



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA Y DETERIORO DE SEMILLAS EN ALMACÉN
DE ACCESIONES DE PAPAYO (*Carica papaya* L.) NATIVAS DE MÉXICO**

JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO

2017

La presente tesis, titulada: **Calidad física y fisiológica y deterioro de semillas en almacén de accesiones de papayo (*Carica papaya* L.) nativas de México**, realizada por el alumno: **José Luis Hernández Hernández**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

AGROECOSISTEMAS TROPICALES

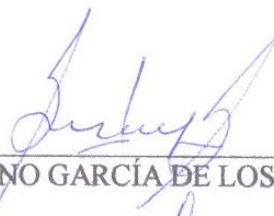
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. CATARINO ÁVILA RESÉNDIZ

ASESOR:



DR. GABINO GARCÍA DE LOS SANTOS

ASESORA:



DRA. ALEJANDRA SOTO ESTRADA

ASESOR:



DR. ELÍAS HERNÁNDEZ CASTRO

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, 21 de diciembre de 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme otorgado vida, salud, amor, amistad y trabajo, ya que fue la base principal para cumplir mis objetivos propuestos en mi proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico otorgado, el cual me permitió sustentar gastos generados en la Maestría.

Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, por haberme aceptado y formar parte de la comunidad, además de haberme otorgado todas las facilidades para emprender mi trabajo de investigación.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo del Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad - Producción de Semillas, por haber permitido llevar a cabo el estudio de semillas de papayo bajo condiciones de laboratorio y sobre todas las facilidades otorgadas para culminar con dicho proyecto de investigación.

Al Dr. Catarino Ávila Reséndiz, por la dirección de la investigación, profesionalismo, confianza, paciencia y palabras de aliento, que en todo momento me brindó.

Al Dr. Gabino García de los Santos, por el profesionalismo, confianza, paciencia, y apoyo incondicional durante el desarrollo de la investigación y escritura de este documento.

A la Dra. Alejandra Soto Estrada, por su confianza y sugerencias brindadas durante la investigación.

Al Dr. Elías Hernández Castro, por su confianza, paciencia y sugerencias brindadas durante la investigación.

Al M. C. Adrián Hernández Livera, por el apoyo técnico durante la conducción del experimento y confianza brindada para llevar a cabo mi experimento en el laboratorio del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

Al Dr. Javier Suarez Espinosa, por su invaluable apoyo en el análisis estadístico de datos y sugerencias que mejoraron la presentación de los resultados.

A Jorge Osvaldo López Anides, por el apoyo y facilidad de materiales en el laboratorio de semillas, Campus Montecillo. También, agradezco sinceramente a Ángel Huesca Sánchez por la extracción, lavado y conteo de semillas de papayo.

A Silvia Cervantes Sánchez por el apoyo moral y sobre todo por su amor, cariño y comprensión para lograr esta meta.

A María del Rosario Paredes Lara y Gregorio Hernández Salinas por sus motivaciones y experiencias compartidas durante esta etapa de mi vida profesional.

Agradezco sinceramente a Liliana Roció Aguirre y Rodrigo Flores Bautista por su apoyo incondicional.

A Claudia Delgadillo y Emigdio Morales por su apoyo moral y amistad brindada.

DEDICATORIA

A mi madre Santamartha Hernandez Cruz, por sus palabras de aliento que fueron la motivación para lograr diversos obstáculos experimentados en mi vida profesional.

A mis hermanos, Juan de Dios Hernández Hernández, Elochilt Hernández Hernández, Marlit Yuliana Hernández Cruz y a mi sobrino Rafael Hernández Estrada que siempre me escucharon y me apoyaron moralmente en momentos difíciles.

CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA Y DETERIORO DE SEMILLAS EN ALMACÉN DE ACCESIONES DE PAPAYO (*Carica papaya* L.) NATIVAS DE MÉXICO

José Luis Hernández Hernández, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

Se realizaron tres estudios con accesiones de semillas de *Carica papaya* L. procedentes de cinco Estados de México. En el primer experimento, mediante el software ImageJ se midieron las características físicas en semillas de 15 accesiones de polinización libre. Se determinó la calidad física y fisiológica en semillas de polinización libre y de polinización controlada. Con base al análisis multivariado, las características físicas de las semillas con mayor contribución a la variabilidad fueron: Área, perímetro, largo y ancho. Para la calidad física, fisiológica y eliminación de latencia en semillas, hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre accesiones. En el segundo, se determinó la calidad física y fisiológica en semillas de cuatro accesiones bajo dos condiciones ambientales de almacenamiento. Se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre sitios, accesiones y su interacción. En el tercero, se determinó la tolerancia a la desecación de semillas en almacén de cuatro accesiones con tres orígenes y diferentes grados de manejo, observando diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre accesiones. Se concluye que el grado de manejo de las semillas influye en sus características físicas. En el Sitio 1 (Campus Veracruz) de almacenamiento, la calidad de las semillas disminuyó significativamente. Asimismo, se concluye que las semillas de papayo sin importar el grado de manejo, tienen un comportamiento de tipo ortodoxo.

Palabras clave: *Carica papaya* L., germinación, latencia, tratamientos de pre-germinación, tolerancia a la desecación.

**PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL QUALITY AND DETERIORATION OF SEEDS
IN PAPAYO ACCESSIONS (*Carica papaya* L.) NATIVES FROM MEXICO**

José Luis Hernández Hernández, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

Three studies using accessions of seeds of *Carica papaya* L. from five States of Mexico were carried out. In the first experiment, using the ImageJ software, the physical characteristics were measured in seeds of 15 accessions of papaya with free pollination. Physical and physiological quality of free pollination including and controlled pollination seeds was determined. Based on the multivariate analysis, the physical characteristics of the seeds with the greatest contribution to variability were: Area, perimeter, length and width. For the physical, physiological quality and elimination of latency in seeds, significant differences ($P \leq 0.05$) were found among accessions. In the second one, the physical and physiological quality of seeds of four papaya accessions under two environmental storage conditions was determined, founding statistical differences ($P \leq 0.05$) between sites, accessions and interactions. In the third one, the tolerance to the desiccation of seed in storage of four accessions with three origins and different degrees of management was determined, in which significant differences ($P \leq 0.05$) between accessions were found. In general, it is concluded that the degree of management of the seeds influences their physical characteristics. In the storage Site 1 (Campus Veracruz), seeds decreased its quality. It is concluded that papaya seeds, regardless of the degree of management, have orthodox behavior.

Keywords: *Carica papaya* L., germination, latency, pre-germination treatments, tolerance to desiccation.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Planteamiento del problema.....	3
2. Objetivos.....	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos.....	5
3. Hipótesis.....	5
3.1. Hipótesis general.....	5
3.2. Hipótesis específicas.....	5
4. Revisión de literatura.....	6
4.1. Generalidades.....	6
4.2. Descripción botánica de <i>C. papaya</i>	6
4.3. Clasificación taxonómica.....	9
4.4. Parámetros que determinan la calidad de las semillas.....	9
4.4.1. Evaluación de la calidad física.....	10
4.4.2. Evaluación de la calidad fisiológica.....	11
4.5. Germinación y latencia.....	11
4.6. Factores que afectan la conservación de las semillas.....	12
4.6.1. Contenido de humedad.....	13
4.6.2. Temperatura.....	14
4.6.3. Humedad relativa.....	15
4.7. Comportamiento de las semillas en almacén, en relación a la tolerancia y deseccación.....	16
5. Literatura citada.....	20
CAPÍTULO I. CALIDAD FISIOLÓGICA Y ESTUDIOS DE LATENCIA EN SEMILLAS DE ACCESIONES DE PAPAYO (<i>Carica papaya</i> L.)	26
1.1. Introducción.....	28
1.2. Materiales y métodos.....	30
1.2.1. Ubicación del área de estudio y material biológico.....	30
1.2.2. Acondicionamiento y calidad física de las semillas.....	32
1.2.3. Análisis físico de las semillas.....	32
1.2.4. Pruebas de laboratorio.....	34
1.2.5. Rompimiento de latencia mediante tratamientos de pre-germinación.....	37
1.3. Diseño experimental.....	40
1.4. Análisis estadístico.....	40
1.5. Resultados y discusión.....	41
1.5.1. Calidad física.....	41
1.5.2. Evaluación de calidad física y fisiológica en semillas de 15 accesiones de <i>C. papaya</i> de polinización libre.....	45
1.5.2.1. Evaluación de la calidad física.....	45
1.5.2.2. Evaluación de la calidad fisiológica.....	46
1.5.3. Evaluación de calidad física y fisiológica en semillas de nueve accesiones de <i>C. papaya</i> de polinización controlada.....	49

1.5.3.1. Evaluación de la calidad física.....	49
1.5.3.2. Evaluación de la calidad fisiológica.....	50
1.5.4. Rompimiento de latencia en semillas de cinco accesiones de <i>C. papaya</i> de polinización libre mediante tratamientos de pre-germinación.....	52
1.6. Conclusiones.....	58
1.7. Literatura citada.....	59
CAPITULO II. CALIDAD FÍSICA Y FISIÓLOGA EN SEMILLAS DE <i>Carica</i> <i>papaya</i> L. EN ALMACENAMIENTO.....	62
2.1. Introducción.....	64
2.2. Materiales y métodos.....	66
2.2.1. Material biológico.....	66
2.2.2. Sitios de almacenamiento.....	67
2.2.3. Establecimiento del experimento.....	68
2.2.4. Diseño experimental.....	68
2.3. Análisis estadístico.....	71
2.4. Resultados y discusión.....	72
2.4.1. Efecto de sitio y de muestreo.....	76
2.4.2. Efecto de accesión y de muestreo.....	80
2.4.3. Efecto de la interacción Sitio x Accesión y de muestreo.....	83
2.5. Conclusiones.....	87
2.6. Literatura citada.....	88
CAPÍTULO III. TOLERANCIA A LA DESECACIÓN EN SEMILLAS DE CUATRO ACCESIONES DE PAPAYO (<i>Carica papaya</i> L.).....	91
3.1. Introducción.....	93
3.2. Materiales y métodos.....	95
3.2.1. Pruebas en condiciones de laboratorio.....	96
3.2.2. Determinaciones previas a la desecación y viabilidad.....	98
3.3. Diseño experimental.....	101
3.4. Análisis estadístico.....	102
3.5. Resultados y discusión.....	103
3.5.1. Contenido de humedad y viabilidad.....	103
3.5.2. Tratamiento 1: Contenido de humedad (10 - 12 %) y viabilidad.....	104
3.5.3. Tratamiento 2: Contenido de humedad (5 %) y viabilidad.....	105
3.5.4. Tratamiento 3: Contenido de humedad (5 % a -20 °C) y viabilidad.....	107
3.6. Conclusiones.....	108
3.7. Literatura citada.....	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	112
1. Conclusiones.....	112
2. Recomendaciones.....	113
ANEXOS.....	114

