las citoquininas (kinetina y benciladenina) y el etileno a menudo afectan la dormancia. La acción de las giberelinas en semillas es probablemente antagónica a la del ácido abscísico (ABA), dado que éste inhibe la síntesis del ARN y proteínas que promueve el AG_3 .

Las citoquininas son menos efectivas que las giberelinas y a menudo inducen germinación anormal; su actividad se observa en combinación con otros agentes promotores como giberelinas, luz o etileno y de esta forma pueden contrarrestar el efecto de los inhibidores. Por esta razón se les atribuye un papel permisivo en relación la dormancia.

Se ha comprobado que el etileno es producido al momento de la germinación, por lo que ha sido utilizado para promover la germinación solo o a través de una compleja interacción con otros factores como luz, giberelinas, CO_2 , ácido abscísico y citoquininas (4).

A. Mecanismo de acción de las giberelinas en la ruptura de la dormancia

Aún no ha sido identificado un receptor para las giberelinas. El estímulo de la expansión celular observado cuando el AG_3 es aplicado a hipocotilos, no es acompañado por acidificación de la pared celular, indicando un mecanismo de acción diferente al de las auxinas (30).

El efecto clásico de las giberelinas es la *inducción de síntesis de la enzima α -amilasa* en semillas de cereales en germinación desde la síntesis de mRNA, actuando la giberelina a nivel de transcripción de genes específicos para la α -amilasa. La inhibición de la síntesis de proteína antes de aplicar la giberelina causa también la inhibición del efecto de la hormona sobre la α -amilasa. Esta evidencia sugiere que alguna proteína es sintetizada después de la aplicación de la giberelina, y que esta proteína a su vez, induce la

transcripción de dos familias de genes de α -amilasa y de otros genes afectados simultáneamente. En realidad un gran número de enzimas aumenta su actividad después del tratamiento de semillas con giberelinas (30).

Las giberelinas (GA) comprenden la clase de sustancias implicadas de manera más directa en el control y el estímulo de la germinación de las semillas. Aunque existen muchas variaciones moleculares de la giberelina, la de más amplio uso experimental y comercial es el ácido giberélico (AG_3). Al parecer las giberelinas desempeñan un papel en dos etapas diferentes de la germinación. En la *etapa 1 de activación*, se ha sugerido que las giberelinas actúan en la etapa inicial de producción de enzimas al ser transcritas de los cromosomas. Una etapa posterior es la activación de enzimas que intervienen en la movilización del sistema de alimentos. Por ejemplo cuando la semilla de cebada embebe agua, la giberelina aparece en el embrión y es translocada a la aleurona (una capa de tres a cuatro células de espesor que rodea al endospermo), en donde causa una nueva producción de α -amilasa. Esta enzima se mueve al endospermo, en donde convierte el almidón en azúcar, el cual a su vez es translocado a los puntos de crecimiento del embrión para producir energía para el crecimiento (30).

3.1.12 GIBERELINAS (ÁCIDO GIBERÉLICO AG_3)

Las giberelinas fueron descubiertas a partir de estudios de una enfermedad de la planta de arroz causada por el hongo *Gibberella fujikuroi*, cuyos síntomas incluyen el acame de la plántula por el crecimiento excesivo. El compuesto responsable del crecimiento excesivo fue aislado y después identificado como una hormona producida también por las plantas (30).

Poco después de los trabajos realizados por los japoneses, norteamericanos y británicos, se descubrió que había giberelinas en las plantas superiores y que eran uno de los tipos importantes de hormonas reguladoras del crecimiento de los vegetales. Por lo común las semillas inmaduras representan la mejor fuente de giberelinas naturales.

En la actualidad existen cuando menos treinta y siete giberelinas conocidas y la lista crece año con año. Algunas giberelinas se encuentran solo en el hongo *Gibberella fujikuroi*, otras están presentes solo en plantas superiores y otras se encuentran en ambas. Por lo menos 16 giberelinas se han aislado del hongo (GA1, GA4, GA7, GA9, GA16, GA24, GA25 y GA36) y veintisiete de plantas superiores. Entre las plantas o partes de plantas que se han encontrado giberelinas están la vid (GA3, GA4, GA7), los brotes de bambú (GA18, GA19, GA20), los chupones de los cítricos, semillas de avellano (GA1, GA3) (30).

A. Naturaleza química

Las giberelinas se han definido como compuestos que contienen un esqueleto gibane y propiedades biológicas apropiadas. No obstante, una nueva ponencia sugiere que todas las giberelinas contengan el esqueleto enantiómero de giberelano (ent-giberelano). Dicho esqueleto tiene la ventaja de utilizar un sistema de numeración que corresponde al de otros diterpenos cíclicos, categoría a la que pertenecen las giberelinas.

Las principales diferencias entre las giberelinas conocidas son que:

- i. Algunas tienen 19 átomos de carbono y otras 20.
- ii. Hay grupos de hidroxilos que pueden encontrarse presentes o ausentes en las posiciones 3 y 13 (del sistema de numeración de ent-giberelano).

Todas las giberelinas de 19 átomos de carbono son ácidos monocarboxílicos, tienen el grupo COOH en la posición 7 y un anillo de lactona. Las estructuras de muchas giberelinas son casi idénticas, por ejemplo, el GA1 es igual al GA3, con la salvedad de que en el GA1 no aparece el doble enlace entre los átomos de carbono 1 y 2 (sistema de numeración de ent-giberelano). Es muy improbable que en un futuro próximo se sinteticen comercialmente las giberelinas, ya que, por ejemplo, el GA3, tiene 8 átomos asimétricos de carbono, lo cual significa que hay 256 isómeros posibles. Quizá los botánicos tendrán que seguir dependiendo del hongo todavía durante largo tiempo, para obtener giberelinas (30).

B. Lugar de síntesis de las giberelinas

La vía de biosíntesis de las giberelinas se inicia en la síntesis de los terpenos con la reacción específica de ciclización de geranyl-geranyl-pirofosfato, un diterpeno con 20 carbonos. Los órganos que poseen mayores concentraciones de giberelinas son probablemente los lugares de biosíntesis. Estos incluyen semillas en germinación, endospermo, frutos inmaduros y ápices de brotes y raíces. A nivel intracelular, los plastidios son sitios de biosíntesis (30).

C. Transporte

Las giberelinas son encontradas en concentraciones relativamente altas en la sabia bruta, indicando transporte eficiente de los sitios de biosíntesis en las raíces hasta la parte aérea vía xilema. Las giberelinas también son encontradas en el floema, donde ocurre el transporte de las hojas hacia otras partes de la planta (30).

3.1.13 MÉTODOS NO PARAMÉTRICOS EN EL ANÁLISIS DE VARIANZA

En casos en que la suposición de normalidad no se justifica, el experimentador podrá estar dispuesto a utilizar un procedimiento alternativo al de la prueba de F del análisis de varianza y que no dependa de esta suposición. Kruskal y Wallis (1952) desarrollaron este procedimiento. La prueba de Kruskal-Wallis se usa para probar la hipótesis nula de igualdad de "a" tratamientos contra la hipótesis alterna de que algunos de ellos producen observaciones que son mayores que otras. A veces resulta conveniente pensar que la prueba de Kruskal-Wallis es una prueba de igualdad de medias de tratamiento porque es un procedimiento diseñado para ser sensible en pruebas de diferencias entre medias. La prueba de Kruskal-Wallis constituye una alternativa no paramétrica al análisis de varianza usual (15).

Para realizar una prueba de Kruskal-Wallis se sigue el procedimiento siguiente:

Primero hay que organizar las observaciones Y_{ij} en orden ascendente.

Luego las observaciones ordenadas se reemplazan por su rango (o jerarquía, en inglés rank) R_{ij} , con el rango 1 correspondiente a la observación más pequeña. En caso de empate (varias observaciones con el mismo valor), se asigna el rango promedio a cada observación empatada.

Sea R_i . La suma de los rangos de las observaciones del i-ésimo tratamiento. La estadística de prueba es:

$$H = \frac{1}{S^2} \left[\sum_{i=1}^a \frac{R_i^2}{n_i} - \frac{N(N+1)^2}{4} \right]$$

en donde n_i es el número de observaciones del i-ésimo tratamiento, N es el número total de observaciones y

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} R_{ij}^2 - \frac{N(N+1)^2}{4} \right]$$

debe notarse que S^2 es igual a la varianza de los rangos. La estadística de prueba es $H > X^2_{\alpha, a-1}$; si se cumple esta condición hay que rechazar la considera nula de que los tratamientos son iguales (15).

A. Consideraciones al emplear estadística no paramétrica

- a. Cuando los datos de la variable de respuesta no siguen una distribución normal.
- b. Se recomienda realizar un análisis de varianza usual (paramétrico) a los datos originales y a sus correspondientes rangos (no paramétrico), si los resultados son similares probablemente las suposiciones del análisis de varianza se satisfacen razonablemente bien, y el análisis estándar (paramétrico) resulta adecuado. En este caso el investigador podrá optar por investigar el uso de transformaciones para poblaciones no normales.
- c. El investigador deberá examinar los datos y el procedimiento experimental para detectar la presencia de valores distanciados y determinar porque ocurrieron.
- d. Si los valores distanciados (atípicos) que ocasionan la no normalidad corresponden a un mismo tratamiento, como por ejemplo no obtener respuesta, es necesario establecer los factores que causaron esta respuesta y se pueden analizar los datos por grupos separados empleando estadística paramétrica, no paramétrica o ambas para cada grupo con valores normales y no normales respectivamente (2).

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
LABORATORIO DE ESTADÍSTICA

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación acerca de la respuesta de las semillas de pejibaye a la aplicación de dosis de ácido giberélico sobre la germinación se realizó en Finca Sabana Grande, administrada por la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la cual se localiza en el departamento de Escuintla, en las coordenadas 14° 22'03'' Latitud Norte y 90° 49'48'' Longitud Oeste (7) tal como se muestra en la Figura 2.

3.2.2 LÍMITES, EXTENSIÓN Y VÍAS DE ACCESO

Los límites de la finca Sabana Grande son: al norte con la aldea El Rodeo y finca Tropicana; al sur, finca Lorena; al este, finca Alsacia y al oeste, finca Magdalena. Su extensión según el acuerdo gubernativo número 1,696, folio 233 del libro número 27 del departamento de Escuintla es de 221 hectáreas, de las cuales ya se cedieron 5 hectáreas a la aldea El Rodeo reduciéndose la misma a 215 hectáreas que equivale a 4.77 caballerías (18).

3.2.3 RELIEVE Y FISIOGRAFÍA

El relieve va de gradualmente ondulado a plano con pendientes que van de 0 al 3 %, la elevación promedio es de 770 msnm con un rango que va desde los 745 a 795 msnm (7). Según el mapa de regiones fisiográficas de Guatemala, la finca Sabana Grande se encuentra dentro de la región fisiográfica denominada Pendiente Volcánica Reciente (20).

3.2.4 CLIMA Y ZONAS DE VIDA

Según el mapa climatológico preliminar de la república de Guatemala, basado en el sistema de clasificación de Thornthwaite (19); la finca Sabana Grande presenta un clima cálido sin estación fría bien definida, muy húmedo con estación seca bien definida.

La precipitación anual es de 2000 a 2585.3 mm, distribuida en 122 días de lluvia, la humedad relativa media varía de 66 a 90 % y la temperatura mínima promedio es de 23°C.