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Datos pasaporte de las accesiones de semillas estudiadas de <i>C. papaya</i> ...	31
Cuadro 2.	Tratamientos de pre-germinación aplicados en semillas de cinco accesiones de <i>C. papaya</i> en una dilución de 70 ml.....	38
Cuadro 3.	Valores propios y proporción de la varianza explicada por los componentes principales con base a seis características de las semillas de 15 accesiones de <i>C. papaya</i> , provenientes de cinco estado de México.	42
Cuadro 4.	Comparación de medias para las variables de calidad física en accesiones de <i>C. papaya</i> de polinización libre.....	46
Cuadro 5.	Comparación de medias para las variables en relación con la calidad fisiológica medidas en condiciones de laboratorio en semillas de accesiones de <i>C. papaya</i> originadas de polinización libre.....	48
Cuadro 6.	Comparación de medias para las variables de calidad física en accesiones de <i>C. papaya</i> de polinización controlada.....	49
Cuadro 7.	Comparación de medias para las variables en relación con la calidad fisiológica medidas en condiciones de laboratorio en semillas de accesiones de <i>C. papaya</i> originadas de polinización controlada.....	50
Cuadro 8.	Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica en semillas de accesiones de <i>C. papaya</i>	53
Cuadro 9.	Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica por tratamiento.....	54
Cuadro 10.	Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica en la interacción Accesoión x Tratamiento.....	57
Cuadro 11.	Datos pasaporte de las accesiones de semillas estudiadas de <i>C. papaya</i> ...	67
Cuadro 12.	Cuadrados medios del análisis de varianza para el contenido de humedad de las semillas de cuatro accesiones de papayo, evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.....	72
Cuadro 13.	Cuadrados medios del análisis de varianza para el porcentaje total de embriones viables en semillas de cuatro accesiones de papayo, evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.....	73
Cuadro 14.	Cuadrados medios del análisis de varianza para el porcentaje total de germinación en semillas de cuatro accesiones de papayo, evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.....	74
Cuadro 15.	Cuadrados medios del análisis de varianza para el porcentaje de plántulas normales en semillas de cuatro accesiones de papayo, evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento....	75
Cuadro 16.	Cuadrados medios del análisis de varianza para porcentaje de plántulas anormales en semillas de cuatro accesiones de papayo, evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.....	76
Cuadro 17.	Comparación de medias entre sitios de variables de calidad física y fisiológica en semillas de <i>C. papaya</i> evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.....	78
Cuadro 18.	Promedios mensuales de temperatura y humedad relativa de los sitios registrados durante cinco meses de almacenamiento de semillas de <i>C.</i>	

	<i>papaya</i>	79
Cuadro 19.	Comparación de medias entre accesiones de variables de calidad física y fisiológica en semillas de <i>C. papaya</i> evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.....	82
Cuadro 20.	Comparación de medias entre Sitio x Accesoión de la calidad física y fisiológica en semillas de <i>C. papaya</i> evaluadas durante cinco meses de almacenamiento.....	85
Cuadro 21.	Datos pasaporte de las accesiones de semillas estudiadas de <i>C. papaya</i> ...	96
Cuadro 22.	Comparación de medias para las variables de calidad física y fisiológica en semillas de cuatro accesiones de <i>C. papaya</i>	104
Cuadro 23.	Comparación de medias para las variables de calidad física y fisiológica en semillas de cuatro accesiones de <i>C. papaya</i>	105
Cuadro 24.	Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica en semillas de cuatro accesiones de <i>C. papaya</i>	107
Cuadro 25.	Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica en semillas de cuatro accesiones de <i>C. papaya</i>	108

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diagrama de dispersión de 15 accesiones de <i>C. papaya</i> , con base a los componente principales 1 y 2.....	43
Figura 2. Dendrograma de 15 accesiones de <i>C. papaya</i> de Veracruz, Guerrero, Tabasco, Chiapas y Campeche, con base en seis variables de calidad física de semillas.....	44
Figura 3. Protocolo para determinar el comportamiento de las semillas en almacén, con base al grado de tolerancia a la desecación (Hong y Ellis, 1996).....	101

INTRODUCCIÓN GENERAL

La conservación de los recursos fitogenéticos ha pasado a ser un tema de interés a nivel mundial, dado que representa la base primordial de la seguridad alimentaria. Se ha luchado por mantener, conservar y hacer uso sustentable del mismo. Sin embargo, en los últimos 15 años ha sido alarmante la serie de eventos que son ocasionados de forma directa e indirecta por la mano del hombre o la misma naturaleza, trayendo como resultado la erosión genética. Esto se suma a factores como la urbanización, calentamiento global, contaminación del aire, suelo, agua, la presencia de plagas y enfermedades (FAO, 2012).

La multiplicación excesiva de variedades mejoradas, podría traer la consecuente reducción de la base genética debido a la homogenización de cultivos mejorados, así como la amenaza de liberación al ambiente de materiales genéticamente modificados que pudieran ocasionar flujo genético (Chauvet *et al.*, 2012). La circunstancia agravante es que no se conoce el número exacto de la diversidad genética y menos aún, la erosión genética de materiales nativos y domesticados que se tiene en cada región (Da Fonseca *et al.*, 2006).

Sin embargo, el complejo escenario geográfico que alberga la diversidad biológica de México, es producto de la historia geológica, biológica, cultural, variedad de climas y topografía (Leipzig, 1996), ocupando uno de los primeros cinco lugares a nivel mundial por su grado de riquezas de especies y en particular por su gran número de endemismos. Cabe señalar que en nuestro país encontramos al menos el 10 % de la diversidad terrestre del planeta (Mittermeier y Goettsch, 1992).

Es por ello, que las variadas condiciones agroecológicas de México, han permitido la introducción, adaptación y cultivo de un gran número de especies, a saber, 229 cultivadas en

México, de las que 179 corresponden a cultivos introducidos en Mesoamérica, 108 de ciclo anual y 71 perennes (Lépiz y Rodríguez, 2006); en esta última categoría, se encuentra la especie papaya.

El papayo (*C. papaya*) es una planta herbácea, de crecimiento rápido y de vida corta, nativa de Centro América y Sur de México ampliamente cultivada en todas las regiones tropicales por sus frutos comestibles y con alto contenido de vitaminas (Badillo, 2000). Los frutos de esta especie contienen de 200 a 400 semillas. Las dimensiones de las semillas son de 3.7 a 4.5 mm de largo por 2 a 2.8 mm de ancho y 2 a 2.5 mm de grueso, esféricas cubiertas por una capa mucilaginosa (sarcotesta); endotesta pardo negruzca y arrugada protuberancias laminares medianas a modo de crestas. Endospermo presente (Ávila *et al.*, 2009). Debido a escasos trabajos realizados en semillas encontradas en huerto familiar, semi-domesticadas, cultivadas y silvestres. Resulta importante medir parámetros de calidad física, fisiológica, genética y sanitaria a esta especie, el cual consistirá en reunir la información genética de las muestras de semillas que permita tener el conocimiento necesario para poder conservarlas a largo plazo y que posteriormente, puedan utilizarse en particular, para implementar programas de mejoramiento genético en el desarrollo de nuevas variedades. Por ejemplo en la calidad física, es importante identificar materiales con un tamaño y peso de semillas aceptable; desde el punto de vista fisiológico, identificar lotes con alto porcentaje de germinación y vigor, en cuestiones sanitarias, detectar semillas resistentes a hongos y bacterias y a nivel genético, realizar cruza de materiales con características sobresalientes en la calidad de las semillas.

Otro aspecto sobresaliente es la conservación del material genético de esta familia, aunque se puede llevar acabo de forma *in situ*, resulta en una inversión alta y el mantenimiento *ex situ* en bancos de germoplasma es más aceptable; aunque no se conoce el tiempo durante el cual la

semilla mantiene su viabilidad en condiciones determinadas de temperatura y humedad de almacenamiento (Alonso *et al.*, 2007). Por cierto se tiene el conocimiento de lo complicado que es hacer germinar las semillas (Familia Caricaceae), cuando se encuentran fuera de su hábitat natural y un aspecto interesante, es que ahí muestran presencia de latencia, sobre todo de las especies silvestres. Referente al contenido de humedad, se supone que las semillas de esta familia presentan un tipo de comportamiento intermedio para su conservación, de manera que estas toleran un mayor grado de secado que las semillas recalcitrantes, pero son menos tolerantes a la deshidratación que las semillas ortodoxas (Ellis *et al.*, 1990, 1991a, b).

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

México es reconocido como centro de origen de *C. papaya*, sin embargo, la información disponible sobre la conservación de semillas de poblaciones en huerto familiar, semi-domesticadas, cultivadas y silvestres es mínima. Puesto que los tipos de papayo como Cera, Coco y Mamey, entre otros, tuvieron un auge en los mercados nacionales e internacionales, pero con la introducción de la variedad Maradol a nuestro país ha desplazado al germoplasma nativo, debido a las características atractivas de ésta para el consumidor, como es su sabor y consistencia de su fruto; asimismo, por sus cualidades aceptables de comercialización y rentabilidad, que se ofrece al productor (CORSPAC, 2009). Por esta razón, se han distinguido dos factores relacionados con la problemática de conservación de semillas de *C. papaya* en México. El primer factor está relacionado con la conservación y uso de ésta; la falta de conocimiento sobre la variabilidad física y fisiológica del germoplasma nativo de México. Así como la alta pérdida de calidad fisiológica (viabilidad y germinación) bajo condiciones ambientales de almacenamiento, debido principalmente a factores como el contenido de humedad, temperatura y humedad relativa inadecuadas.

El segundo factor está asociado a problemas de clasificación de las semillas en almacén, con base al grado de tolerancia a la desecación, a pesar de que las semillas de papayo son clasificadas en la categoría intermedia (Ellis *et al.*, 1990, 1991a, b), esta pierde rápidamente su viabilidad, dado que está asociado a un problema de calidad fisiológica. Lo que significa que la reducción de contenido de agua y la temperatura interaccionan, ocasionando un impacto negativo sobre la desecación y las condiciones de almacenamiento de las semillas.

En este sentido se plantea que, existe un desconocimiento para la conservación de este germoplasma nativo. Por lo anterior, el presente estudio se propuso evaluar el comportamiento de la calidad física y fisiológica en semillas de accesiones de *C. papaya* con base al grado de manejo silvestre, semi-domesticada, huerto familiar y cultivado bajo condiciones de laboratorio, y rompimiento de latencia. Además, llevar acabo el monitoreo de calidad física y fisiológica en condiciones ambientales de almacenamiento y determinar el comportamiento de las semillas en almacén, con base al grado de tolerancia a la desecación, con el fin de generar una estrategia que permita optimizar y contribuir a la conservación de la diversidad genética del germoplasma del papayo nativo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Conocer la calidad física y la capacidad germinativa, viabilidad y vigor en semillas de *C. papaya* de polinización libre y controlada con diferentes grados de manejo y procedencia bajo condiciones de laboratorio; así como evaluar su longevidad en almacenamiento y clasificarla fisiológicamente, a fin de proponer estrategias adecuadas para conservar este recurso fitogenético.

2.2. Objetivos específicos

Evaluar la calidad física y fisiológica en semillas de accesiones de *C. papaya* mediante el uso de agua, AG₃ y KNO₃, en el rompimiento de latencia.

Monitorear el comportamiento de la calidad física y fisiológica en semillas de cuatro accesiones de *C. papaya* bajo dos condiciones ambientales contrastantes de almacenamiento.

Determinar el comportamiento en semillas de cuatro accesiones de *C. papaya* con el grado de manejo silvestre, huerto familiar y cultivada, para clasificarla de acuerdo a la tolerancia a la desecación y en este sentido sugerir el método de conservación más apropiado para esta especie.

3. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general

El comportamiento de la calidad física y fisiológica en semillas de accesiones de *C. papaya* nativas de México, está en función del grado de manejo, origen, tipo de manejo de la semilla, tiempo y condiciones de almacenamiento de la misma.

3.2. Hipótesis específicas

La calidad física y fisiológica en semillas de accesiones de *C. papaya* es diferente, de acuerdo al tipo de tratamiento utilizado para eliminar latencia.

El grado de manejo y las condiciones contrastantes en almacén, influyen en el nivel de calidad física y fisiológica de las semillas de accesiones de *C. papaya*.

La resistencia a la desecación de las semillas de accesiones de *C. papaya* y su comportamiento en el almacenamiento, es función del grado de manejo que tienen.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Generalidades

El papayo (*C. papaya*) pertenece a la familia (*Caricaceae*), comprende seis géneros y 36 especies (Kyndt *et al.*, 2005). Es nativa de Centroamérica, muchas de estas especies silvestres crecen en Colombia, Ecuador, México, y Nicaragua (Doijode, 2001).

La mayor parte de los géneros se distribuyen en zonas tropicales y subtropicales, de tal forma que *Jacaratia*, *Carica*, *Jarilla*, *Horovitzia* y *Vasconcella* se encuentran en América, mientras que *Cylicomorpha* se ubica en África ecuatorial. Sin embargo, *papaya* es una de las especies más conocidas e importantes económicamente del género *Carica*, que predomina en todas las regiones del mundo (Leal, 1999).