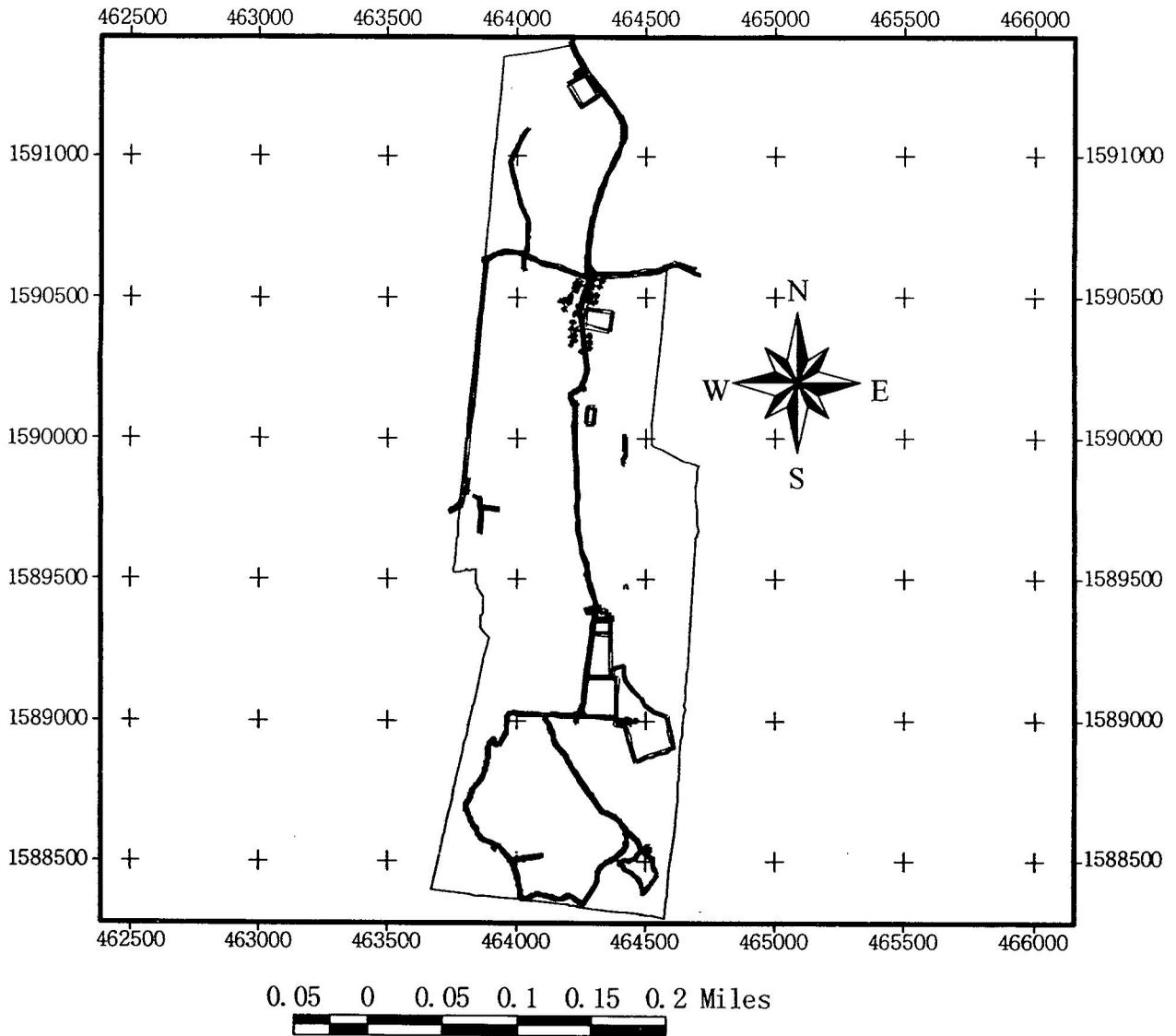


Figura 2. Ubicación de finca Sabana Grande donde se realizó el experimento.

Según el mapa de zonas de vida elaborado por J.R. de La Cruz (8), basado en el sistema de clasificación de Holdridge, la finca Sabana Grande se encuentra dentro de la zona de vida denominada Bosque muy Húmedo Sub-Tropical cálido (bmh-c).

3.2.5 GEOLOGÍA Y SUELOS

Según el mapa geológico de Guatemala (22), los suelos de la finca Sabana Grande son de origen cuaternario formados por sedimentos de origen volcánico. De acuerdo al estudio a nivel de reconocimiento elaborado por Simmons *et al* (23), los suelos de la finca Sabana Grande pertenecen a la serie Alotenango, caracterizada por suelos profundos, bien drenados, de textura franca entre otras características.

3.2.6 INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON LA PRESENTE TESIS

A. Investigaciones realizadas en el extranjero

Villalobos R. y Herrera J. 1991 (27) en Costa Rica para la germinación de semillas de pejibaye evaluaron el efecto de cuatro temperaturas, temperatura ambiente (20 °C), 30 °C, 40 °C y 50 °C por diferentes períodos de tiempo, en forma alterna o constante (2, 4 y 7 días a la semana por 2 semanas, 2, 4 y 7 días a la semana por 4 semanas, 2, 4 y 7 días a la semana por 20 semanas), las semillas se colocaron en bolsas de polietileno selladas de 0.17 mm de grosor; ninguno de los tratamientos en los que se sometió a las semillas a temperaturas de 40 °C o más por diferentes períodos de tiempo en forma alterna o constante, permitió la germinación de éstas. Las semillas se mantuvieron por dos días en agua para suavizar los restos de mesocarpo adherido a ellas; luego, se lavaron con agua y fricción y finalmente se trataron con los funguicidas benomyl (1 g/L) y Vitavax (carboxin + orthocide) a razón de 2g/L, por espacio de 20 minutos, por último, se dejaron secar a la sombra por dos días. Todas las semillas perdieron la viabilidad con esa temperatura. En los tratamientos donde se aplicó temperatura ambiente (20 °C) y de 30 °C ofrecieron estadísticamente igual porcentaje de germinación siendo en promedio de 42.5 por ciento. El tiempo de exposición más corto a temperatura de 40 °C fue de 48 horas durante la primera semana y 48 horas durante la segunda semana, lo que hace un total de 96 horas de exposición de las semillas a temperatura de 40 °C, que igualmente provocaron la muerte del embrión; no se evaluó períodos de exposición más cortos a temperaturas iguales o superiores a 40 °C en ésta investigación.

En 1992, Villalobos R., Herrera, J. y Guevara, E. en Costa Rica (28), sometieron semillas de pejibaye a tratamientos de inmersión por una hora de AG₃ en concentraciones de 0, 75, 150 y 225 ppm y 6-bencil amino purina (BAP) en concentraciones de 0, 0.1m 0.6 y 1.1 % a temperatura ambiente (+- 20°C), las cuales se pusieron a germinar en bandejas de arena. A las semillas se les separó la pulpa (exocarpo y endocarpo) manualmente, dos días después fueron lavadas con agua y fricción para eliminar los restos de mesocarpo, cinco días después se inició el tratamiento. Resultado de la investigación se tiene que todos los tratamientos con BAP ofrecieron porcentajes de germinación menores al 2 por ciento, el tratamiento sin aplicación de AG₃ ofreció un 8 % de germinación a los dos 90 días y el mejor tratamiento fue el de 75 ppm de AG₃ ofreciendo un porcentaje de germinación de 30 % a los 90 días.

De estas dos investigaciones es importante notar que cuando se emplearon reguladores del crecimiento (AG₃) en sustrato de arena a temperatura ambiente el porcentaje de germinación fue menor (30 % a los 90 días) que cuando se utilizó bolsas de polietileno a temperatura ambiente (42.5 % a los 60 días); sin

embargo, hay que considerar que en el primer experimento se protegió la semilla contra enfermedades fungosas.

B. Investigaciones realizadas en Guatemala

En la finca Bulbuxyá ubicada en el departamento Suchitepéquez entre noviembre de 2003 y febrero de 2004, se puso a germinar 3,500 semillas de peñibaye según las recomendaciones del ICTA en sacos plásticos obteniendo únicamente 41 plántulas, lo que equivale a un 1.17 por ciento de germinación (10).

En las fincas Chipó y Variedades ubicadas en el municipio de Santa Bárbara Suchitepéquez utilizando éste mismo método de germinación reportan que han obtenido en los últimos tres años porcentajes de germinación que oscilan entre el 3 y el 10 por ciento¹.

¹ Cumes, I. Caporal de finca Chipó, 2004. (Comunicación personal).

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Desarrollar información sobre la germinación de pejibaye que permita mejorar los bajos porcentajes de germinación actuales.

4.2 ESPECÍFICOS

- 4.2.1 Identificar la concentración de ácido giberélico que proporciona el mayor porcentaje de germinación de semillas de pejibaye en solución a temperatura ambiente (18 ± 1 °C) y 40 °C.
- 4.2.2 Determinar la concentración de ácido giberélico que permite el mayor peso fresco radical de plántulas de pejibaye a los 90 días después de la siembra.
- 4.2.3 Establecer el menor costo de producción unitario por plántula de pejibaye para satisfacer la demanda de establecer una hectárea de cultivo.

5. HIPÓTESIS

- 5.1 Cualquier concentración de la solución de ácido giberélico ya sea a 40 °C o temperatura ambiente ($18 \pm 1^\circ\text{C}$) en que se sumerjan las semillas de pejibaye durante una hora previo a la siembra, ofrecerá similares porcentajes de germinación.
- 5.2 Cualquier concentración de la solución de ácido giberélico ya sea a 40 °C o temperatura ambiente ($18 \pm 1^\circ\text{C}$) en que se sumerjan las semillas de pejibaye durante una hora previo a la siembra, ofrecerá similar peso fresco promedio de raíces por plántula de pejibaye.
- 5.3 Con cualquiera de los siete tratamientos aplicados a la semilla de pejibaye se obtendrá el mismo costo unitario por plántula.

6. METODOLOGÍA

6.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

El experimento de evaluación de la respuesta de semillas de pejibaye a la aplicación de giberelinas (AG₃) sobre el porcentaje de germinación se realizó en finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, la cual es administrada por la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

- T1= Remojo de la semilla de pejibaye por una hora en agua a temperatura de 40 °C.
- T2= Remojo de la semilla de pejibaye por una hora en solución de ácido giberélico (AG₃) a 150 ppm y temperatura de la solución de 40 °C.
- T3= Remojo de la semilla de pejibaye por una hora en solución de ácido giberélico (AG₃) a 300 ppm y temperatura de la solución de 40 °C.
- T4= Remojo de la semilla de pejibaye por una hora en solución de ácido giberélico (AG₃) a 500 ppm y temperatura de la solución de 40 °C.
- T5= Remojo de la semilla de pejibaye por una hora en agua a temperatura ambiente (18 ± 1 °C.)
- T6= Remojo de la semilla de pejibaye por una hora en solución de ácido giberélico (AG₃) a 150 ppm y temperatura de la solución de (18 ± 1 °C.).
- T7= Remojo de la semilla de pejibaye por una hora en solución de ácido giberélico (AG₃) a 300 ppm y temperatura de la solución de (18 ± 1 °C.)

6.3 UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental la constituyó una bandeja plástica circular de 16.5 centímetros de diámetro y 5 centímetros de altura, la cual se llenó con una mezcla de 50 % de arena de río y 50 % de tierra del lugar, conteniendo cada bandeja 35 semillas de pejibaye (Figura 3).