CONABIO (2007); Ávila *et al.* (2009) indican que en México, se distribuye en la vertiente del Golfo de México desde Tamaulipas hasta la Península de Yucatán. En la vertiente del Pacífico, se le encuentra desde Baja California hasta Chiapas, a una altitud entre 0 a 1000 (1500) m, en los estados de Baja California, Campeche, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán.

4.2. Descripción botánica de *C. papaya*

Plantas herbáceas, arbustivas o arborescentes, plantas frágiles, perennifolia de 2 a 8 m (hasta 10 m) de altura con un diámetro de 6 a 15 cm (hasta 30 cm). Por sus hojas se parece a una palmera. Las plantas jóvenes son de tallo simple durante los 1-2 años de crecimiento, aunque en huertos altamente fértiles desarrollan ramificación lateral aun en plantas juveniles. En algunos tipos la ramificación lateral se desarrolla después de que el primer fruto inicia su maduración. Los árboles pueden retornar al crecimiento mono axial después de que los fuertes vientos propician la

caída de frutos en ramas laterales. El tiempo de generación de esta especie herbácea es corto, de 8 a 12 meses de semilla a fruto maduro (CONABIO, 2007).

Copa / Hojas. Copa abierta y redondeada. Las hojas del papayo madura son grandes, con la lámina palmeada con profundos lóbulos, de 7 a 9 lóbulos, y esto a su vez en lóbulos más pequeños, ligeramente gruesas y carnosas; soportadas por un peciolo largo, de 0.7 a 1 m, lisos, huecos que al caer dejan cicatrices en el tallo hueco. La cicatriz de la hoja se alarga conforme crece en circunferencia. Las hojas superiores son erectas y extendidas y las inferiores colgantes (CONABIO, 2007).

Tronco / Ramas. El tronco es erguido, cilíndrico, hueco excepto en los nudos, más grueso en su base; sin ramas y con las características cicatrices que dejan las hojas al caer. Crecimiento monopódico cuando joven y al madurar ramifica (CONABIO, 2007).

Corteza. Corteza lisa, verde grisácea, con manchas pardas, oscuras, o bien raramente pardo pálidas, de forma irregular, lenticelas pequeñas o ausentes, cicatrices semicirculares a todo lo largo del tronco. Exudado blanco (CONABIO, 2007).

Flor (es). Flores pistiladas, estaminadas y bisexuales, con el cáliz tubular de 8 a 10 mm de largo, verdoso; flores pentámeras, lóbulos de la corola alternos con los lóbulos del cáliz, la corola blanca, crema, amarilla o raras veces anaranjada, rosada o rojo-violácea, a veces parcialmente verde. Filamentos no unidos o apenas unidos por encima de la boca del tubo de corola. Flores femeninas solitarias de 5 o 6 juntas en la base de la hoja; masculinas en panículas delgadas con 15 a 20 flores o llegando a tener hasta 100 florecillas por inflorescencia. Las flores femeninas son mucho más grandes que las masculinas. Anteras todas de dos tecas. Ovario unilocular a diferencia del genero *Vasconcellea* que es pentalocular (CONABIO, 2007).

Frutos. Apiñados alrededor del tronco. Bayas elipsoides a esféricas, tornándose de verdes a anaranjadas en la madurez, pulpa suave, jugo lechoso. El fruto silvestre mide de 4 a 6 cm de largo y de 3 a 4.5 cm de ancho. Cada fruto contiene de 200 a 400 semillas. El fruto cultivado mide de 10 a 50 cm de largo, dependiendo del tipo o variedad (CONABIO, 2007).

Semilla (s). De 3.7 a 4.5 mm de largo por 2 a 2.8 mm de ancho y de 2 a 2.5 mm de grueso, esféricas, cubiertas por una capa mucilaginosa (sarcotesta); endotesta pardo negruzca y arrugada protuberancias laminares meridianas a modo de crestas. Endospermo presente (Ávila *et al.*, 2009). Las semillas para conservarse requieren una humedad relativa óptima entre 40 a 60 %, con un contenido de humedad de 9 a 11 %, se puede almacenar de 3 a 6 años a 5 °C, y hay daños a < 0 °C. Por su resistencia a la desecación, se cita que es de tipo intermedio, ya que estas toleran un mayor grado de secado que las semillas recalcitrantes pero son menos tolerantes a la deshidratación que las semillas ortodoxas (Ellis *et al.*, 1990, 1991a, b). La longevidad de las semillas intermedias, en contraste con las semillas ortodoxas, es afectada a bajas temperaturas, este daño podría ocurrir a altas temperaturas en semillas intermedias de especies tropicales (la longevidad es dañada a temperaturas ≤ 10 °C), comparada con las semillas intermedias de especies templadas. Hanelt (1977) sugiere que hay una conexión ecológica entre las características de almacenaje de semillas y su hábitat, en el cual se encuentra la especie *papaya*. En particular, las semillas recalcitrantes tienden a ser producidas por especies que crecen en hábitats húmedos en bosque lluvioso tropical, galerías de bosque templado, y en ambientes acuáticos (Roberts y King, 1980).

4.3. Clasificación taxonómica

Según Jiménez (2002) la clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino _____ Plantae

Subreino _____ Tracheobionta

División _____ Magnoliophyta

Clase _____ Magnoliopsida

Subclase _____ Dilleniidae

Orden _____ Violales

Familia _____ Caricaceae

Genero _____ Carica

Especie _____ papaya

4.4. Parámetros que determinan la calidad de las semillas

Las cualidades físicas de un lote de semillas están determinadas por sus características, que en conjunto, generan un valor esencial para la siembra de dicho material. Las características de calidad más importantes son la variedad, la pureza específica, el porcentaje de germinación, viabilidad, vigor y la proporción de semillas de otras especies. Otras características tales como el porcentaje de humedad, pureza varietal, contenido en semillas duras, peso de 1000 semillas, estado sanitario, etc., tienen una importancia variable según las especies, el origen de las semillas, la época de su cosecha, etc. (Álvarez, 2007; Besnier, 1989).

Por otra parte, Bishaw *et al.* (2007) señalan que la calidad de la semilla comprende muchos aspectos importantes, donde incluye cuatro atributos claves que pueden ser explícitamente identificados:

Calidad genética. Es la calidad inherente a la variedad contenida en la semilla y que proporciona el potencial para un buen rendimiento, mejor calidad de la semilla y mayor tolerancia a estrés biótico y abiótico.

Calidad fisiológica. Explicada por la viabilidad, germinación y vigor de las semillas, lo que determina su potencial para germinar, emergencia de las plántulas y establecimiento del cultivo en campo.

Calidad física. Referida al tamaño, peso y uniformidad de la semilla, así como la pureza que es en esencia, de las semillas de otros cultivos, de malezas y materia inerte.

Calidad sanitaria. Es la presencia o ausencia de todo agente que causa infección o infestación en las semillas, que incluye a los hongos, bacterias, virus, nematodos, insectos, etc.

4.4.1. Evaluación de la calidad física

Se refiere a la calidad física de las semillas que determinan su calidad, como son: el tamaño, forma, uniformidad de color, peso volumétrico, peso de 1000 semillas, pureza y contenido de humedad relacionado con la sanidad (Basra, 1995). El tamaño de la semilla es una medida de la calidad física y es un parámetro importante a considerar en los programas de mejoramiento de papayo.

4.4.2. Evaluación de la calidad fisiológica

La calidad fisiológica de las semillas involucra aspectos de germinación, viabilidad y vigor. La germinación se define como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para generar una planta normal bajo condiciones favorables (Bishaw *et al.*, 2007; Moreno, 1996).

El vigor es otro aspecto de la calidad fisiológica de las semillas y es de utilidad para predecir el comportamiento de estas, cuando las condiciones del ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las semillas.

4.5. Germinación y latencia

La germinación de las semillas comprende tres etapas sucesivas que se superponen parcialmente (Vázquez *et al.*, 1997): 1) La absorción de agua por *imbibición* causando su hinchamiento y la ruptura final de la testa, 2) inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, *translocación* y asimilación de reservas alimenticias en zonas en desarrollo del embrión y 3) el crecimiento y la división celular que provoca la emergencia de la radícula y posteriormente de la plántula.

En este sentido, el porcentaje de germinación va a depender de una semilla completamente desarrollada. Además, para que exista una buena germinación es necesario tomar en cuenta la temperatura, humedad y a veces luz. Mientras, que en otras semillas se presenta algún tipo de latencia, debido a algunas características físicas en la semilla como es el caso de la sarcotesta, la presencia de sustancias lipoproteicas, semillas incompletas, etc.

4.6. Factores que afectan la conservación de las semillas

Las semillas como todo ser vivo, se encuentran expuestas a procesos naturales de envejecimiento que les producen un deterioro y finalmente la muerte. Aún bajo condiciones de almacenamiento en donde las semillas se encuentran libres del ataque de otros organismos, la viabilidad declina gradualmente y al final las semillas también mueren. El periodo de viabilidad puede ser de unos cuantos días bajo condiciones adversas de almacenamiento, hasta cientos de años bajo condiciones controladas (Duffus y Slaughter, 1992). Harrington (1972) señala que los factores que más afectan la longevidad de las semillas en almacén, son las temperaturas y el contenido de humedad; López (1994) señala además, la humedad relativa, la presión de oxígeno, la composición química y la duración del periodo de almacenamiento. En este sentido, Rathi *et al.* (2000) indican que una atmosfera con concentraciones elevadas de CO₂ no implica una marcada reducción en la germinación y viabilidad de semillas de soya y sorgo, en comparación con las reducciones de estos atributos que ocasionan temperaturas altas de almacenamiento y un alto contenido de humedad.

Otro factor que influye considerablemente en la conservación de la viabilidad de la semilla aunado a la especie, es la calidad y cantidad de sustancias químicas contenidas en el embrión y en los tejidos (Niembro, 1990). Las causas que originan el deterioro de dichas sustancias y que conllevan a la pérdida de vigor y la germinabilidad de las semillas son diversas y aun no se conocen, sin embargo, como las estructuras subcelulares están compuestos por lípidos y proteínas con el paso del tiempo la membrana celular gradualmente se va deteriorando perdiendo así su capacidad selectiva, este deterioro se lleva cabo a consecuencia de la autooxidación de lípidos, en semillas con reservas de aceites, formando peróxidos que activan algunas enzimas y

que afectan la viabilidad y vigor y finalmente la muerte del embrión (Harrington, 1973; Priestley, 1986; Niembro, 1992).

4.6.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad de las semillas es uno de los parámetros más importantes en la determinación de los límites de envejecimiento de la misma (Vertucci y Roos, 1993). Maguire (1977) menciona que aunque la humedad y la temperatura están fuertemente interrelacionadas y es difícil analizarlos por separado, el contenido de humedad es más crítico que la temperatura. Bass (1980) encontró que los lotes de semilla de papayo en almacenamiento sellado, retienen su viabilidad hasta por cinco años a temperaturas de 21 °C, siempre y cuando su contenido de humedad no rebase el 4 o 5 %. Aguirre y Peske (1991), encontraron que las semillas de frijol con porcentajes de germinación altos, mejoraron su potencial de almacenamiento de 1.6 a 1.7 veces por cada reducción en 1 % de su contenido de humedad, dentro del rango de 10.5 a 14.0 %.

En términos generales, con humedades superiores a 30 % puede germinar; entre 18 y 30 % el deterioro es más pronunciado, entre 8 y 5 % la actividad de los insectos se reduce drásticamente y por debajo de 5 % la semilla es inmune al ataque de hongos de almacén, aunque el deterioro puede presentarse por procesos oxidativos (Bewley y Black, 1994). Woodward y Blankenship (1974) encontraron que el contenido óptimo de humedad para almacenar semilla de cacahuete, generalmente, es entre 7 y 8 %, ya que a niveles superiores la semilla es más susceptible a la presencia de moho, acelerándose su deterioro y cuando es inferior a 6.5 %, la semilla tiende a dañarse mecánicamente. Hor (1977) menciona que la semilla de cacahuete con un contenido de humedad superior a 9 %, pierde drásticamente su viabilidad después de cinco meses de almacenamiento. Holman y Snitzler (1961) encontraron que la semilla de soya almacenada a

granel y con humedad de 12 % mantuvo la viabilidad por 175 días, y con 8 a 9 % por más de 350 días, pero con 15 % no duró más de 50 días.

4.6.2. Temperatura

La temperatura de almacenamiento es el segundo factor más importante en la conservación de la longevidad de las semillas. Murariu *et al.* (1990) encontraron que la germinación de semilla de maíz disminuyó con el incremento de la temperatura de almacén, así como la actividad de la enzima catalasa y en menor grado el de la peroxidasa, las que intervienen en la regulación del ácido indolacético (AIA), que es promotor del alargamiento celular. Bass (1980) indica que conforme aumenta la temperatura, la viabilidad de las semillas disminuye. Lindblad y Druben (1979) proporcionan una lista de los efectos que tiene la temperatura en condiciones de almacenamiento, entre los que destacan: 1) la temperatura baja es mejor que la alta debido a un decremento en la población de insectos; 2) la respiración de las semillas es menor a bajas temperaturas y por tanto el calor que se genera; al aumentar la temperatura, los hongos, e insectos crecen más rápido y la semilla tiende a incrementar su respiración. Con contenidos altos de humedad este proceso se acelera y las áreas de calentamiento se pueden transformar en áreas de gran actividad de hongos e insectos.

Dada la importancia del contenido de humedad de la semilla y la temperatura del almacén en la longevidad de esta, Harrington (1972) estableció dos reglas que contemplan ambos factores y mencionan que por cada incremento en la humedad de la semilla en 1 % (en un intervalo de 5 a 14 %) o por cada incremento en 5 °C (0 a 50 °C) la longevidad se reduce en un 50 %. Bass y Stanwood (1978) encontraron que la disminución de la germinación en semillas de sorgo, estuvo directamente relacionada con el contenido de humedad y la temperatura de almacén, siendo los

contenidos de humedad inferiores a 4.8 % y las temperaturas entre -1 y -12 °C las condiciones más efectivas para mantener la germinación.

White y Jayas (1991) mencionan que los cereales y las semillas oleaginosas se deterioran como consecuencia de alto contenido de humedad de la semilla, humedad relativa y temperatura de almacenamiento, factores que traen como consecuencia alteraciones químicas de la semilla.

4.6.3. Humedad relativa

El contenido de humedad de la semilla mantiene un equilibrio higroscópico con la humedad relativa del aire del almacén (Humphreys y Riveros, 1986). Harrington (1972) afirma que la composición química de las semillas influye en la humedad de equilibrio bajo la misma humedad relativa. Las proteínas son más higroscópicas que la celulosa y almidón y los lípidos son hidrofóbicos. Así, a la misma humedad relativa, una semilla con alto contenido de proteína o almidón tiene una humedad superior a una semilla rica en aceite. El mismo autor señala que el contenido de humedad óptimo para el almacenamiento de semillas es inferior a 14 % para cereales y 11 % para oleaginosas. El contenido de humedad de la semilla se incrementa al elevarse la humedad relativa y en consecuencia la longevidad de la semilla disminuye (Singh, 1987). Moreno *et al.* (1984) almacenaron 15 variedades de frijol en recipientes herméticos con humedades relativas de 75 a 85 % y encontraron que a 75 % la germinación disminuyó a 72 % a los 180 días, mientras que a 85 % la germinación fue cercana a cero a los 90 días. Duffus y Slaughter (1992) señalan que en general, mientras más bajos sean los niveles de temperatura y humedad relativa, las semillas permanecerán viables por más tiempo.

4.7. Comportamiento de las semillas en almacén, en relación a la tolerancia y desecación

Las semillas se pueden clasificar de acuerdo a su resistencia a la desecación, en el primer grupo se incluye a las “ortodoxas” las cuales Roberts (1973), describe como aquellas semillas que pueden tolerar el secado o bajo contenido de agua (pérdida de humedad hasta 95 %) el almacenamiento y la vida útil de la misma aumenta con reducciones tanto en el contenido de humedad como al del nivel de la temperatura, en una forma cuantificable y predecible. El hecho de que sobrevivan con 5 % de humedad no necesariamente indica que la especie pertenece al grupo de las ortodoxas; por ejemplo, las semillas de *Cattleya aurantica* (*Orchidiaceae*) que es capaz de tolerar la desecación a 3.7 y 2.2 % con una germinación de 94 %, pero la germinación es apenas de 10 % después de 90 días de almacén hermético a 18 °C con 3.7 % de humedad, mientras que después de 6 años de almacenamiento a 5 °C, con la misma cantidad de humedad (Seaton y Hailes, 1989; Pritchard y Seaton, 1993). Por lo tanto, al montar experimentos que demuestren la sobrevivencia de la semilla en distintos ambientes de almacén, es necesario evaluar su comportamiento a largo plazo y lograr la clasificación de la especie (Hong y Ellis, 1996). Lo anterior plantea someter las semillas a distintos niveles de humedad, temperatura y tiempo de almacén. Si se carece de material, es posible almacenar el material a un solo ambiente (-20 °C con 5 % de humedad). Las mejores condiciones para el almacenamiento de semillas ortodoxas son a -18 °C o inferiores, con 5 ± 1 % de contenido de humedad, bajo estas condiciones es donde se tiene mayor cantidad de sobrevivencia de las semillas (Cromarty *et al.*, 1982).

El segundo grupo está integrado por las semillas recalcitrantes, el término “recalcitrantes”, son descritas como aquellas que no toleran la desecación al nivel de las ortodoxas y que no pueden almacenarse a largo plazo (Roberts, 1973).

Las características principales de las semillas recalcitrantes, tales como su tamaño (relativamente grande), su corta vida o su susceptibilidad a las bajas temperaturas, deben considerarse como aspectos importantes de su descripción, pero no como elementos de un diagnóstico sobre su fisiología. Roberts *et al.* (1984) advirtieron que la conclusión sobre si cierta clase de semillas es o no recalcitrante no siempre resulta fácil, de hecho, algunas semillas que originalmente habían sido consideradas como recalcitrantes, hoy se consideran como ortodoxas, tal es el caso de yuca (*Manihot esculenta*) (Ellis *et al.*, 1981) y del coquito de aceite (*Elaeis guineensis* L.) (Grout *et al.*, 1983). Bonner (1981) y Vásquez (1987), mencionan que las semillas recalcitrantes no se pueden conservar por periodos prolongados debido a sus características fisiológicas y bioquímicas, así como a la imposibilidad de reducir el contenido de humedad por debajo de cierto límite (20 %) sin causar alteraciones en la estructura subcelular.

El grado de sensibilidad de las semillas recalcitrantes a la deshidratación varía entre especies. Por ejemplo, las semillas del “Alcanfor de Borneo” (*Dryobalanops aromatica*) se dañan cuando su contenido de humedad se aproxima al 35 % (Tamari, 1976); las del cacao (*Theobroma cacao*) sufren daño cuando su humedad es ligeramente inferior al 27 % (Hor, 1984). El contenido crítico de humedad, es decir, aquel en el cual todas las semillas morirían, varía de especie a especie y el rango en que esto puede suceder es bastante amplio y va de 12 a 31 % (Roberts, 1973).

La mayoría de las semillas ortodoxas pueden sobrevivir aun a la temperatura de nitrógeno líquido (-196 °C). De lo anterior, conviene saber que no todas las semillas recalcitrantes evidencian la misma susceptibilidad a las bajas temperaturas, tal es el caso de las especies originarias de zonas de clima templado, las cuales presentan una mayor tolerancia al frío. Por ejemplo, las semillas de *Quercus spp.*, pueden germinar a 2 °C, aun después de haber permanecido almacenadas durante más de 8 meses en condiciones de refrigeración. En contraste,

la mayoría de las especies recalcitrantes pueden llegar a morir aun a temperaturas ambientales o bien sufrir serios daños por frio.

Hong y Ellis (1990), sugieren un tercer grupo el cual está integrado por la categoría “intermedia”, que considera aquellas semillas que toleraran los niveles de desecación más inferiores en el grupo de las recalcitrantes, pero no al punto de las semillas ortodoxas. Muchas de las semillas conocidas como intermedias pierden viabilidad rápidamente a temperatura ambiente. Cabe señalar que aun dentro de la misma especie, existe una considerable variación en la tolerancia a la desecación y en el comportamiento de la semilla en almacenamiento; lo que ha conducido a una falta de coherencia en la clasificación.

Las estimaciones de contenido de humedad en la semilla están sujetas a error, por ello, la forma correcta para minimizarlo, es probar diferentes tratamientos y grados de desecación y después corroborarla con la viabilidad. En cuyo caso es importante reducir el error durante el proceso de germinación (Hong y Ellis, 1996).

Hong y Ellis (1996) proponen que los resultados de germinación deben ser graficados con respecto al contenido de humedad, el cual permitirá clasificar a las semillas con base a las tres posibles explicaciones:

- a) Si todas las semillas toleran la desecación (es decir, no hay pérdida de viabilidad) en alrededor del 5 % o menos de humedad, en cuyo caso es probable que muestre un comportamiento del tipo de las semillas ortodoxas.
- b) Cuando la gran mayoría de las semillas toleran una desecación de entre 10 y 12.5 % de humedad (es decir, el contenido de humedad de la semilla con respecto a la humedad relativa ambiente debe estar equilibrada entre el 40 y 50 %), y si la humedad en la semilla

se reduce sucede lo mismo con la viabilidad, en cuyo caso la semilla se cataloga como de comportamiento intermedio.

- c) La mayoría de las semillas mueren al reducir su contenido de humedad entre 15 y 20 % bajo condiciones ambientales (es decir, el punto de equilibrio con la humedad relativa está por encima del 70 % a 20 °C), en cuyo caso es probable que la semilla sea recalcitrante.

Es necesario considerar que los comentarios anteriores, tal como señala Hong y Ellis (1996), son probabilísticos y la determinación de la tolerancia a la desecación no permite por sí sola la clasificación de la semilla. En concreto, “las conclusiones basadas solo en la tolerancia a la desecación a veces pueden ser erróneas”. Por tanto el segundo paso en este algoritmo comprende investigaciones de supervivencia de las semillas durante el almacenamiento en diferentes entornos.

En la conservación de los recursos fitogenéticos, en particular en el almacenamiento de semillas, la diferencia entre semillas ortodoxas, intermedias y recalcitrantes en una especie nos ayuda a determinar las condiciones adecuadas que requiere la semilla para mantener su viabilidad durante su conservación a largo plazo (por ejemplo, a una temperatura de 20 °C con 5 ± 1 % de humedad), a mediano plazo (por ejemplo, en 10 °C con contenido de humedad en equilibrio entre 40 y 50 % de humedad relativa, es decir, entre 7 y 11 % de humedad en la semilla, dependiendo de las especies), o sólo a corto plazo (Hong y Ellis, 1996). La correcta diagnosis de la fisiología de las semillas, es de primordial importancia, ya que de ello dependerá en gran medida la adecuada elección de los métodos para su conservación.

Las semillas, en general, tienen un periodo de almacenamiento, en el cual el proceso de deterioro continuará, pero la tasa a que éste ocurre, dependerá de factores tales como la humedad de la

semilla, composición química, calidad inicial, temperatura y humedad relativa, entre otros. Perdomo y Burris (1998) señalan que con humedades y temperaturas altas se puede inducir la germinación de la semilla o en su defecto el deterioro fisiológico ocasionado por la presencia de microorganismos. Al respecto Powell y Matthews (1981) expresan que el envejecimiento de la semilla ocurre más rápido cuando presentan alto contenido de humedad y son almacenadas a temperatura alta trayendo consigo la pérdida de vigor en la semilla.