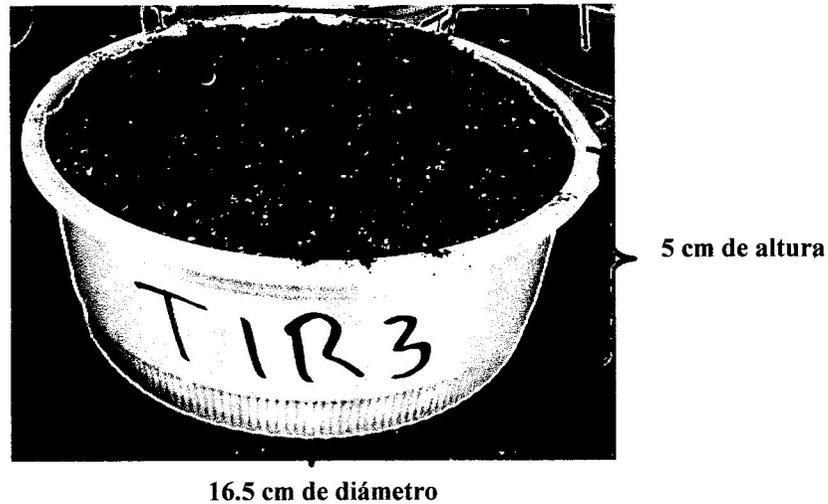


Figura 3. Detalle de la unidad experimental

6.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental que se empleó fue el de una distribución completamente al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones lo cual hace un total de 28 unidades experimentales.

A continuación se presenta el modelo estadístico que valida la distribución planteada y la distribución de las unidades experimentales.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij -ésima unidad experimental.

μ = Efecto de la media general.

T_i = Efecto del i -ésimo nivel de ácido giberélico (AG_3).

E_{ij} = Error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental.

6.5 DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Los tratamientos se colocaron atrás del casco de la finca de Sabana Grande sobre unas tablas sostenidas por blocks. Se cubrieron las bandejas con polietileno a una altura de 10 centímetros para crear un microclima controlado y evitar cambios bruscos de temperatura por acción del viento (Figuras 4 y 11 A).



Figura 4. Distribución de los tratamientos.

6.6 VARIABLES DE RESPUESTA

6.6.1 PORCENTAJE DE GERMINACIÓN

El cual fue tomado a los 90 días después de la siembra de las semillas de pejibaye. Para lo cual se contó el número de semillas germinadas y se multiplicó por 100, luego se dividió entre 35 para obtener el resultado en porcentaje.

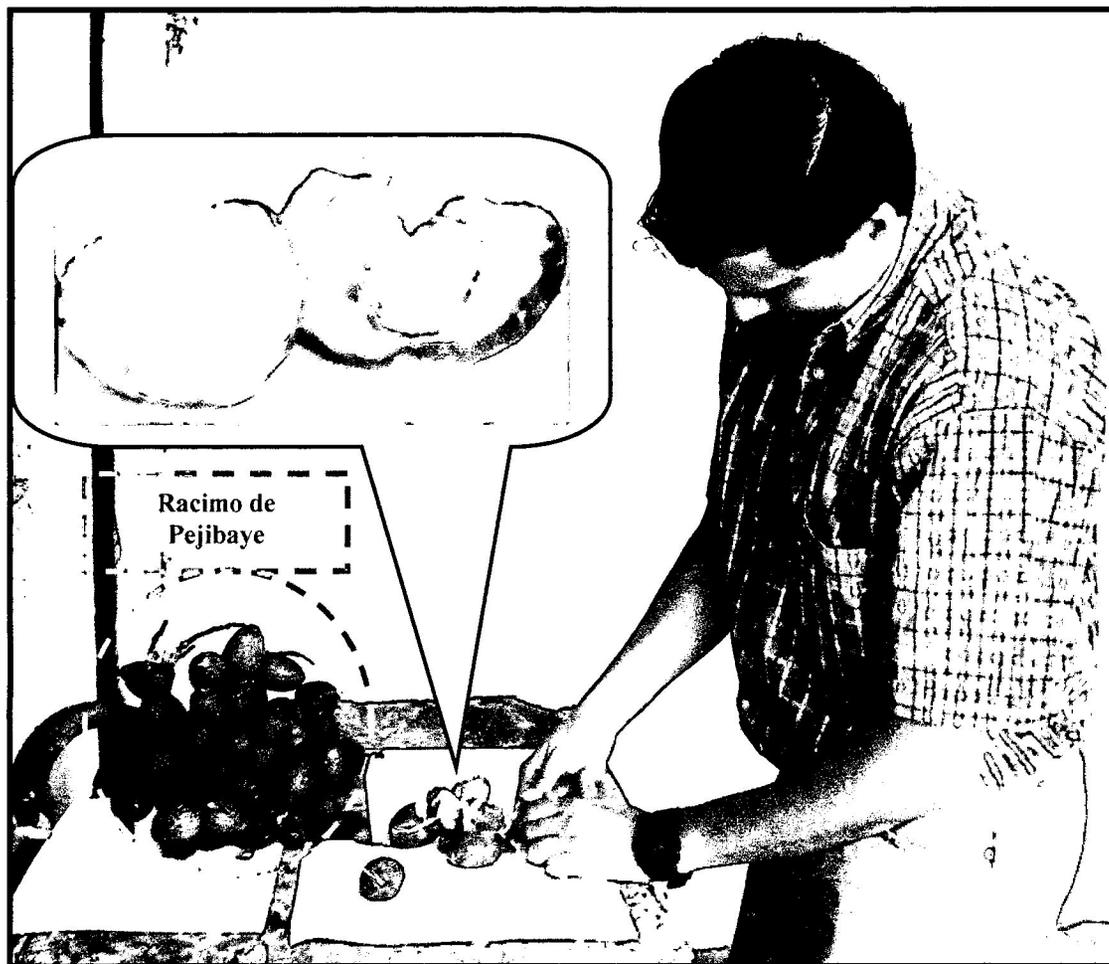
6.6.2 PESO FRESCO RADICAL

Para obtener el peso fresco radical, se cortaron las raíces de cada plántula (según tratamiento y repetición) y fueron pesadas en una balanza analítica con precisión de diezmilésima de gramo, luego se obtuvo el peso promedio por repetición y tratamiento.

6.7 MANEJO DEL EXPERIMENTO

6.7.1 OBTENCIÓN DE SEMILLA DE PEJIBAYE

Se cosecharon los frutos de pejibaye en racimo, luego se separaron los frutos individuales y manualmente se separó el exocarpo y el endocarpo. Un día después se lavaron las semillas con agua friccionándolas con una lija suave para eliminar los restos de mesocarpo y dejar la testa libre de tejido; se dejó secar a la sombra por dos días colocando las semillas sobre papel mayordomo; cuando el papel mayordomo se humedecía fue sustituido por uno nuevo y seco (Figura 5).



a) Obtención de frutos del racimo y separación de la semilla del fruto de pebibaye.



b) Semilla de pebibaye mostrando el poro fértil y los dos poros estériles.

Figura 5. Obtención de semilla de pebibaye previo a la aplicación de los tratamientos.

6.7.2 TRATAMIENTO DE LA SEMILLA

A. Preparación de las soluciones de ácido giberélico (AG₃)

Se prepararon 5 litros individuales de solución de ácido giberélico: 2 litros a 150 ppm, 2 litros a 300 ppm y un litro a 500 ppm. El producto comercial que se utilizó para proveer el ácido giberélico fue Biogib, el cual tiene una concentración del 10 % de ácido giberélico. A continuación se presenta un ejemplo para calcular los gramos de producto comercial para obtener la concentración de 300 partes por millón de ácido giberélico por litro de solución.

$$\frac{300 \text{ mg AG}_3}{\text{L agua}} \times \frac{100 \text{ gr Biogib}}{10 \text{ gr AG}_3} \times \frac{1 \text{ gr AG}_3}{1,000 \text{ mg AG}_3} = \frac{3 \text{ gr Biogib}}{\text{Litro de agua}}$$

En el Cuadro 3, se presenta los gramos de Biogib empleados en cada uno de los 7 tratamientos evaluados en la presente investigación.

Cuadro 3. Gramos de Biogib empleados para elaborar un litro de solución.

Tratamiento	Gramos de Biogib Por litro de Solución	Observación
Inmersión de las 140 semillas de pejibaye (4 repeticiones en total) por una hora en:		
T1: Únicamente agua a 40 °C	0.0	Se sumergieron las semillas en agua a 40 °C por una hora, sin adicionar AG ₃
T2: Solución a 150 ppm de AG₃ a 40 °C.	1.5	
T3: Solución a 300 ppm de AG₃ a 40 °C.	3.0	
T4: Solución a 500 ppm de AG₃ a 40 °C.	5.0	
T5: Únicamente agua a ± 18 °C.	0.0	Se sumergieron las semillas en agua a ± 18 °C. por una hora sin adicionar AG ₃
T6: Solución a 150 ppm de AG₃ a ± 18 °C.	1.5	
T7: Solución a 300 ppm de AG₃ a ± 18 °C.	3.0	

Para preparar cada una de las siete soluciones de los tratamientos, se empleó agua destilada; en un recipiente plástico se colocó medio litro de agua y luego se le aplicó la dosis respectiva del producto comercial Biogib, seguidamente se agitó hasta diluir completamente el producto y se aforó hasta llegar a un litro de solución.

B. Inmersión de las semillas en cada tratamiento por una hora

a. En los tratamientos en que se empleó solución a 40 °C.

Primero se calibró la estufa con un litro de agua en baño de María a fin de estandarizar la graduación de la estufa eléctrica, para lo cual se giró levemente la perilla y se introdujo el termómetro dentro del agua del

recipiente interior, luego de cinco minutos se ajustó la perilla hasta el punto en que el termómetro marcó los 40 °C sin sufrir variaciones.

Posteriormente a tener definida la posición de la perilla para obtener una temperatura de 40 °C, se procedió a colocar el tratamiento 1 (solamente agua) con las 140 semillas correspondientes a dicho tratamiento por un período de una hora; el termómetro siempre permaneció dentro del segundo recipiente con las semillas de pejibaye a fin de garantizar la temperatura propuesta. Al terminar con el segundo tratamiento se colocó la solución del segundo tratamiento por una hora, luego el tercero y finalmente el cuarto tratamiento.

b. En los tratamientos en que se empleó solución a temperatura ambiente ($\pm 18^{\circ}\text{C}$).

La inmersión de las semillas de pejibaye por una hora en estos tratamientos fue mucho más fácil pues bastó con preparar cada solución con base a los gramos de Biogib para cada tratamiento propuestos en el Cuadro 3 y luego simultáneamente se depositaron 140 semillas para cada tratamiento (tratamientos 5, 6 y 7), se dejaron en inmersión por una hora y luego fueron retiradas las semillas de la solución.

C. Siembra de la semilla en los recipientes plásticos

Por separado se cernió un costal de arena de río y un costal de tierra del lugar en un cernidor de 5 milímetros. Luego se procedió a hacer una mezcla de los dos materiales, colocando una palada de arena de río y una palada de tierra del lugar a fin de lograr una mezcla homogénea. A la mezcla de arena de río y tierra del lugar se le desinfectó con Benomyl a razón de 4 gramos por litro y posteriormente se depositó en cada una de los 28 recipientes plásticos.

Los recipientes plásticos se distribuyeron sobre unas tablas de acuerdo a como se ilustra en la Figura 11A, se identificaron con marcador permanente indicando el número de tratamiento y repetición a que correspondían.

En cada recipiente plástico se colocaron 35 semillas de pejibaye previamente tratadas según correspondió a cada tratamiento y repetición. Las semillas se colocaron a una profundidad de un centímetro bajo la superficie. Una vez colocadas todas las semillas en los 28 recipientes plásticos se procedió a realizar un riego por medio de un aspersor de mano. Luego se procedió a tapar el experimento con nylon de polietileno incluyendo los bordes de la madera que sostenían los recipientes plásticos.

D. Monitoreo de la humedad del sustrato

Durante la primera semana se revisó diariamente la humedad del sustrato, estableciendo que era necesario aplicar agua por medio del aspersor manual cada cuatro días. Luego se estandarizó la aplicación de agua y esta actividad se realizó cada lunes y viernes durante los tres meses que duró el experimento.