5. LITERATURA CITADA

- Aguirre, R. and S. T. Peske. 1991. Seed moisture content required for short-term hermetic storage of beans. *Seed Sci. and Technol.* 19 (1): 117-122.
- Alonso, E. M., R. Ramos R., Q. Torne Y. 2007. Caracterización y evaluación de recursos genéticos de papaya (*Carica papaya* L.). *CitriFrut* 24: 38-42.
- Álvarez, L. G. 2007. Producción comercio y certificación de semillas en México. Centros de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. pp 1-44.
- Ávila, R. C., E. García P., y G. Hernández S. 2009. Mantenimiento de las colectas de semilla de *Carica papaya* L. Resúmenes ejecutivos, Ejercicio Fiscal 2009, Texcoco Edo. De México. pp: 74.
- Badillo, V. M. 2000. *Carica* L. vs *Vasconcella* St. Hil. (Caricaceae) con la rehabilitación de este último. *Ernstia* 10:74-79.
- Basra, A. S. 1995. Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. Basra, A. S. (ed.) Food Products Press. Preface. New York, USA.
- Bass, L. N. 1980. Seed viability during long term storage. *Hort. Reviews* 2:117-141.
- Bass, L. N. and P. C. Stanwood. 1978. Long-term preservation of sorghum seed as affected by seed moisture, temperature and atmospheric environment. *Crop Sci.* 18: 575-577.
- Bewley, J. D. and M. Black. 1994. *Seed Physiology of Development and Germination*. 2nd ed. Plenum Press. New York. 367 p.

- Besnier, R. F. 1989. Semillas Biología y Tecnología. Mundi-Prensa (ed.) Madrid, España. 637 p.
- Bishaw, Z., A. A. Niane, and Y. Gan. 2007. Quality seed production. *In*: Lentil: An ancient crop for modern times. Yadav, S. S., McNeil, D. and Stevenson, P. C. (eds.) Springer Verlag. pp 349-383.
- Bonner, F. T. 1981. Principios de almacenamiento para semillas de árboles forestales. *In*. Memoria Reunión sobre Problemas en Semillas Forestales Tropicales. Pub. Esp. Tomo I. Inst. Nal. Invest. For. México. No. 35 p. 223-229.
- Chauvet, M., Castañeda Y., Trigueros P., González A., Massieu Y. y R. González L. 2012. Efectos sociales de la papaya transgénica: una evaluación *ex ante*. UAM Azcapotzalco, México. 234 p.
- CONABIO (Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad). 2007. *Carica papaya* L. [Http://.Conabio.Gob.Mx/info_especies/arboles/doctos/23-caric1m.Pdf](http://.Conabio.Gob.Mx/info_especies/arboles/doctos/23-caric1m.Pdf). Fecha de consulta: 13 abril 2016.
- CORSPAC, 2009. Informe estudio de mercado para la comercialización de la papaya en el municipio de Acapulco. CORSPAC, S. A de C. V. En línea: http://www.corspac.com/5_informe_estudio_mercado_papaya_2009.pdf. Consultado: 27 de noviembre del 2016.
- Cromarty, A., R. H. Ellis, and E. H. Roberts. 1982. The Desing of Seed Storage Facilities for Genetic Conservation. Revised 1985. International Board for Plant Genetic Resources, Roma.
- Da Fonseca, J. M. A., M. M. V. da Silva W., y A. Celso C. 2006. El estado del arte de los recursos genéticos en las Américas: conservación, caracterización y utilización Embrapa, Brasil. 60 p.
- Doijode, S. D. 2001. *Seed Storage of Horticultura Crops*. Binghamton, NY: Food Products Press.
- Duffus, C. y C. Slaughter. 1992. Las Semillas y sus Usos. AGT. Editor. México. 188 p.
- Ellis, R. H., T. D. Hong, and E. H. Roberts. 1981. The influence of desiccation on cassava seed germination and longevity. *Ann. Bot.* 47: 173-173.
- Ellis, R. H., T. D. Hong, and E. H. Roberts. 1991a. An intermediate category of seed storage behavior? II. Effects of provenance, immaturity and imbibition on desiccation-tolerance in coffee. *Journal of Experimental Botany* 42, 653-657.

- Ellis, R. H., T. D. Hong, and E. H. Roberts. 1991b. Effect of storage temperature and moisture on the germination of papaya seeds. *Seed Science Research* 1, 69-72.
- Ellis, R. H., T. D. Hong, and E. H. Roberts. 1990. An intermediate category of seed storage behavior? I Coffee. *Journal of Experimental Botany*, 41 1167-1174.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura, 2012. Segundo Plan de Acción Mundial para los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. ISBN 978-92-5-307163-0. pp. 1-23.
- Grout, B. W. W., K. Shelton, and H. W. Pritchard. 1983. Orthodox behavior of oil palm seed and cryopreservation of the excised embryo for genetic conservation. *Ann. Bot.* 52: 381-384.
- Hanelt, V. P. 1977. Ökologische and systematische Aspekte der Lebensdauer von Samen. *Biologische Rundschau* 15, 81-91.
- Harrington, J. F. 1973. Biochemical basis of seed longevity. *Seed Science and Technology*. 1: 453-461.
- Harrington, J. F. 1972. Seed storage and longevity. *In*: T. T. Kozlowski (Ed.). *Seed Biology*. Vol. III. Academic Press. New York. Pp. 145-240.
- Hong, T. D. and R. H. Ellis. 1996. A Protocol to Determine Seed Storage Behaviour. IPGRI Technical Bulletin No. 1. (J.M.M. Engels y J. Toll, eds.), international Plant Genetic Resources Institute, Roma, 62 p.
- Hong, T. D. and R. H. Ellis. 1990. A comparison of maturation drying, germination, and desiccation tolerance between developing seeds of *Acer pseudoplatanus* L. and *Acer platanoides* L. *New Phytologist* 116: 589-596.
- Hor, Y. L. 1984. *Storage of Cocoa Seeds and Changes Associated with Their Deterioration*. Ph. D. Thesis. University Pertanian, Malaysia.
- Hor, Y. L. 1977. Storage of field crops seed under Malaysian conditions. *In*: H. F. Chin; I. C. Enoch and R. M. Raja Harum (eds.). *Seed Technology in the Tropics*. Faculty of Agriculture. University Pertanian Malaysian. Serdang, Selangor, Malaysian. pp. 123-124.
- Holman, L. E. and J. R. Snitzler. 1961. Transporting, handling and storing seed. *In*: *Seeds. The Yearbook of Agriculture*. USDA. Washington D. C. pp. 338-347.

- Humphreys, L. R. and F. Riveros. 1986. Tropical pasture seed production. FAO. Plant production and Protection Paper. Rome. pp. 152-153.
- Jiménez, D. J. A. 2002. El cultivo de la papaya Hawaiana. EARHT. Costa Rica. 108 p.
- Kyndt, T., E. Romeijn-Peeters, B. Van D., J. Romero-Motochi P., G. Gheysen and P. Goetghebeur. 2005. Species relationships in the genus *Vasconcellea* (Caricaceae) based on molecular and morphological evidence. American Journal of Botany 92 (6): 1033-1044.
- Leal, F. 1999. Acerca de la historia y taxonomía de las papayas y sus parientes silvestres *In: Memorias del primer taller internacional sobre Caricaceae*. Ed. Leal F. y Geo Coppens d'Eeckenbrugge. FONTAGRO-IICA. Cali, Colombia. pp. 2-10.
- Leipzig, 1996. México: Informe nacional para la conferencia de técnica e internacional de la FAO sobre los recursos fitogenéticos 49 p.
- Lépiz, I. R. y E. Rodríguez G. 2006. Los recursos fitogenéticos de México. *In: Molina M, J. C., y L. Córdova T. (eds.). Recursos fitogenéticos en México para la alimentación y la agricultura*. Chapingo. Edo. De México. pp. 2-17.
- Lindblad, C. y Druben, L. 1979. Almacenamiento del grano: Manejo, secado, silos control de insectos y roedores. Editorial. CONCEPTO. México, D. F. 331 p.
- López, S. H. 1994. Deterioro de la calidad fisiológica de diferentes semillas agrícolas en función del ambiente de almacenamiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- Maguire, J. D. 1977. Seed quality and germination. *In: A. A. Khan (ed). The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination*. North Holland Publishing Company. Amsterdam. pp. 219-235.
- Mittermeier, R. y C. Goettsch. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. pp. 57-62, en: *México ante los retos de la biodiversidad*. (J. Sarukhán y R. Dirzo, compiladores). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Moreno, M. E. 1996. Análisis, Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Ed. UNAM. México. 193p.

- Moreno, M. E., M. E. Vázquez B., R. M. Navarrete and J. G. Ramírez. 1984. Seed viability of different varieties of bean stored under low and high relative humidity. *Seed Sci. Technol.* 22: 195-202.
- Niembro, R. 1992. Causas que originan el envejecimiento de las semillas de plantas leñosas. *Rev. Semina. Universidad Autonoma de Campeche. México.* 16 p.
- Niembro, R. 1990. La composición química de las semillas y su efecto en conservación. Memoria del Seminario-Taller sobre Investigaciones en Semillas Forestales. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF) Octubre 26-28, 1988. Bogota Colombia. pp 111-118.
- Perdomo, A. and J. S. Burris. 1998. Histochemical, physiological and ultrastructure changes in the maize embryo during artificial drying. *Crop Sci.* 38: 1236-1244.
- Powell, A. A. and S. Matthews. 1981. Evaluation of controlled deterioration, a new vigor test for small seeds vegetables. *Seed Sci. Technol.* 9(3): 633-640.
- Pritchard, H. W. and P. T. Seaton. 1993. Orchid seed storage: historical perspective, current status, and future prospects for long-term conservation. *Selbyana* 14: 89-104.
- Priestley, D. 1986. Seed ageing: implications for seed storage and persistence in the soil. New York, Comstock.
- Rathi, S. S., N. G. Shah, S. S. Zambre, V. H. Kalbadande, and K. V. Venkatesh. 2000. Respiration, sorption and germination of seed stored in controlled atmosphere. *Seed Sci. Technol.* 28: 341-348.
- Roberts, E. H., M. W. King and R. H. Ellis. 1984. Recalcitrant seeds: their recognition and storage, *In: J. H. W. Holden and J. T. Williams (eds.). Crop genetic resources: Conservation and evaluation.* George Allen and Unwin, London. p. 38-52.
- Roberts, E. H. and M. W. King. 1980. The characteristics of recalcitrant seed. *In: Chin, H. F. and Roberts, E. H. (eds.) recalcitrant Crop Seeds.* Tropical Press, Malaysia, pp.1-5.
- Roberts, E. H. 1973. Predicting the storage life of seed, *Seed Sci. Technol.* 1:499-514.
- Seaton, P. T. and N. S. J. Hailes. 1989. Effect of temperature and moisture content on the viability of *Cattleya aurantiaca* seed. In *Modern Methods in Orchid conservation: The Role of Physiology, Ecology and Management* (H.W. Pritchard, ed.) Cambridge University Press, Cambridge. pp: 17-29.

- Singh, A. R. 1987. Relative storability of three seed grades under different storage environments in sorghum.
- Tamari, C. 1976. Phenology and Seed Storage Trials of Dipterocarps. Research Pamphlet No 69. Forestry Department, Forest Research Institute, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Vázquez, Y. C., A. Orozco S., M. E. Sánchez –Coronado., M. Rojas- Aréchiga., y V. Cervantes. 1997. “La reproducción de las plantas: semillas y meristemas”. La ciencia para todos. Ed. Fondo de Cultura Económica. México. 167 p.
- Vásquez, Y. C. 1987. Los bancos de almacenamiento de semillas en la conservación de especies vegetales. Rev. Ciencia Forestal. Vol. 38 pp. 239-246.
- Vertucci, C. and E. E. Roos. 1993. Theoretical basis of protocols for seed storage II. The influence of temperature on optimal moisture levels. Seed Sci. Res. 3: 201-213.
- White, N. D. G., and D. S. Jayas. 1991. Factors affecting the deterioration of stored flaxseed including the potential of insect infestation. Can. J. Plant Sci. 71: 327-335.
- Woodward, J. D., and P. D. Blankenship. 1974. Some Results of Storage Test son Farmers Stock Peanuts. *Peanut Sciece*. pp: 34-39.

CAPÍTULO I. CALIDAD FISIOLÓGICA Y ESTUDIOS DE LATENCIA EN SEMILLAS DE ACCESIONES DE PAPAYO (*Carica papaya* L.)

RESUMEN

Se evaluó la calidad física y fisiológica en semillas de 15 accesiones de *Carica papaya* L. Primero, se midieron seis características físicas de 15 accesiones de polinización libre. Luego, se determinaron tres características físicas y nueve fisiológicas tanto en accesiones de polinización libre como de polinización controlada, procedentes de cinco Estados de México. El diseño experimental fue un completamente al azar. Para la medición de las seis características físicas de las semillas de polinización libre, se utilizaron tres repeticiones de 100 semillas por accesión, mediante una digitalización de imágenes con el software ImageJ. Mediante un análisis de componentes principales y utilizando los dos primeros componentes (CP) se determinó que la variabilidad física de semillas se explica en un 84.05 % de la variabilidad total. Con una correlación de Pearson se definieron dos grupos, de los cuales el primero quedo conformado por las accesiones 18, 87, 129-a, 135, 207 y 216, caracterizadas por ser de semilla con tamaño grande, mientras que, el segundo grupo fue conformado por nueve accesiones; de las cuales, las accesiones 172, 173, 174, 189 y 217 fueron de semilla chica. En la calidad física, fisiológica y eliminación de latencia en semillas de papayo se encontraron diferencias significativas entre accesiones ($P \leq 0.05$). Se concluye que el manejo postcosecha de la semilla influye en la calidad física, fisiológica y rompimiento de latencia.

Palabras clave: *Carica papaya* L., germinación, latencia, tratamientos de pre-germinación.

**CHAPTER I. PHYSIOLOGICAL QUALITY AND DORMANCY STUDIES IN SEEDS
OF PAPAYO ACCESSIONS (*Carica papaya* L.)**

ABSTRACT

The physical and physiological quality of seeds was evaluated in 15 accessions of *Carica papaya* L. First, six physical characteristics of 15 accessions of papaya with free pollination were measured. Then, three physical and nine physiological characteristics were determined in both free and controlled pollination accessions from five Mexican States. The experimental design was a completely randomized design. The measurement of the six physical characteristics of free pollination seeds, was carried out using three replicates of 100 seeds per accession, by means of a digitalization of images with the ImageJ software. In an analysis of main components and using the first two components (CP) the physical variability of seeds was explained in 84.05% of the total variability. Pearson correlation defined two groups, of which the first one was composed by accessions 18, 87, 129-a, 135, 207 and 216, characterized as having large-sized seed, whereas the second group included nine accessions; of which, accessions 172, 173, 174, 189 and 217 presented small seed. In the physical, physiological quality and elimination of dormancy in papaya seeds, significant differences were found between accessions ($P \leq 0.05$). It is concluded that the postharvest management of the seed influences the physical quality, physiological and dormancy breaking.

Keywords: *Carica papaya* L., germination, dormancy, pre-germination treatments.

1.1. INTRODUCCIÓN

El papayo (*Carica papaya* L.) es considerado de origen americano, específicamente de Centroamérica, entre México y Costa Rica (León, 1987). En México, se distribuye en la vertiente del Golfo de México, desde Tamaulipas hasta la Península de Yucatán. En la vertiente del Pacífico, se localiza desde Baja California hasta Chiapas, a una altitud de 0 a 1000 m (CONABIO, 2007). La exploración y recolección de los recursos fitogenéticos es una labor técnica que se busca reunir toda la información necesaria en virtud de conocer y conservar el recurso nativo de México. Una vez, que se tiene reunido el material genético, es importante realizar estudios que engloben a la morfología y calidad de la semilla. Caracterizar morfológicamente es una forma de diferenciar la variabilidad y la relación que existe con base en las características morfológicas y las semejanzas entre accesiones (Hidalgo, 2003). Entre estas características se encuentran el tamaño, forma y color de las semillas.

Por otra parte la calidad de la semilla, está dado por la valoración de diferentes atributos (Kelly, 1988), los cuales optimizan el establecimiento de una planta en campo, entre los que destacan la calidad física, fisiológica (Bishaw *et al.*, 2007). La calidad física incluye características como el porcentaje de humedad, peso de 1000 semillas, peso volumétrico; la calidad fisiológica involucra aspectos de germinación, viabilidad y vigor (Bishaw *et al.*, 2007; Moreno, 1996). Estos parámetros nos ayudan a conocer el grado de deterioro, estructura y función de las semillas.

La calidad fisiológica que presenta un lote de semillas, se evalúa con diversas metodologías; de ellas la prueba de germinación standar, viabilidad con tetrazolio y vigor (Besnier, 1989). El uso de estas pruebas se debe a la confiabilidad de resultados cuando se analiza una misma muestra en diversos laboratorios de control de calidad (Basra, 1995; ISTA, 2009), bajo condiciones de

temperatura, luz, humedad y tiempo, donde las semillas expresen su más alto poder germinativo, viabilidad y vigor (Moreno, 1996).

En la prueba de germinación es frecuente encontrar semillas que no llegan a germinar aun cuando han absorbido agua y oxígeno, y además de encontrarse en condiciones adecuadas de temperatura, luz y humedad (Besnier, 1989; Bewley y Black, 1994). Este efecto en las semillas, se le conoce como latencia y para germinar demandan un manejo especial que muchas veces implica un tratamiento de pre-germinación (Bradford, 2004; ISTA, 2009).

La latencia es la incapacidad de una semilla intacta y viable, de germinar bajo condiciones de temperatura, humedad y concentración de gases que serían adecuados para la germinación (Varela y Arana, 2011). La latencia es clasificada: 1) Latencia primaria; subclasificada en exógena y endógena y 2) latencia secundaria; subclasificada en combinacional y endógeno (Baskin y Baskin, 1998).

Cuando en una prueba de germinación existen semillas con problemas de latencia, Camacho (1994), Moreno (1996), Bradford y Hiroyuki (2007) y la ISTA (2009) indican que se pueden aplicar algunos de los siguientes tratamientos: 1) En semillas con latencia debida a factores físicos: escarificación mecánica; escarificación con ácido sulfúrico o nítrico; remojar la semilla con agua caliente; exponer la semilla a temperaturas altas (40 °C) previo a la siembra; alternar temperaturas altas y bajas (choque térmico), etc. 2) En semillas con latencia debida a factores fisiológicos, Camacho (1994) e ISTA (2009), recomiendan aplicar giberelinas y citoquininas; tratamiento con etileno y nitrato de potasio; luz; pre-enfriamiento; y pre-calentamiento.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad física y fisiológica en semillas de accesiones de *C. papaya* mediante el uso de agua, AG_3 y KNO_3 , en el rompimiento de latencia.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1. Ubicación del área de estudio y material biológico

El presente estudio se realizó durante los meses de Mayo-Septiembre del 2015 en el laboratorio del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en el Estado de México a 19° 27' 38.38" LN y 98° 54' 30.54" LO, a una altitud de 2243 m.

Se cosecharon frutos aptos para el consumo en estado de madurez fisiológica 6 y 7 (con más de un 86 % de color amarillo en la cáscara) de acuerdo con la escala desarrollada por Fonseca (2002), de plantas crecidas en el área experimental del proyecto "Mantenimiento y conservación de germoplasma de *C. papaya*", ubicada en la localidad de Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, en los 19°11'41.51" LN y 96°20'27.17" LO, a una altitud de 39 m; se extrajo las semillas de diferentes accesiones de papayo. De estas accesiones, 10 fueron de polinización controlada del mes de diciembre del 2014 y 15 de polinización libre en marzo de 2015 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Datos pasaporte de las accesiones de semillas estudiadas de *C. papaya*.

Accesión no ^d .	Año	Grado de manejo	Estado	Municipio	Localidad	Latitud N	Longitud O	Altitud (m)
18L	2015	Cultivada	Veracruz	Paso de Ovejas	Paso de Ovejas	19°17'03.97"	96°26'15.97"	46
87C/L	2014-15	Huerto familiar	Gro.	Ayutla	El Cortijo	16°59'23"	99°09'07.6"	358
129-aL	2015	Semi-domesticada	Tabasco	H. Cárdenas	Abejonal	17°58'42"	93°24'12.5"	33
135L	2015	Semi-domesticada	Tabasco	Cunduacán	Ejido La Chonita	18°08'6.5"	93°15'18.0"	11
165C/L	2014-15	Semi-domesticada	Tabasco	Huimanguillo	La Venta	18°05'6.9"	94°02'23.8"	6
172C/L	2014-15	Silvestre	Chiapas	Playa Catazaja	Ejido Cuauhtémoc	17°41'47.8"	92°05'35.9"	44
173C/L	2014-15	Silvestre	Chiapas	Playa Catazaja	Ejido Cuauhtémoc	17°41'48.4"	92°05'10.2"	29
174C/L	2014-15	Silvestre	Chiapas	Pochitoca	Jaboncillo	17°41'46.8"	92°04'06.6"	30
189C/L	2014-15	Silvestre	Tabasco	Tenosique	Sn. Carlos	17°25'38.1"	91°29'32.5"	42
207L	2015	Cultivada	Camp.	Calakmul	Emiliano Zapata	18°30'44.4"	89°40'44.9"	200
210-aC/L	2014-15	Huerto familiar	Camp.	Calakmul	Conguas	18°32'26.1"	89°55'25.9"	159
210-bC/L	2014-15	Huerto familiar	Camp.	Calakmul	Conguas	18°32'26.1"	89°55'25.9"	159
215C/L	2014-15	Huerto familiar	Camp.	Calakmul	Constitución	18°37'31.8"	90°08'5.1"	81
216L	2015	Huerto familiar	Camp.	Escárcega	Centenario	18°37'32.6"	90°08'4.8"	77
217C/L	2014-15	Silvestre	Camp.	Escárcega	Centenario	18°39'4.6"	90°16'53.8"	65

^dLas letras que acompañan a cada número (no.) de accesión indican el tipo de polinización, C controlada, L libre.

1.2.2. Acondicionamiento y calidad física de las semillas

Durante el acondicionamiento de las semillas se realizó el corte transversal de cuatro frutos por accesión y con el apoyo de una espátula se extrajeron las semillas. Después, se depositó en un tamiz de plástico donde se eliminó por frotación la sarcotesta (capa mucilaginosa) y se enjuagaron con abundante agua corriente. Posteriormente, se secaron sobre toallas sanitas a temperatura ambiente por un periodo de 3 días y luego empaquetadas en bolsas de papel, las semillas fueron utilizadas para evaluar su calidad física y fisiológica en condiciones de laboratorio.

En la evaluación de características físicas de semillas, se obtuvo una muestra al azar de 300 semillas por accesión y se dividió en tres repeticiones de 100 semillas cada una. Después, cada repetición se colocó directamente en un escáner marca hp DESKJET INK ADVANTAGE 3545 acoplado a una computadora portátil. El procesamiento de las imágenes de las semillas se realizó mediante el paquete ImageJ. Los datos obtenidos fueron: área (A), perímetro (P), largo (L), ancho (An), redondez (R) y solidez (S).

1.2.3. Análisis físico de las semillas

Contenido de humedad de las semillas (CHS). De cada accesión se tomó una muestra de 100 semillas, la cual se dividió en cuatro repeticiones de 25 semillas cada una. Después, se obtuvo el peso del recipiente en g, subsecuentemente, el peso del recipiente y su contenido en g antes del secado, sobre una balanza analítica con una precisión de 0.0001 g. Después, se pusieron a secar en una estufa durante 1 hora a 130 ± 1 °C. Inmediatamente después de este lapso de tiempo, se obtuvo el peso final del recipiente conteniendo las semillas (ISTA, 1993).

El contenido de humedad de las semillas se calculó con base al peso de las semillas de la siguiente manera:

$$\% \text{ Contenido de humedad de las semillas} = (M_2 - M_3) \times \frac{100}{(M_2 - M_1)}$$

En donde:

M_1 = Peso del recipiente en g.

M_2 = Peso de recipiente y su contenido en g antes del secado

M_3 = Peso del recipiente y su contenido en g después del secado

Peso de cien semillas (PCS). Se determinó con una balanza electro analítica. Se pesaron tres repeticiones de cien semillas por accesión, y se expresó en gramos (g).