6.8 TOMA Y REGISTRO DE DATOS

El porcentaje de germinación se tomó a los 90 días después de la siembra de las semillas para lo cual se contó el número de semillas germinadas por unidad experimental, luego se transformó el dato a porcentaje multiplicando el número de semillas germinadas por 100 y dividiendo el resultado entre 35.

Para el peso fresco de la raíz se cortó las raíces de cada plántula desde su base y luego se pesó en una balanza analítica con precisión de diez milésima de gramo.

Los valores de porcentaje de germinación así como del peso fresco de raíz promedio se anotaron en un formato como el del Cuadro 4.

Cuadro 4. Formato para el registro de datos de porcentaje de germinación y peso fresco de raíz de pejobaye a los 90 días después de la siembra.

Tratamientos	Porcentaje de germinación				Peso fresco de la raíz en miligramos			
	1	2	3	4	1	2	3	4
T1 = 0 ppm AG ₃ a 40 °C								
T2 = 150 ppm AG ₃ a 40 °C								
T3 = 300 ppm AG ₃ a 40 °C								
T4 = 500 ppm AG ₃ a 40 °C								
T5 = 0 ppm AG ₃ T° ambiente								
T6 = 150 ppm AG ₃ T° ambiente								
T7 = 300 ppm AG ₃ T° ambiente								

6.9 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.9.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos de los 7 tratamientos obtenidos de ambas variables de respuesta (porcentaje de germinación y peso fresco promedio de raíces por plántula) fueron sometidos en SAS a la prueba de Shapiro Wilks, encontrando que los datos de las dos variables de respuesta no se ajustan a una distribución normal, puesto que el $Pr < W$ fue menor a 0.05 en ambos casos (Cuadro 5, anexo 2).

Luego se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis a la variable de respuesta porcentaje de germinación y sus resultados indican que estadísticamente es igual a que no germine ninguna semilla ($R_i = 10$) a que germine el 10.71 % de las mismas ($R_i = 12.5$); este resultado se debe al ordenamiento jerárquico de los datos que acerca los R_i de estos tratamientos con lo cual se pierde la objetividad desde el punto de vista agronómico (anexo 3).

Se revisó los datos originales de campo, distinguiendo que en los tratamientos del 1 al 4 se tiene un total de 16 valores de cero (datos atípicos), lo cual representa más del 55 % del total de la información, y que es debido a esto que las dos variables de respuesta no se ajustan a una distribución normal. Considerando que éstos primeros cuatro tratamientos (donde el porcentaje de germinación fue cero) están influenciados por una temperatura de 40 °C y que los restantes tres tratamientos (donde si se obtuvo respuesta a la germinación) están influenciados por una temperatura de ± 18 °C, se procedió a dividir el análisis en dos grupos. Para el primer grupo (tratamientos del 1 al 4), se establecieron las probables causas de la ausencia de respuesta a la germinación y para el segundo grupo (tratamientos del 5 al 7) los datos fueron sometidos nuevamente a la prueba de Shapiro Wilks, encontrando que $Pr < W$ es mayor a 0.05 para las dos variables de respuesta (Cuadro 5, anexo 4), por lo tanto si se ajustan a una distribución normal y se confirma que los primeros cuatro tratamientos (con valores atípicos de cero) eran los causantes de la no normalidad (anexo 4).

Se realizó el análisis de varianza estándar (estadística paramétrica) para las dos variables de respuesta del segundo grupo que incluye tres tratamientos (T5, T6 y T7), luego habiéndose presentado diferencias estadísticas al cinco por ciento de significancia se procedió a realizar la prueba múltiple de medias de Tukey para cada variable de respuesta.

6.9.2 ANÁLISIS DE COSTOS

Para los tratamientos donde hubo respuesta a la germinación (T5, T6 y T7), se procedió a calcular el costo unitario por plántula de pejibaye, considerando los porcentajes de germinación obtenidos en cada tratamiento, a fin de satisfacer la demanda para establecer una hectárea de cultivo con distanciamientos de siembra de 2 m entre calles y 1.25 m entre plantas (densidad de 4,000 plantas por hectárea).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 DATOS DE CAMPO OBTENIDOS PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA

En el Cuadro 5, se presentan los valores obtenidos para cada una de las dos variables de respuesta por tratamiento y repetición.

Cuadro 5. Datos de campo obtenidos para las variables de respuesta, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005.

Tratamientos	Porcentaje de germinación				Peso fresco de la raíz en miligramos			
	1	2	3	4	1	2	3	4
T1 = 0 ppm AG ₃ a 40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0
T2 = 150 ppm AG ₃ a 40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0
T3 = 300 ppm AG ₃ a 40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0
T4 = 500 ppm AG ₃ a 40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0
T5 = 0 ppm AG ₃ T° ambiente	0	2.86 (1)	0	0	0	17.81	0	0
T6 = 150 ppm AG ₃ T° ambiente	11.43 (4)	8.57 (3)	14.29 (5)	8.57 (4)	30.28	16.70	23.40	25.22
T7 = 300 ppm AG ₃ T° ambiente	40.00 (14)	31.43 (11)	37.14 (13)	34.29 (12)	74.60	78.85	71.64	83.60
Prueba de normalidad con los 7 tratamientos	W Normal = 0.829; Pr<W = 0.0002 Distribución No Normal				W Normal = 0.788 Pr<W = 0.0001 Distribución No Normal			
Prueba de normalidad con los tratamientos 5, 6 y 7.	W Normal = 0.966; Pr<W = 0.8121 Distribución Normal				W Normal = 0.905; Pr<W = 0.1758 Distribución Normal			

En el Cuadro 5, para la variable de respuesta porcentaje de germinación, los datos entre paréntesis corresponden a la cantidad de semillas germinadas por unidad experimental de las 35 sembradas y los datos fuera del paréntesis es el valor expresado en porcentaje.

7.1.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA DE LA SOLUCIÓN SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE PEJIBAYE

Como se aprecia según los resultados obtenidos, cuando se trató la semilla con ácido giberélico (T2, T3, T4) o sin ácido giberélico (T1) sumergiendo la misma por una hora en la solución a una temperatura de 40 grados centígrados, ninguna semilla de pejibaye germinó, en tanto que al sumergir las semillas por una hora en la solución a temperatura ambiente (± 18 °C) con ácido giberélico (T6 y T7) o sin ácido giberélico (T5), las semillas de pejibaye germinaron en distintos porcentajes. Lo anterior demuestra que temperaturas de 40 °C aplicadas por una hora a las semillas de pejibaye en lugar de promover la germinación, inhiben ésta, debido probablemente a la muerte del embrión por efecto de la temperatura.

Ya en 1991 en Costa Rica Villalobos y Herrera (27), demostraron que temperaturas de 40 °C aplicadas durante 96 horas en forma alterna (48 horas continuas en la primera semana y 48 horas continuas en la segunda semana) evitaban la germinación de las semillas; sin embargo, no evaluaron periodos de exposición más cortos como el de una hora de exposición que se evaluó en la presente investigación. En tal sentido queda confirmado que la temperatura de 40 °C, aunque sea aplicada brevemente (una hora) a las semillas de pejíbaye provoca la muerte del embrión.

7.1.2 PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS

Los datos de las variables de respuesta porcentaje de germinación y peso fresco de la raíz de pejíbaye en miligramos fueron sometidos a una prueba de normalidad en el programa estadístico SAS. Al considerar los 7 tratamientos para el análisis estadístico resultó que la $Pr<W$ es de 0.0002 y 0.0001 con una W normal de 0.829 y 0.788 (Cuadro 5 y Anexo 2) para las variables de respuesta porcentaje de germinación y peso fresco de la raíz en miligramos respectivamente, lo cual indica que los valores no se ajustan a una distribución normal puesto que $Pr<W$ no es mayor a 0.05. El hecho de que los datos de las variables de respuesta no se ajusten a una distribución aproximadamente normal probablemente se debe a que entre los tratamientos 1 al 4 se presenta un total de 16 valores de cero "0" (por no existir respuesta a la germinación de las semillas de pejíbaye), lo cual representa mas del 55 % del total de valores esperados.

En este punto es obvio que correspondería realizar un análisis no paramétrico de la información a través de la prueba de Kruskal Wallis; sin embargo, al analizar la información del Cuadro 5, se aprecia que los tratamientos donde el valor fue de cero por ciento de germinación se encuentran igualmente afectados por el denominador común de que fueron expuestos por una hora en solución a temperatura de 40 °C. En tal sentido, ante la ausencia de valores positivos en los primeros cuatro tratamientos (ausencia de germinación), se procedió a realizar la prueba de normalidad únicamente a los tratamientos 5, 6 y 7, (que no son afectados por la temperatura de 40 °C) dando para las variables de respuesta porcentaje de germinación y peso fresco de la raíz en miligramos valores de $Pr<W$ de 0.8121 y 0.1758, W normal de 0.966 y 0.905 respectivamente (Cuadro 5 y anexo 4), por lo tanto para ambas variables de respuesta los datos se ajustan a una distribución normal puesto que la $Pr<W$ es mayor a 0.05 y se corrobora el hecho de que los 16 valores de cero en los tratamientos 1 al 4 son los que hacen que no se ajusten a una distribución normal.

Por lo tanto, el análisis de varianza se realizó para los tratamientos 5, 6 y 7 con una distribución completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones, empleando estadística paramétrica a fin de

facilitar el análisis estadístico, pero más importante aún, realizar una interpretación directa de las variables de respuesta con los datos originales (porcentaje de germinación y peso de raíz en miligramos).

7.2 PORCENTAJE DE GERMINACIÓN A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA

En el Cuadro 6 se presenta el resumen del análisis de varianza para la variable de respuesta porcentaje de germinación de los tratamientos 5, 6 y 7 (semillas sumergidas en solución a temperatura ambiente ± 18 °C).

Cuadro 6. Resumen del ANDEVA para la variable de respuesta porcentaje de germinación de semillas de pejibaye, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F _{t05}	Signi
Tratamiento	2	2600	1300	168.617647	4.26	*
Error	9	69.388	7.70975057			
Total	11	2669.388				

C.V. %= 17.67

Como se aprecia en el Cuadro 6, la F calculada (168.61) es mayor que la F de tabla (4.25), a un nivel de significancia del cinco por ciento, lo cual indica que en al menos uno de los tratamientos se obtiene un porcentaje de germinación diferente a los otros, por lo que se procedió a realizar la prueba múltiple de medias de Tukey al cinco por ciento de significancia para conocer la posición de los tratamientos (Figura 6).

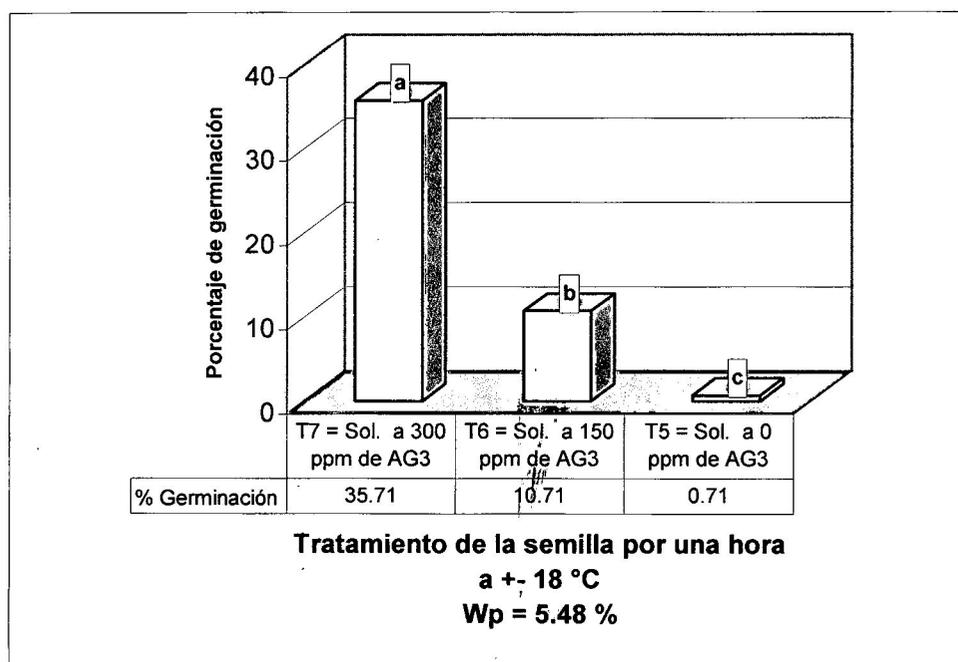


Figura 6. Porcentaje de germinación de semillas de pejibaye a los 90 días después de la siembra, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005.

Como se aprecia en la Figura 6, el mayor porcentaje de germinación se obtuvo cuando se sumergieron las semillas de pejibaye por una hora en solución a temperatura ambiente ($\pm 18\text{ }^{\circ}\text{C}$) con 300 partes por millón de ácido giberélico, obteniendo 35.71 por ciento de semillas germinadas, el segundo lugar se obtuvo cuando se trató la semilla con solución de ácido giberélico a 150 ppm durante una hora a temperatura ambiente ($\pm 18\text{ }^{\circ}\text{C}$) obteniendo 10.71 % de semillas germinadas y el último lugar se obtuvo cuando las semillas de pejibaye, previo a la siembra se sumergieron por una hora en agua destilada a temperatura ambiente sin la adición de ácido giberélico.

Con lo expresado en el párrafo anterior, se deduce que el ácido giberélico actuó induciendo la síntesis de α -amilasa en las semillas de pejibaye, la cual posteriormente en el endospermo facilitó la conversión del almidón en azúcar y fue translocado a los puntos de crecimiento del embrión para producir energía para el crecimiento.

7.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE GERMINACIÓN

A los 65 días después de la siembra, en las unidades experimentales del tratamiento 7 (300 ppm de AG_3) empezaron a emerger algunas plúmulas de las semillas de pejibaye (Figura 7), en tanto que en el tratamiento 6 (150 ppm de AG_3) se empezaron a observar las primeras plúmulas a los 73 días después de la siembra y en el tratamiento 5 (0 ppm de AG_3), donde solo germinó una semilla de pejibaye en la repetición 2, se observó la emergencia de la plúmula a los 76 días después de la siembra. La lectura de los datos de las variables de respuesta se realizó para todos los tratamientos a los 90 días después de la siembra.



Figura 7. Inicio de la emergencia de plúmulas de semillas de pejibaye en el tratamiento 7 (repetición 3) captada a los 69 días después de la siembra, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005.

En términos generales durante la emergencia de la plántula se observaron los siguientes cambios: la plúmula emergida sobre la superficie del sustrato presentó un color blanquecino en la base y rosado pálido en el extremo apical (Figura 8 a), luego del extremo apical de la plúmula emergió la primera hoja verdadera de color verde pálido (Figura 8 b), la cual se encontraba enrollada hacia el envés de la misma y con el transcurrir de los días se abrió completamente mostrando una coloración verde intenso (Figura 8 c).

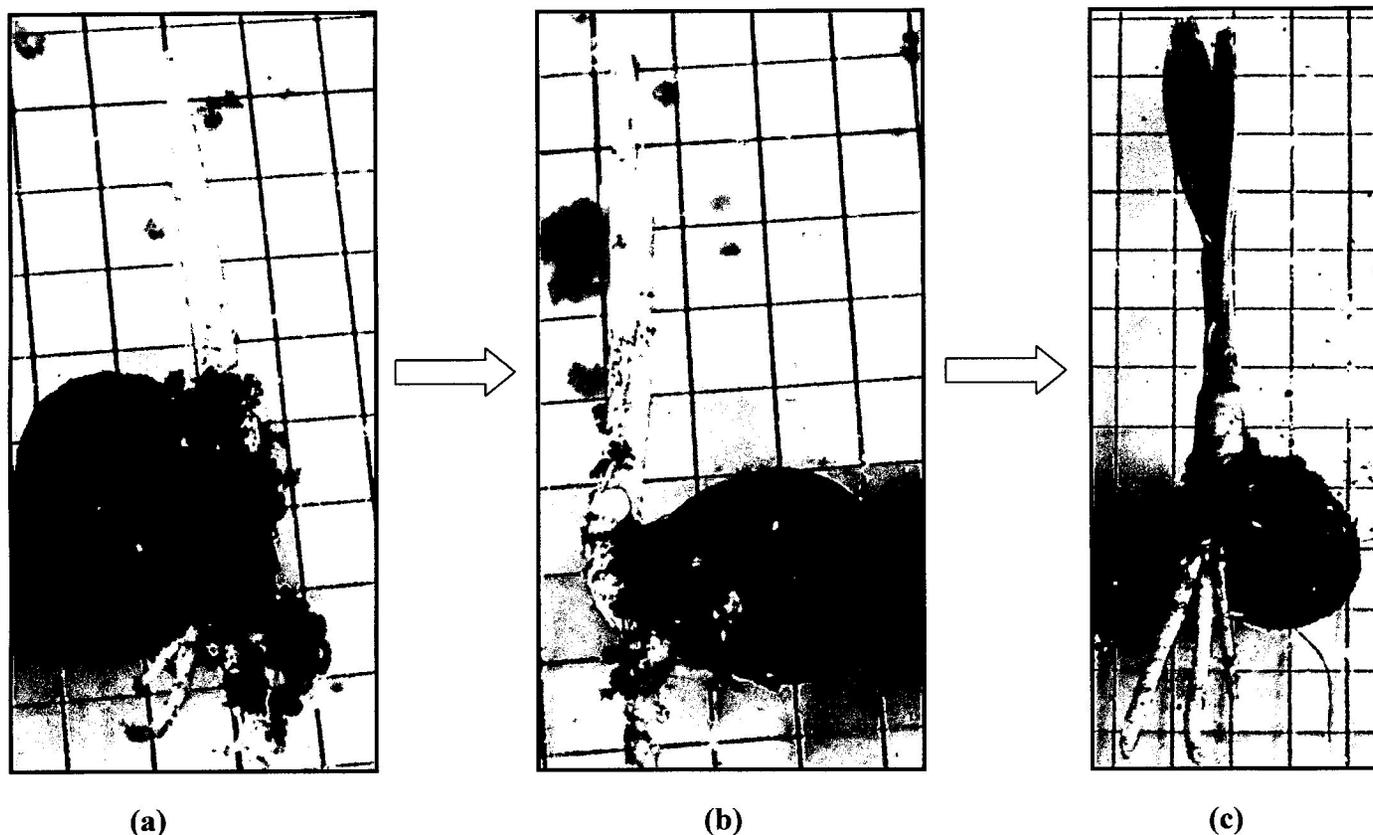


Figura 8. Cambios morfológicos en peyibaye desde la emergencia de la plúmula hasta la formación de hojas, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005.

7.3 PESO FRESCO DE LA RAÍZ DE PEJIBAYE

En el Cuadro 7, se presenta el resumen del análisis de varianza al cinco por ciento de significancia para la variable de respuesta peso fresco de la raíz de peyibaye en miligramos.

Cuadro 7. Resumen del ANDEVA para la variable de respuesta peso fresco de la raíz de pejibaye, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft ₀₅	Signi
Tratamiento	2	11339.1506	5669.57528	123.315096	4.26	*
Error	9	413.787	45.9763278			
T _{total}	11	11752.938				
C.V. %=		19.28				

El resumen del ANDEVA indica que la F calculada (123.31) es mayor que la F de tabla (4.26), por lo tanto el peso fresco de la raíz de pejibaye tomado a los 90 días después de la siembra no es estadísticamente igual entre los tratamientos al cinco por ciento de significancia. Para establecer que tratamiento ofreció el mayor peso fresco de raíz por plántula se presenta el resumen de la prueba múltiple de medias de Tukey en la Figura 9.

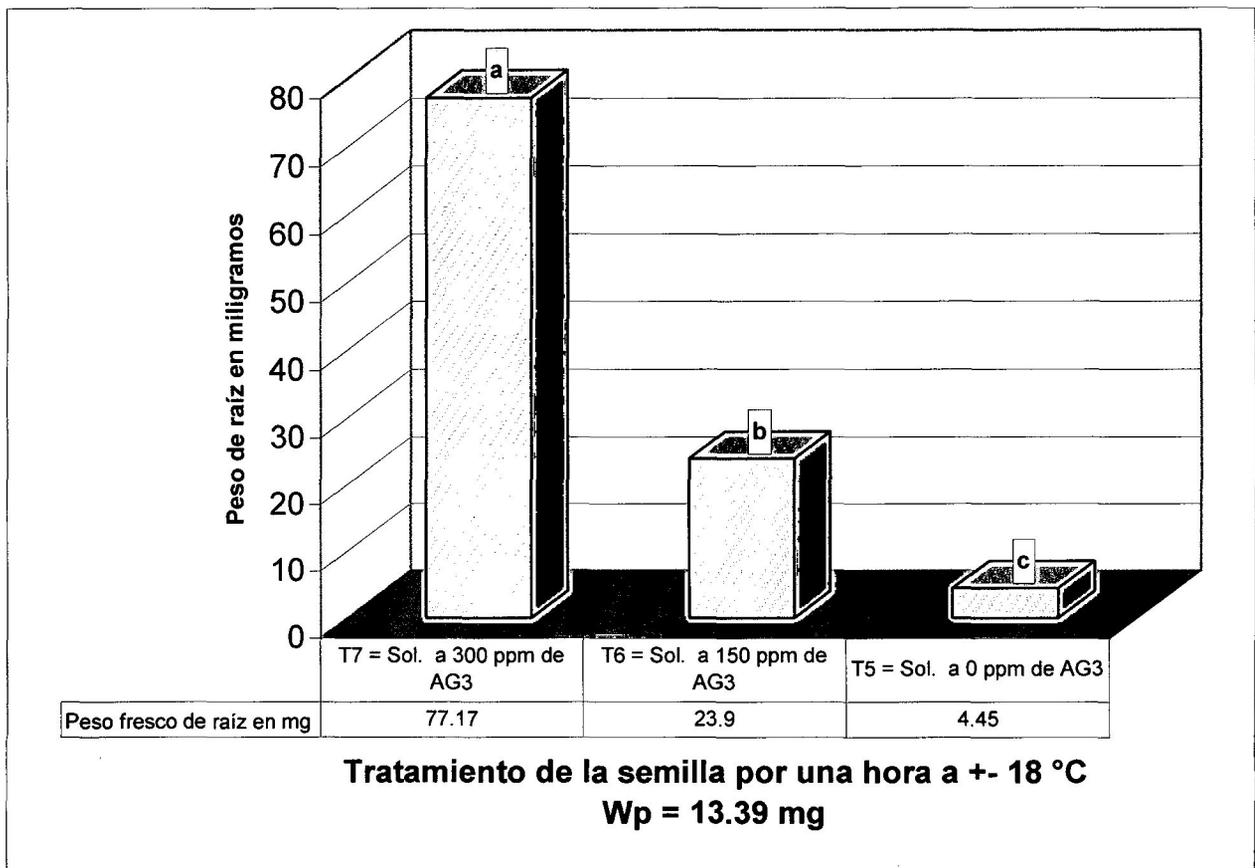


Figura 9. Peso fresco de la raíz de pejibaye en miligramos a los 90 días después de la siembra, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005.