Peso volumétrico (PV). En una balanza electro analítica, se pesaron tres repeticiones de 3 g de semillas por accesión. Después, en una probeta de 100 ml se depositaron 3 g de semillas, posteriormente, se aplicó 30 ml de agua. Los 3 g de semilla y 30 ml de agua, dieron como resultado el volumen ocupado en mililitros (ml). El peso volumétrico se calculó mediante la siguiente expresión:

$$PV = \frac{\text{Peso de las semillas (3 g)}}{\text{Volumen ocupado por los 3 g y 30 ml de agua (ml)}} \times 100$$

En donde:

PV = Peso volumétrico

Finalmente en cada accesión, se obtuvo el promedio de las tres repeticiones de semillas de papayo.

1.2.4. Pruebas de laboratorio

Antes de llevar a cabo la prueba de germinación de las semillas para cada una de las accesiones de papayo, se determinó la prueba de viabilidad con tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifeníl tetrazolio) (Sigma®), en concentración al 0.2 %. De cada accesión se tomó una muestra de 100 semillas, la cual se dividió en cuatro repeticiones de 25 semillas cada una.

Prueba de viabilidad con el método de tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifeníl tetrazolio)

Las semillas se acondicionaron en agua destilada durante 18 h. Después, se practicó una disección longitudinal a las semillas, para extraer el embrión y luego exponerlo en recipientes de plástico de 50 ml con agua destilada para evitar la muerte del mismo. Subsecuentemente, se retiró el agua destilada y se expusieron a la solución de tetrazolio, utilizando una solución al 0.2 % y al instante se colocó una toalla sanitaria para evitar su flotación. Estas se dejaron reposar a una temperatura de 23 °C por 72 h en obscuridad. Al término de este periodo, los embriones se retiraron de la solución y con ayuda de una coladera y piseta se lavaron por tres ocasiones con agua destilada para eliminar restos de solución de tetrazolio; finalmente se evaluó la viabilidad de los embriones en un microscopio estereoscópico, donde se tomaron criterios de los patrones de tinción observados en los embriones de semillas de papayo y los determinados para otras especies.

Evaluación de embriones. Cabe mencionar que no existe un protocolo en las normas del ISTA de esta prueba de viabilidad para la especie papaya, por lo que dicha evaluación fue realizada con gran precisión, tomando en cuenta ensayos previos de esta prueba, y varios criterios relacionados con base a otros patrones de coloración en especies cercanas a la morfología embrionaria de papaya. Las variables estudiadas fueron las siguientes:

Porcentaje de embriones con vigor alto (PEVA). Se determinó el número de embriones con sus dos cotiledones planos y delgados, eje embrionario y radícula (Gil y Miranda, 2005); bien desarrollados y teñidos de color rojo uniforme e intenso.

Porcentaje de embriones con vigor medio (PEVM). Se determinó el número de embriones con sus dos cotiledones planos y delgados, eje embrionario y radícula (Gil y Miranda, 2005); bien desarrollados y de color rojo medio uniforme. El margen y ápice de los cotiledones de tono anaranjado - rojizo. El eje embrionario teñido de color rojo intenso. La base y parte terminal de la radícula de un color rosa.

Porcentaje de embriones con vigor bajo (PEVB). Se determinó el número de embriones con sus dos cotiledones planos y delgados, eje embrionario y radícula (Gil y Miranda, 2005); con un desarrollo deficiente y de color rosa pálido.

Porcentaje total de embriones viables (PTEV). En este parámetro se determinó la sumatoria del número de embriones con vigor alto, embriones con vigor medio y embriones con vigor bajo.

Porcentaje de embriones no viables (PENV). En este parámetro se determinó el número de embriones con sus dos cotiledones planos y delgados, eje embrionario y radícula (Gil y Miranda, 2005) sin tinción.

Prueba de germinación

En la prueba de germinación se utilizó el método “entre papel”, donde el sustrato (sanitas) se humedeció con agua destilada y se colocaron cuatro repeticiones de 25 semillas distribuidas sobre doble capa de papel “sanitas” y luego se enrollaron en forma de “taco”. Después los “tacos” se colocaron en bolsas transparentes de plástico de 2 kg. Estas se llevaron a una cámara germinadora (Seedburo Equipment Company modelo 312738-3700) calibrada a 35 ± 5 °C

(Furutani y Nagao, 1987). Después de los 30 días de siembra, se evaluó el porcentaje de germinación (ISTA, 2004). Las variables evaluadas fueron las siguientes:

Porcentaje de plántulas normales (PPN). Se contabilizó el número de plántulas que presentaron sus dos hojas cotiledonarias, primera hoja verdadera, hipocótilo, y un sistema radical bien definido (Vázquez, 1997).

Porcentaje de plántulas anormales (PPA). Se contabilizó el número de plántulas que presentaron sus dos hojas cotiledonarias, primera hoja verdadera, hipocótilo, y un sistema radical (Vázquez, 1997); con fisuras o lesiones.

Porcentaje total de germinación (PTG). En este parámetro se determinó la sumatoria del número plántulas normales y plántulas anormales.

Porcentaje de semillas no germinadas (PSNG). Se contabilizó el número de semillas que permanecieron latentes. Además, se consideraron aquellas semillas que absorbieron agua y se hincharon sin ocurrencia de germinación (Vázquez, 1997).

Velocidad de emergencia (VE). Una vez que emergió la primera radícula de las semillas (2 mm), se realizó el conteo inicial (N_i), hasta que se obtuvo el número constante de radícula emergida de las semillas (X_i). La velocidad de emergencia, se calculó con base a la expresión propuesta por Maguire (Citado por Copeland y McDonald, 1995):

$$VE = \sum_{i=1}^n \left[\frac{N_i}{X_i} \right]$$

En donde:

VE = Velocidad de emergencia

N_i = Número de semillas germinadas por día

X_i = Días transcurridos después de haber realizado la siembra

1.2.5. Rompimiento de latencia mediante tratamientos de pre-germinación

En una evaluación previa para determinar si había latencia en las semillas de 15 accesiones de papayo, se probaron algunos tratamientos de pre-germinación en semillas de polinización libre en las accesiones 18, 173, 210-a, 215 y 217, donde había 700 semillas, en esta prueba se procedió como se describe a continuación.

1. Desinfección de las semillas. Se desinfectaron 100 semillas por accesión durante 5 minutos, en una solución de hipoclorito de sodio al 5 %, usando el producto comercial cloralex[®] (al 6 % de i.a.) y finalmente se enjuagaron con agua destilada.

2. Sustrato utilizado. Como sustrato se utilizaron toallas sanitas dobles, las cuales se humedecieron en agua destilada. En cada toalla sanita se colocaron 25 semillas distribuidas uniformemente y se enrollaron en forma de “taco”, después, se colocaron cuatro tacos o grupos de 25 semillas en una bolsa de plástico transparente con capacidad de 2 kg.

3. Soluciones utilizadas. Se utilizaron productos comerciales en polvo ácido giberélico *SIGMA*[®] y nitrato de potasio (Técnica Química S. A). En dos matraces de Erlenmeyer de 1000 ml, se preparó una solución de 500 ppm y 1.8 Mm de ácido giberélico (AG₃) en cada uno con pureza de 90 %. En otro matraz con un litro de agua, se preparó una solución de 0.1 M de nitrato de potasio (KNO₃) con pureza de 99.5 %.

4. Aplicación de tratamientos de pre-germinación. Se optó probar algunos tratamientos de pre-germinación en semillas de cinco accesiones de *C. papaya* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos de pre-germinación aplicados en semillas de cinco accesiones de *C. papaya* en una dilución de 70 ml.

Tratamiento	Concentración	Tiempo de inmersión
T ₁ Testigo (T)	0	0
T ₂ Agua destilada (AD)	Agua pura	24 horas
T ₃ Ácido giberélico (AG ₃)	500 ppm	24 horas
T ₄ Ácido giberélico (AG ₃)	1.8 Mm	24 horas
T ₅ Nitrato de potasio (KNO ₃)	0.1 M	24 horas
T ₆ Ácido giberélico + Nitrato de potasio (AG ₃ + KNO ₃)	500 ppm AG ₃ + 0.1 M KNO ₃	12 AG ₃ + 12 KNO ₃ horas
T ₇ Ácido giberélico + Nitrato de potasio (AG ₃ + KNO ₃)	1.8 Mm AG ₃ + 0.1 M KNO ₃	12 AG ₃ + 12 KNO ₃ horas

La metodología utilizada en los tratamientos de pre-germinación de las semillas indicados en el cuadro anterior:

T₁ Testigo. Semillas desinfectadas y sin inmersión en una de las sustancias.

T₂ Agua destilada. Para este tratamiento las semillas se desinfectaron y se dejaron sumergidas en un vaso de precipitado de 70 ml con agua destilada durante 24 horas.

T₃ Ácido giberélico a 500 ppm. Las semillas se desinfectaron y se dejaron sumergidas en un vaso de precipitado de 70 ml con una concentración de 500 ppm de ácido giberélico por un tiempo de 24 horas.

T₄ Ácido giberélico a 1.8 Mm. Las semillas previamente desinfectadas se dejaron sumergidas en un vaso de precipitado de 70 ml con una concentración de 1.8 Mm de ácido giberélico durante 24 horas.

T₅ Nitrato de potasio a 0.1 M. Para este tratamiento las semillas se desinfectaron y se dejaron sumergidas en un vaso de precipitado de 70 ml con una concentración de 0.1 M de nitrato de potasio por un tiempo de 24 horas.

T₆ Ácido giberélico a 500 ppm más Nitrato de potasio a 0.1 M. Las semillas se desinfectaron y se dejaron sumergidas en un vaso de precipitado de 70 ml con una concentración de 500 ppm de ácido giberélico durante 12 horas, una vez transcurrido este tiempo, con el apoyo de una coladera se retiró la solución de ácido giberélico y al instante se agregó 70 ml de una concentración de 0.1 M de nitrato de potasio y se dejaron embebiendo hasta completar 24 horas.

T₇ Ácido giberélico a 1.8 Mm más Nitrato de potasio a 0.1 M. Las semillas previamente desinfectadas se dejaron sumergidas en un vaso de precipitado de 70 ml con una concentración de 1.8 Mm de ácido giberélico por un tiempo de 12 horas, después de este lapso de tiempo, con el apoyo de una coladera se retiró la solución de ácido giberélico y en seguida se agregó 70 ml de una concentración de 0.1 M de nitrato de potasio y se dejaron embebiendo hasta completar 24 horas.

Siembra de semillas y ambiente utilizado: En cuatro toallas sanitas se distribuyeron 25 semillas en cada una y se enrollaron en forma de “taco”, posteriormente, se depositaron en una bolsa de plástico transparente con capacidad de 2 kg y se llevaron a la cámara de germinación (Seedburo Equipment Company modelo 312738-3700; con dos lámparas de 40 W) calibrada a 35 ± 5 °C,

ahí se mantuvieron durante 30 días. El riego consistió cada ocho horas y la germinación se evaluó diariamente.

Problemas fitosanitarios. Durante la prueba de germinación de semillas de papayo, se observó la presencia de un algodoncillo de color gris que rodeaba completamente la testa de las semillas; este síntoma, se percibió a los ocho días después de haber establecido la siembra, lo que condujo a retirar inmediatamente las semillas afectadas y en una solución de hipoclorito de sodio al 5 % se sumergieron las semillas y manualmente por fricción se eliminó el algodoncillo.

1.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, en la calidad física y fisiológica de semillas.

En la fase de rompimiento de latencia, se utilizó un arreglo de tratamientos factorial 5 x 7, en un diseño completamente al azar, donde los factores fueron: accesiones (18, 173, 210-a, 215 y 217) y tratamientos, (siete tratamientos T1 al T7) dando un total de 35 tratamientos con cuatro repeticiones; el tamaño de muestra fue de 25 semillas.