Al tratar la semilla de pejibaye con ácido giberélico no solo se incrementó el porcentaje de germinación (Figura 6), sino que también se incrementó el peso promedio de la raíz, de tal forma que el

mayor peso promedio de raíz por plántula (77.17 mg) se obtuvo al sumergir las semillas de pejibaye por una hora en solución a temperatura ambiente con 300 ppm de ácido giberélico (tratamiento 7), el segundo lugar estadísticamente diferente al cinco por ciento de significancia fue de 23.9 mg y corresponde al tratamiento 6 donde se aplicó 150 ppm de ácido giberélico y el último lugar lo ocupó el tratamiento 5 donde no se aplicó ácido giberélico con un peso promedio de raíz de 4.45 mg por plántula. En el caso del tratamiento 5 es de considerar que solo se obtuvo una plántula en una repetición con un peso promedio de raíz de 17.81 mg y que los 4.45 mg corresponden al promedio de los cuatro tratamientos.

En la Figura 10 se comparan dos plántulas de pejibaye a los 90 días después de la siembra, para poder observar la conformación de las raíces en los tratamientos 6 y 7.

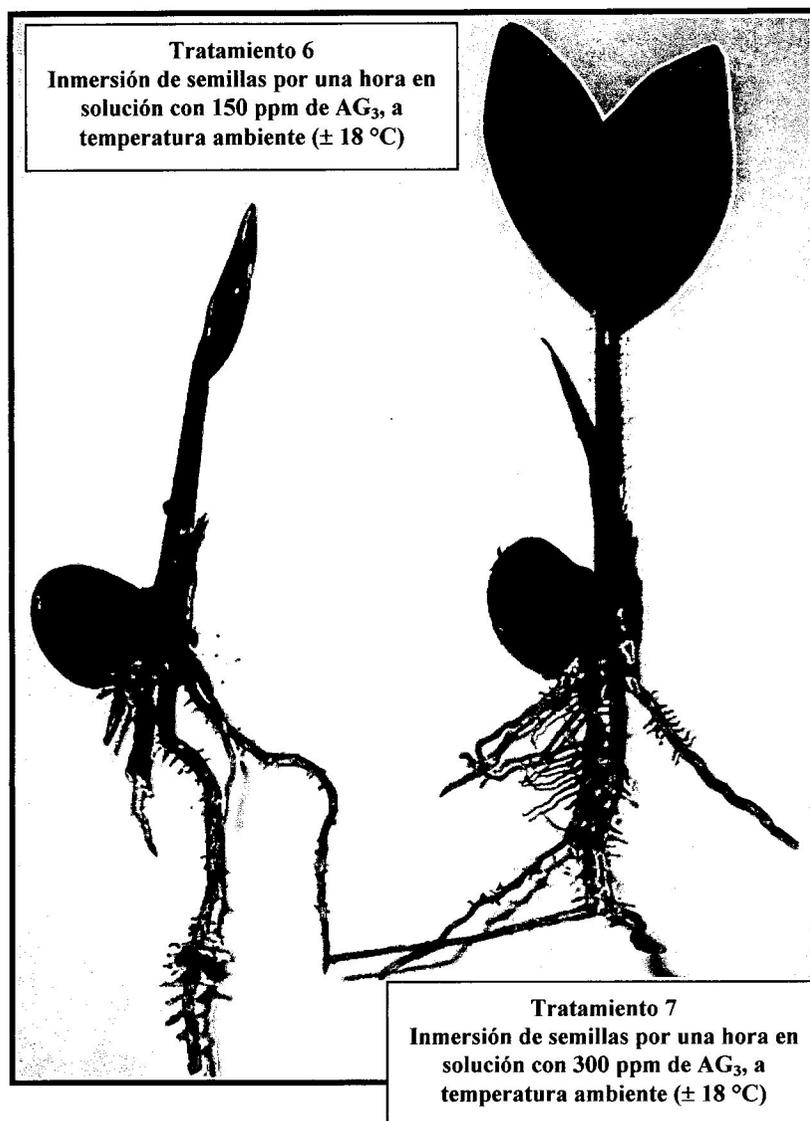


Figura 10. Conformación de raíces en plántulas de pejibaye tratadas con diferentes dosis de ácido giberélico, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005.

Como se aprecia en la Figura 10, a los 90 días después de la siembra de las semillas de pejibaye, se obtuvo mayor número de raíces así como de mayor grosor en las plántulas cuyas semillas previo a la siembra fueron tratadas con 300 ppm de ácido giberélico y por ende se obtuvo mayor peso fresco de raíces por plántula (Figura 9), que en las plántulas cuyas semillas fueron tratadas con 150 ppm de ácido giberélico, que presentaron menor cantidad de raíces y de menor grosor.

El hecho de que las semillas tratadas con ácido giberélico a 300 ppm presentaron mayor cantidad de raíces y de mayor grosor expresado en el peso de la materia fresca radical, que las semillas tratadas con 150 ppm se debe probablemente a la acción conjunta de los siguientes aspectos:

- Con 300 ppm de ácido giberélico la emergencia de la plúmula y radícula se inició 8 días antes (65 días después de la siembra) que en las tratadas con 150 ppm, porque se activó mayor cantidad y en menor tiempo la enzima α -amilasa, la cual es el punto de partida para la liberación de la energía necesaria para la activación de los puntos de crecimiento, lo que permitió ganar peso a las raíces durante éstos días.
- Por haber emergido 8 días antes la plúmula y posterior formación de la primera hoja, se inició antes el proceso fotosintético, con lo cual la plántula aparte del aporte de nutrientes provenientes del endospermo sumó los fotosintatos primarios provenientes de la fotosíntesis que se adicionaron para el crecimiento del sistema radical.

7.4 COSTO DE PRODUCCIÓN UNITARIO DE PLÁNTULAS DE PEJIBAYE

Para establecer el costo de producción unitario por plántula de pejibaye, se estableció como base satisfacer la necesidad de plantas requeridas para establecer una plantación de pejibaye sembradas a 2 metros entre surcos y 1.25 metros entre plantas, lo cual equivale a una densidad de 4,000 plantas por hectárea (26).

En tal sentido, se consideraron los porcentajes de germinación obtenidos en cada uno de los tratamientos a fin de satisfacer la densidad de siembra. Por ejemplo, en el tratamiento 5 (sin aplicación de ácido giberélico) se obtuvo un porcentaje de germinación promedio de 0.71, por lo que se necesita sembrar 563,381 semillas de pejibaye $[(4,000 \times 0.71) / (100)]$ para obtener 4,000 plantas germinadas. También se consideraron los costos variables en que se incurrió en cada tratamiento ya sea por la cantidad de semilla a manejar y/o por las características específicas de necesidad de insumos en cada tratamiento (Cuadro 8).

Cuadro 8. Costo unitario por plántula a los 90 días después de la siembra en cada uno de los tratamientos donde hubo respuesta a la germinación, finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, 2005.

DESCRIPCIÓN	Tratamiento 5: 0 ppm de AG ₃ 0.71 % de germinación			Tratamiento 6: 150 ppm de AG ₃ 10.71 % de germinación			Tratamiento 7: 300 ppm de AG ₃ 35.71 % de germinación		
	Unidades	Costo unitario	Costo total	Unidades	Costo unitario	Costo total	Unidades	Costo unitario	Costo total
Frutos para satisfacer densidad	563381	Q 0.25	Q 140,845.25	37349	Q 0.25	Q 9,337.25	11202	Q 0.25	Q 2,800.50
Despulpado de 3,000 frutos	187.8	Q 40.00	Q 7,511.75	12.4	Q 40.00	Q 497.99	3.7	Q 40.00	Q 149.36
Biogib para 200 semillas	0.0	Q -	Q -	186.7	Q 3.00	Q 560.24	56.0	Q 6.00	Q 336.06
Tratamiento de 3,500 semillas	0.0	Q -	Q -	10.7	Q 40.00	Q 426.85	3.2	Q 40.00	Q 128.02
Germinador de 1.5 m x 0.6 m para 750 semillas	751.2	Q 10.00	Q 7,511.75	49.8	Q 10.00	Q 497.99	14.9	Q 10.00	Q 149.36
Polietileno por germinador	751.2	Q 2.00	Q 1,502.35	49.8	Q 2.00	Q 99.60	14.9	Q 2.00	Q 29.87
Sustrato preparado y aplicado	751.2	Q 2.50	Q 1,877.94	49.8	Q 2.50	Q 124.50	14.9	Q 2.50	Q 37.34
Siembra por germinador	751.2	Q 2.50	Q 1,877.94	49.8	Q 2.50	Q 124.50	14.9	Q 2.50	Q 37.34
Riego por germinador/3 meses	751.2	Q 10.00	Q 7,511.75	49.8	Q 10.00	Q 497.99	14.9	Q 10.00	Q 149.36
Subtotal			Q 168,638.71			Q 12,166.88			Q 3,817.21
Administración (5 %)			Q 8,431.94			Q 608.34			Q 190.86
Costo total			Q 177,070.65			Q 12,775.23			Q 4,008.08
Costo unitario por plántula a los 3 meses después de la siembra			Q 44.27			Q 3.19			Q 1.00
Reducción porcentual de los costos respecto al testigo			100%			92.80%			97.75%
Reducción porcentual de los costos respecto al tratamiento 6						100%			68.57%

REFERENCIAS:

Costos de producción de pilones para una densidad en campo definitivo de 4,000 plantas por hectárea (2m x 1.25 m)

Costo del germinador Q. 50.00 con vida útil de 5 años

Costo del polietileno Q. 6.00 con vida útil de 3 años

5 minutos de riego por germinador 2 veces por semana (2 horas en tres meses)

30 minutos de preparación y aplicación de sustrato por germinador

30 minutos para sembrar cada germinador

Como se aprecia en el Cuadro 8, el menor costo de producción unitario por plántula de pejibaye se obtuvo cuando se sumergieron las semillas de pejibaye por una hora en solución de ácido giberélico a 300 partes por millón y temperatura ambiente de la solución ($\pm 18^\circ\text{C}$), siendo éste de Q. 1.00 por plántula; al sumergir las semillas de pejibaye en solución a 150 ppm de ácido giberélico el costo se triplica y es de Q. 3.19 por plántula y el mayor costo unitario de Q. 44.27 por plántula se obtiene cuando no se tratan las semillas con ácido giberélico.

Si se considera el costo unitario del tratamiento testigo (sin ácido giberélico) como el 100 por ciento, entonces al tratar las semillas con 150 ppm de ácido giberélico se obtiene una reducción en los costos del 92.80 por ciento y al tratarlas con 300 ppm de ácido giberélico se obtiene una reducción en los costos del 97.75 por ciento.

Por lo tanto, el empleo de ácido giberélico a 300 ppm para tratar las semillas de pejibaye previo a la siembra como estimulante de la germinación, aunque ofrezca relativamente un bajo porcentaje de germinación (35.71 por ciento), bajo las condiciones actuales de producción es importante porque reduce notablemente los costos de producción.

8. CONCLUSIONES

- 8.1 Al sumergir las semillas de pejibaye, previo a la siembra, por una hora en solución a 40 °C con ácido giberélico a 0, 150, 300 y 500 partes por millón, la semilla pierde su viabilidad debido que ésta temperatura provoca la muerte del embrión, siendo el porcentaje de germinación de cero.
- 8.2 De las tres concentraciones de ácido giberélico empleadas (0, 150 y 300 ppm) para sumergir la semilla de pejibaye por una hora previo a la siembra, a una temperatura de la solución de ± 18 ° C (temperatura ambiente), la que presenta el mayor porcentaje de germinación es la de 300 ppm con 35.71 por ciento de las semillas germinadas a los 90 días después de la siembra.
- 8.3 El mayor peso fresco de raíz por plántula de pejibaye a los 90 días después de la siembra, se obtuvo al sumergir las semillas por una hora en solución a temperatura ambiente (± 18 °C) con 300 ppm de ácido giberélico.
- 8.4 El menor costo de producción por plántula de pejibaye es de Q. 1.00 (un quetzal) el cual se obtiene al alcanzar un 35.71 por ciento de germinación, producto de sumergir las semillas de pejibaye, previo a la siembra, por una hora en solución a temperatura ambiente (± 18 °C) con 300 ppm de ácido giberélico.

9. RECOMENDACIONES

- 9.1 De acuerdo a los resultados de la presente investigación y a los actuales porcentajes de germinación alcanzados por los agricultores guatemaltecos al propagar la semilla de pejibaye en sacos plásticos, se recomienda como una alternativa transitoria, propagar la semilla de pejibaye, tratándola por una hora en solución a temperatura ambiente (± 18 °C) con concentración de 300 partes por millón de ácido giberélico, ya que de esta forma se tiene un 35.71 por ciento de germinación con un costo por plántula de un quetzal, lo cual representa una reducción en los costos actuales del 97.5 por ciento (Q. 44.27 por plántula).
- 9.2 Se recomienda que se evalúe el ácido giberélico, para la germinación de semillas de pejibaye, en dosis superiores a las 300 ppm, pudiendo llegar hasta las 3,000 ppm a fin de establecer hasta que punto éste regulador del crecimiento puede favorecer la germinación de esta especie.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Almeida, N; Martín, F. 1981. The pejibaye. *In* US Department of Agriculture. Cultivation of neglected tropical fruits with promise. US. 10 p.
2. Arbona, R; Santos, B. 2000. La estadística no paramétrica para el análisis e interpretación de estudios de plagas: alternativas al análisis de varianza. Santo Domingo, República Dominicana, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. 25 p.
3. Arroyo-Oquendo, C; Mora-Urpí, J. 1999. Almacigos de pejibaye. *In* Palmito de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) su cultivo e industrialización. Ed. por J. Mora-Urpí; J. Gainza. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 98 p.
4. Bewley, J; Black, M. 1982. Physiology and biochemistry of seeds: II. viability, dormancy and environmental control. New York, Springer-Verlag. p. 9-12, 170-253.
5. Bewley, J; Black, M. 1982. Seeds, physiology of development and germination. New York, Plenum Press. p. 10-186.
6. Camacho, E. 1976. El pejibaye (*Guilielma gasipaes* (H.B.K.) Bailey). Simposio Inter. sobre plantas de interés económico de la flora Amazónica. Turrialba, Costa Rica, p. 101-106. (Cursos y Reuniones no. 93).
7. Cappa Rosales, EO. 2001. Situación actual y propuesta de manejo del bosque natural latifoliado de la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 90 p.
8. Cruz, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, basada en el sistema de Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
9. Chin, HF; Roberts, EH. 1980. Recalcitrant crop seeds. Kuala Lumpur, Malasya, Tropical Press. 152 p.
10. España Morales, HE. 2004. Informe de proyectos realizados en el 2004 en el Centro de Agricultura Tropical Bulbuxyá: almacigo de pejibaye *Bactris gasipaes* Kunth. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 4 p. Sin publicar.
11. Estudio de mercado de exportación para productos industrializados prioritarios del trópico de Cochabamba y garantía de inversiones. 2001. Bolivia, Unidad de Comercio Exterior. s.p.
12. Hartman, HT; Kester, EE. 1997. Plant propagation: principles and practices. 6 ed. Englewood Cliffs, NJ, US, Prentice Hall. 865 p.
13. León Cifuentes, W De; Sierra Izaguirre, A. 1998. El cultivo de pejibaye *Bactris gasipaes* Kunth. Revista Agricultura no. 6:26-29.

14. Mattos-Silva, L. 1992. Diferenciación taxonómica de diez razas de pejibaye cultivado (*Bactris (Guilielma) gasipaes* K.) y su relación con otras especies de *Bactris*. Tesis Ing. Agr. Costa Rica, Universidad de Costa Rica. s.p.
15. Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. México, Iberoamericana. p. 108-114.
16. Mora, J. 1979. Método práctico para la germinación de semillas de pejibaye. ASBANA 3 (10):14-15.
17. Mora-Urpí, J. 1993. Diversidad genética del pejibaye II: origen y evolución. In Congreso Internacional sobre Biología, Agronomía e Industrialización del Pijuayo (4., 1993, CR). Iquitos, San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. s.p.
18. Morales Cayax, MA. 1990. Diagnóstico del recurso hídrico de la Unidad Docente Productiva Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla. Diagnóstico EPSA. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 73 p.
19. Obiols del Cid, R. 1975. Mapa climatológico preliminar de la república de Guatemala: según el sistema Thornthwaite. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional. Esc. 1:1,000,000. Color.
20. Perdomo, E. 1986. Estudio de la génesis, morfología, propiedades físicas, químicas, mineralógicas y cartografía de suelos de la finca Sabana Grande, Escuintla. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 73 p.
21. Rojas Garcidueñas, M. 1979. Fisiología vegetal aplicada. 2 ed. México, McGraw-Hill. 465 p.
22. SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación Económica, GT); INDE (Instituto Nacional de Electrificación, GT); INAFOR (Instituto Nacional Forestal, GT). 1970. Mapa geológico de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000. Color.
23. Simmons, CH; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación y reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José Pineda de Ibarra. 1,000 p.
24. Vásquez, F. 2001. Prácticas de laboratorio para determinar la calidad de semillas. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Sub-área de Manejo y Mejoramiento de Plantas. 26 p.
25. Velasco, A. 1983. Conferencia sobre el chontaduro. Cali, Colombia, Secretaría de Agricultura y Fomento del Valle, Sección Divulgación y Publicaciones. 8 p.
26. Villachica, H. 1996. Cultivo de pijuayo *Bactris gasipaes Kunth* para palmito en la Amazonía. Lima, Perú, Secretaría Pro-Tempore. 28 p.
27. Villalobos, R; Herrera, J; Mora-Urpí, J. 1992. Germinación de la semilla de pejibaye *Bactris gasipaes* Kunth: efecto del contenido de agua y de las condiciones de almacenamiento. Costa Rica. 52 p.
28. Villalobos, R; Herrera, J; Guevara, E. 1992. Germinación de la semilla de pejibaye *Bactris gasipaes*: ruptura del reposo. Agronomía Costarricense 16(1):16-68.

- 29. Viscarra Morales, AL. 2002. La cadena productiva del palmito. Bolivia, s.e. 59 p. 1 CD.
- 30. Weaber, RJ. 1987. Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura. México, Trillas. 622 p.



30. Rolando Barrios.



11. ANEXOS

Anexo 1. Distribución de los tratamientos en el campo

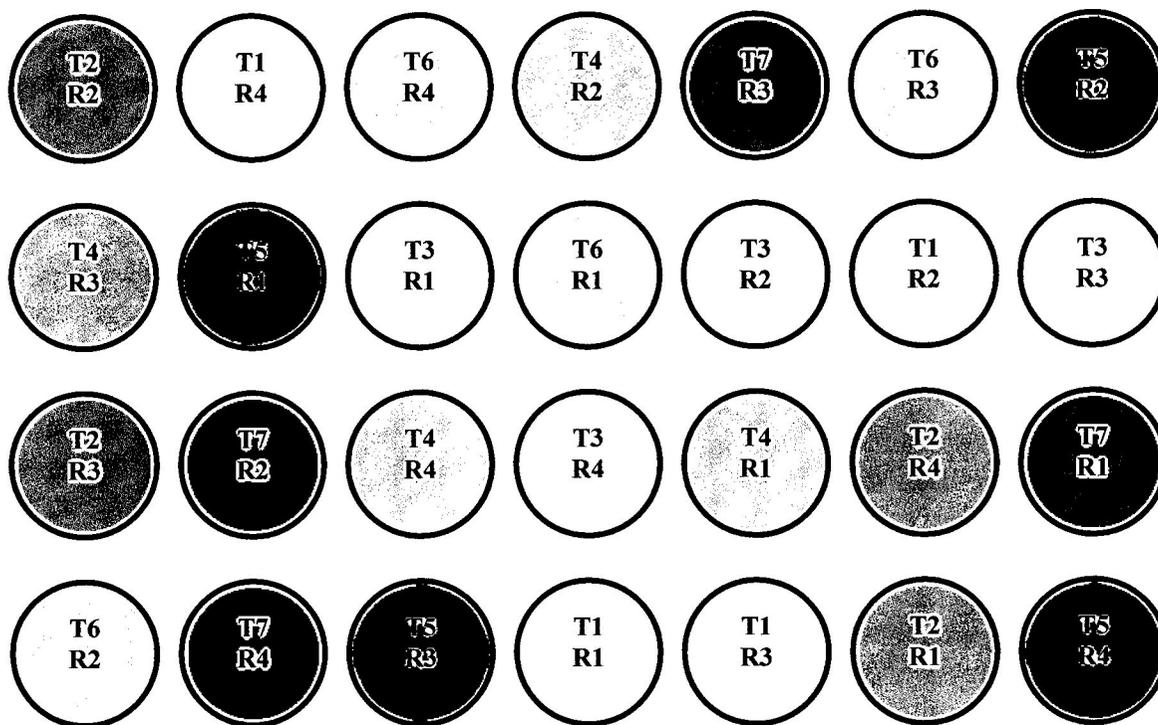


Figura 11A. Distribución de los tratamientos en el campo

Anexo 2. Prueba de normalidad para los 7 tratamientos.**Entrada de datos en SAS para el porcentaje de germinación (siete tratamientos)**

```
OPTIONS NODATE;
DATA KIL;
INPUT TRAT GERM;
CARDS;
1      0
1      0
1      0
1      0
2      0
2      0
2      0
2      0
3      0
3      0
3      0
3      0
4      0
4      0
4      0
4      0
5      0
5      2.86
5      0
5      0
6      11.43
6      8.57
6      14.29
6      8.57
7      40
7      31.43
7      37.14
7      34.29
PROC GLM;
CLASS TRAT;
MODEL GERM=TRAT;
OUTPUT OUT=RES R=RGERM;
RUN;
PROC PRINT DATA=RES;
RUN;
PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=RES;
VAR RGERM;
RUN;
```


Continuación de Anexo 2.

Entrada de datos en SAS para peso fresco de raíz por plántula (siete tratamientos)

```
OPTIONS NODATE;
DATA KIL;
INPUT TRAT PESO;
CARDS;
1      0
1      0
1      0
1      0
2      0
2      0
2      0
2      0
3      0
3      0
3      0
3      0
4      0
4      0
4      0
4      0
5      0
5      17.81

5      0
5      0
6      30.28
6      16.70
6      23.40
6      25.22
7      74.60
7      78.85
7      71.64
7      83.60

PROC GLM;
CLASS TRAT;
MODEL PESO=TRAT;
OUTPUT OUT=RES R=RPESO;
RUN;
PROC PRINT DATA=RES;
RUN;
PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=RES;
VAR RPESO;
RUN;
```

Continuación Anexo 2.

Salida de SAS para peso fresco de raíz por plántula (7 tratamientos)

The SAS System General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
TRAT	7	1 2 3 4 5 6 7

Number of observations in data set = 28

Univariate Procedure

Variable=RPESO

Moments

Quantiles(Def=5)

N	28	Sum Wgts	28	100% Max	13.3575	99%	13.3575
Mean	0	Sum	0	75% Q3	0	95%	6.4275
Std Dev	3.914772	Variance	15.32544	50% Med	0	90%	6.38
Skewness	1.390121	Kurtosis	4.526259	25% Q1	-0.25	10%	-4.4525
USS	413.7869	CSS	413.7869	0% Min	-7.2	5%	-5.5325
CV	.	Std Mean	0.739822			1%	-7.2
T:Mean=0	0	Pr>|T|	1.0000	Range	20.5575		
Num ^= 0	12	Num > 0	5	Q3-Q1	0.25		
M(Sign)	-1	Pr>=|M|	0.7744	Mode	0		
Sgn Rank	-3	Pr>=|S|	0.8501				
W:Normal	0.788786	Pr<W	0.0001				

Extremes

Lowest	Obs	Highest	Obs
-7.2(	22)	1.32(	24)
-5.5325(	27)	1.6775(	26)
-4.4525(	20)	6.38(	21)
-4.4525(	19)	6.4275(	28)
-4.4525(	17)	13.3575(	18)

Stem Leaf	#	Boxplot
12 4	1	*
10		
8		
6 44	2	*
4		
2		
0 000000000000000037	18	+--*--+
-0 5	1	+-----+
-2 6	1	*
-4 5555	4	*
-6 2	1	*

-----+-----+-----+-----+

Anexo 3. Prueba de Kruskal-Wallis para la variable de respuesta porcentaje de germinación.

Ordenamiento jerárquico de los datos.

	Y _{ij}	Orden ascendente	R _{ij}
T1R1	0	1	10
T1R2	0	2	10
T1R3	0	3	10
T1R4	0	4	10
T2R1	0	5	10
T2R2	0	6	10
T2R3	0	7	10
T2R4	0	8	10
T3R1	0	9	10
T3R2	0	10	10
T3R3	0	11	10
T3R4	0	12	10
T4R1	0	13	10
T4R2	0	14	10
T4R3	0	15	10
T4R4	0	16	10
T5R1	0	17	10
T5R2	2.86	20	20
T5R3	0	18	10
T5R4	0	19	10
T6R1	11.43	23	23
T6R2	8.57	21	21.5
T6R3	14.29	24	24
T6R4	8.57	22	21.5
T7R1	40	28	28
T7R2	31.43	25	25
T7R3	37.14	27	27
T7R4	34.29	26	26

Continuación Anexo 3.

Prueba de Kruskal-Wallis Porcentaje de germinación						
Tratamiento	1	2	3	4	Ri.	Ri. Medio
T1	10	10	10	10	40	10
T2	10	10	10	10	40	10
T3	10	10	10	10	40	10
T4	10	10	10	10	40	10
T5	10	20	10	10	50	12.5
T6	23	21.5	24	21.5	90	22.5
T7	28	25	27	26	106	26.5

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} R_{ij}^2 - \frac{N(N+1)^2}{4} \right]$$

$$H = \frac{1}{S^2} \left[\sum_{i=1}^a \frac{Ri.^2}{ni} - \frac{N(N+1)^2}{4} \right]$$

S ² =	46.537037	H =	25.1842419 es mayor que H > X ² _{05, a-1} = 12.59
Por lo tanto al menos un par de tratamientos es distinto			

$\frac{1}{N-1}$	0.03703704	$\frac{1}{S^2}$	0.02148826
$\left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} R_{ij}^2 \right]$	7143.5	$\left[\sum_{i=1}^a \frac{Ri.^2}{ni} \right]$	7059
$\left[\sum \frac{N(N+1)^2}{4} \right]$	5887	$\left[\sum \frac{N(N+1)^2}{4} \right]$	5887

CD	13.92504284	Según la prueba de KRUSKAL-WALLIS	
Comparación	Ri.med	Solo existe diferencia significativa entre:	
T7-T4	16.5 (*)	Obtener un 35.71 % de germinación y no obtener germinación alguna	
T7-T5	14 (*)	Obtener un 35.71 % de germinación respecto a un 0.71 %	
T7-T6	4		
T6-T5	10	LA RESPUESTA ERRÓNEA DE KRUSKAL-WALLIS DESDE EL PUNTO DE VISTA AGRONÓMICO	
T5-T4	2.5		
T6-T4	12.5	Es igual que no germine ninguna semilla a que germine el 10.71 por ciento	
Considerando la apreciación que se obtiene con Kruskal-Wallis respecto al porcentaje de germinación y que bajo criterio agronómico se puede interpretar la ausencia de germinación en los tratamientos 1 al 4 debido a la muerte del embrión por efecto de la temperatura de 40 °C aunado a que se pueden obtener dos grupos para análisis considerando a la temperatura como un factor excluyente, se procedió a realizar la prueba de normalidad de los datos para los tratamientos 5, 6 y 7 por separado a fin de trabajar con los tratamientos donde hubo respuesta a la germinación y de esta manera eliminar los valores atípicos (ceros) que ocasionan la no normalidad de la distribución.			

Anexo 4. Prueba de Normalidad y ANDEVA para los tratamientos 5, 6 y 7.**Entrada de datos en SAS para porcentaje de germinación (3 tratamientos)**

```
OPTIONS NODATE;
DATA KIL;
INPUT TRAT GERM;
CARDS;
5      0
5      2.86
5      0
5      0
6      11.43
6      8.57
6      14.29
6      8.57
7      40
7      31.43
7      37.14
7      34.29
PROC GLM;
CLASS TRAT;
MODEL GERM=TRAT;
MEANS TRAT/TUKEY;
OUTPUT OUT=RES R=RGERM;
RUN;
PROC PRINT DATA=RES;
RUN;
PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=RES;
VAR RGERM;
RUN;
```

Continuación Anexo 4.

Salida de SAS para el porcentaje de germinación (tratamientos 5, 6 y 7)

The SAS System

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class Levels Values

TRAT 3 5 6 7

Number of observations in data set = 12

The SAS System

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: GERM

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	2600.0000000	1300.0000000	168.56	0.0001
Error	9	69.41230000		7.71247778	
Corrected Total	11	2669.41230000			

R-Square

0.973997

C.V.

17.67187

Root MSE

2.77713481

GERM Mean

15.71500000

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	2600.0000000	1300.0000000	168.56	0.0001
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	2600.0000000	1300.0000000	168.56	0.0001

The SAS System

General Linear Models Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: GERM

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 9 MSE= 7.712478

Critical Value of Studentized Range= 3.948

Minimum Significant Difference= 5.4828

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	35.715	4	7
B	10.715	4	6
C	0.715	4	5

Continuación Anexo 4.**Entrada de datos en SAS para peso fresco de raíz por plántula (3 tratamientos)**

```
OPTIONS NODATE;
DATA KIL;
INPUT TRAT PESO;
CARDS;
5      0
5      17.81
5      0
5      0
6      30.28
6      16.70
6      23.40
6      25.22
7      74.60
7      78.85
7      71.64
7      83.60
PROC GLM;
CLASS TRAT;
MODEL PESO=TRAT;
MEANS TRAT/TUKEY;
OUTPUT OUT=RES R=RPESO;
RUN;
PROC PRINT DATA=RES;
RUN;
PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=RES;
VAR RPESO;
RUN;
```

Continuación Anexo 4.

Salida de SAS para el porcentaje de germinación (tratamientos 5, 6 y 7)

The SAS System

1

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
TRAT	3	5 6 7

Number of observations in data set = 12

The SAS System

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PESO

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	11339.15055000	5669.57527500	123.32	0.0001
Error	9	413.78695000	45.97632778		
Corrected Total	11	11752.93750000			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PESO Mean	
	0.964793	19.27672	6.78058462	35.17500000	

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	11339.15055000	5669.57527500	123.32	0.0001
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	11339.15055000	5669.57527500	123.32	0.0001

The SAS System

3

General Linear Models Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: PESO

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 9 MSE= 45.97633

Critical Value of Studentized Range= 3.948

Minimum Significant Difference= 13.387

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	77.173	4	7
B	23.900	4	6
C	4.453	4	5

Univariate Procedure

Variable=RPESO

Moments				Quantiles(Def=5)			
N	12	Sum Wgts	12	100% Max	13.3575	99%	13.3575
Mean	0	Sum	0	75% Q3	4.02875	95%	13.3575
Std Dev	6.13327	Variance	37.617	50% Med	-1.53625	90%	6.4275
Skewness	0.988698	Kurtosis	0.427269	25% Q1	-4.4525	10%	-5.5325
USS	413.787	CSS	413.787	0% Min	-7.2	5%	-7.2
CV	.	Std Mean	1.770522			1%	-7.2
T:Mean=0	0	Pr>|T|	1.0000	Range	20.5575		
Num ^= 0	12	Num > 0	5	Q3-Q1	8.48125		
M(Sign)	-1	Pr>=|M|	0.7744	Mode	-4.4525		
Sgn Rank	-3	Pr>=|S|	0.8501				
W:Normal	0.90505	Pr<W	0.1758				

Extremes

Lowest	Obs	Highest	Obs
-7.2(	6)	1.32(	8)
-5.5325(	11)	1.6775(	10)
-4.4525(	4)	6.38(	5)
-4.4525(	3)	6.4275(	12)
-4.4525(	1)	13.3575(	2)

Stem Leaf	#	Boxplot
1 3	1	|
0 66	2	|
0 12	2	+--+--+
-0 44430	5	*-----*
-0 76	2	|
-----+-----+-----+-----+		
Multiply Stem.Leaf by 10**+1		

ANEXO 5. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- AG₃:** La giberelina conocida como ácido giberélico.
- Dormancia:** Estado en el cual la semilla aunque se encuentre madura y las condiciones de su medio sean las propicias para su germinación ésta no germina. También se le conoce como letargo, reposo y latencia.
- Endospermo:** Parte de la semilla que sirve de reservorio de nutrientes almacenados a partir del cual se provee la energía necesaria para la germinación.
- Germinación:** Es el proceso de reactivación metabólica de la semilla y la emergencia de la radícula y la plúmula.
- Hormona:** Es una sustancia orgánica que se produce en bajas concentraciones en ciertas partes de la planta que generalmente es translocada a otros sitios, donde provoca respuestas bioquímicas, fisiológicas y/o morfológicas específicas promoviendo, inhibiendo o modificando cualitativamente el crecimiento. Las hormonas de las plantas se conocen como fitohormonas u hormonas vegetales.
- Regulador del Crecimiento:** Es un compuesto orgánico sintetizado en el laboratorio que tiene efectos similares a los causados por las hormonas vegetales.
- Totipotencia:** Propiedad de una célula de contener toda la información genética necesaria para reproducir la planta adulta e iniciar el ciclo de plántulas en la generación siguiente.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMIA -FAISA-
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS
 Y AMBIENTALES- IIA-



REF. Sem. 36/2005

LA TESIS TITULADA:

"EFECTO DEL ACIDO GIBERELICO AG₃,
 SOBRE LA GERMINACION DE SEMILLA DE
 PEJIBAYE *Batis gasipaes kunth*, EN FINCA
 SABANA GRANDE, EL RODEO,
 ESCUINTLA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE:

RAMIRO ARTURO MONTENEGRO
 VIELMAN

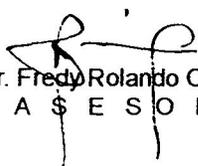
CARNE:

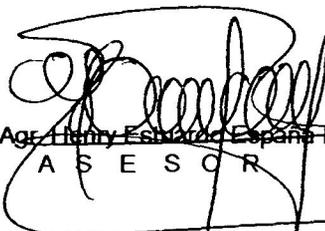
9117973

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES:

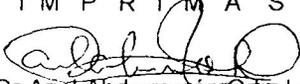
Ing. Agr. Domingo Amador Pérez
 Ing. Agr. Francisco Javier Vásquez Vásquez
 Ing. Agr. Juan Alberto Herrera
 Ing. Agr. José Vicente Martínez Arévalo

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.


 Ing. Agr. Fredy Rolando Ola Hernández
 ASESOR


 Ing. Agr. Henry Estelino España Morales
 ASESOR


 Dr. David Monterroso Salvatierra
 DIRECTOR DEL IIA

IMPRIMASE

 Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
 DECANO



DMS/nm
 c.c. Archivo
 IIA
 Control Académico