1.4. Análisis estadístico

Los datos de calidad física y fisiológica y eliminación de latencia, se capturaron en una base de datos Excel 2013 (Microsoft). En las características físicas de las semillas (área, perímetro, largo, ancho, redondez y solidez) se obtuvieron promedios de cada una, en las cuales se realizó un análisis de componentes principales y conglomerados Jerárquico o Análisis de Clúster para agrupar las accesiones de acuerdo al grado de manejo. En otras características físicas como peso de cien semillas y peso volumétrico, se obtuvo el análisis de varianza y comparación de medias con sus pesos reales, mientras, que en el contenido de humedad de las semillas, calidad fisiológica y el rompimiento de latencia, como los datos se obtuvieron en porcentajes, se

transformaron con la función arcoseno para cumplir con los supuestos del modelo; posteriormente, se realizó el análisis de varianza para cada variable, y la comparación múltiple de medias, con la prueba de Tukey, mediante el paquete estadístico SAS para Windows Versión 9.0 (SAS, 2002). En ocasiones fue necesario realizar un análisis no paramétricos, ya que para algunas variables no fue posible encontrar una transformación que cumpliera con los supuestos del modelo lineal.

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1. Calidad física

Análisis de componentes principales. Con la finalidad de conocer la semejanza entre las accesiones con base a las características físicas (Hidalgo, 2003), se realizó el análisis de componentes principales (Cuadro 3).

En el Cuadro 3 se presentan los dos componentes principales que describen la variación que hubo en los datos, así como los valores propios y las varianzas absoluta y acumulada. Respecto a los valores propios de cada uno de los componentes, se aprecia que la mayor varianza se concentra en el componente principal uno (CP1).

Los dos componentes principales explicaron el 84.05 % de la variación total; el CP1 representadas por área, perímetro, largo y ancho, respectivamente explica el 66.65 % de la variabilidad. Esto quiere decir, que la mayor proporción de la variación explicada en el componente principal uno, está determinada por cuatro características físicas de la semilla.

Cuadro 3. Valores propios y proporción de la varianza explicada por los componentes principales con base a seis características de las semillas de 15 accesiones de *C. papaya*, provenientes de cinco estados de México.

VARIABLES	CP1	CP2
Área de la semilla	0.496	0.052
Perímetro de la semilla	0.491	-.168
Largo de la semilla	0.495	-.018
Ancho de la semilla	0.499	0.029
Redondez de la semilla	0.128	0.342
Solidez de la semilla	0.007	0.922
Valor propio	3.999	1.044
Varianza absoluta (%)	66.65	17.41
Varianza acumulada (%)	66.65	84.05

El componente principal dos (CP2), explica el 17.41 % de la variación total, dos características de las semillas fueron de mayor importancia: la redondez y solidez.

En el diagrama bidimensional se muestra la dispersión de las accesiones de papayo que agrupa a éstas de acuerdo a sus características en un plano formado por CP1 y CP2 (84.05 % de la variabilidad total) (Figura 1).

En la Figura 1 se evidencia que las accesiones se concentraron en dos grupos; el grupo 1 se conformó por seis accesiones, que presentaron valores promedios de largo (5.62 mm) y de ancho (4.19 mm) en las semillas, las cuales se caracterizaron por ser de tamaño grande y correspondieron al grado de manejo semi-domesticada, huerto familiar y cultivada.

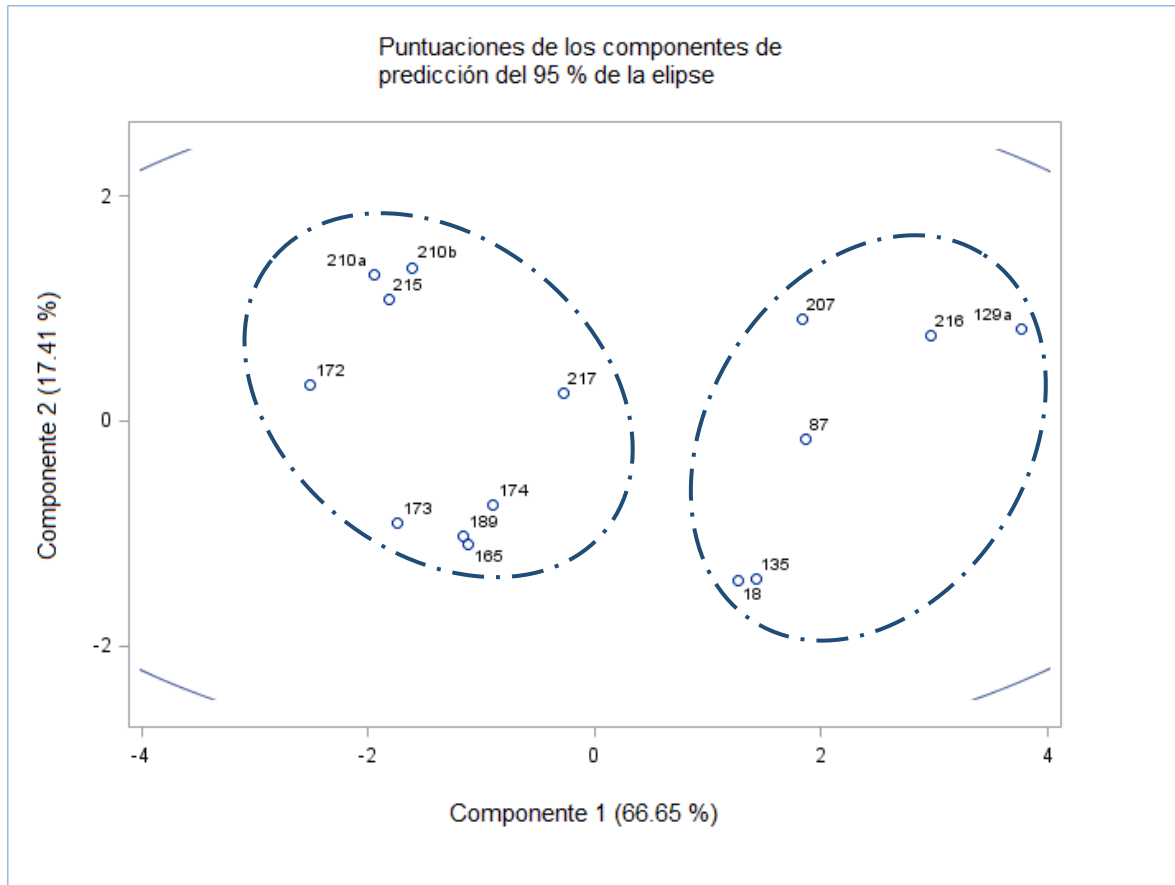


Figura 1. Diagrama de dispersión de 15 accesiones de *C. papaya*, con base a los componentes principales 1 y 2.

El grupo 2 integrado por nueve accesiones, presentaron un tamaño de semilla pequeña, y éstas tuvieron valores promedios de largo (5.07 mm) y de ancho (3.80 mm) en las semillas. Dichas accesiones pertenecen al grado de manejo silvestre, semi-domesticada y huerto familiar. De las nueve accesiones de este grupo, cinco (172, 173, 174, 189, 217) son de tipo silvestre y se desarrollan en conjunto con vegetación secundaria y cierto tipo de selvas.

Análisis de conglomerados jerárquicos. Con el objetivo de clasificar las accesiones de papayo, en grupos relativamente homogéneos con base en las características físicas o alguna similitud

existente entre estas (Hair *et al.*, 1992; López e Hidalgo, 1994), se realizó el análisis de conglomerados jerárquico (Figura 2), empleando seis caracteres.

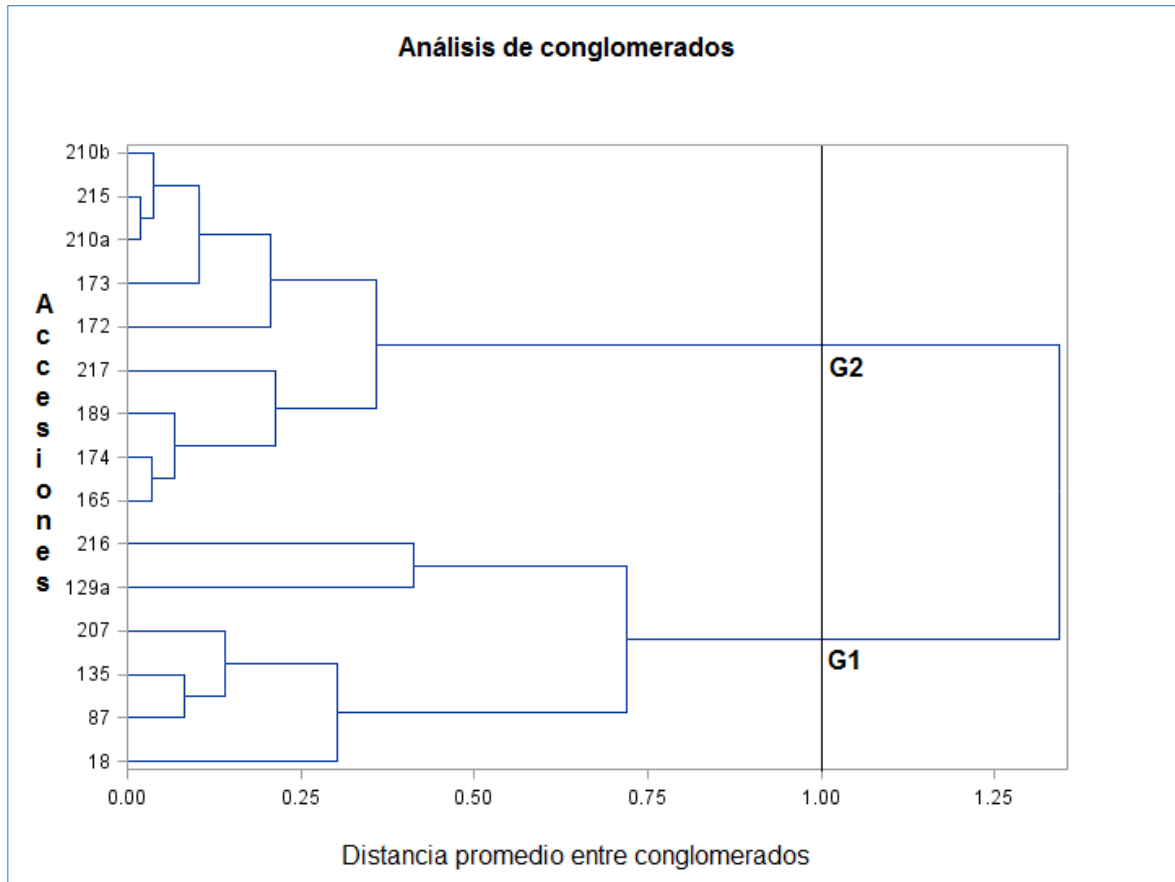


Figura 2. Dendrograma de 15 accesiones de *C. papaya* de Veracruz, Guerrero, Tabasco, Chiapas y Campeche, con base en seis variables de calidad física de semillas.

En el Dendrograma de la Figura 2, considerando las 15 accesiones de papayo, y usando como método de similitud, la distancia Euclidiana, se formaron dos grupos principales, el primero integrado por seis accesiones con grado de manejo semi-domesticada, huerto familiar y cultivada y el segundo constituido por nueve accesiones, que presentaron el grado de manejo silvestre, semi-domesticada y huerto familiar. La agrupación coincidió con la dispersión proyectada por los componentes principales 1 y 2 del diagrama bidimensional (Figura 1).

1.5.2. Evaluación de calidad física y fisiológica en semillas de 15 accesiones de *C. papaya* de polinización libre

1.5.2.1. Evaluación de la calidad física

La prueba de Tukey estableció diferencias entre accesiones de papayo evaluadas para todas las variables de calidad física (Cuadro 4). En el peso de cien semillas, la accesión 129-a con 2.42 g fue la de mayor peso, en comparación con la accesión 172 que presentó un peso menor (0.94 g). En relación al peso de cien semillas encontrado en la presente investigación, indica que, las semillas estuvieron relacionadas con su tamaño y contenido de humedad.

Respecto al peso volumétrico de semillas, la accesión 174, 210-b, 215, 173 y 172 (50.17, 50.14, 50.13, 50.10 y 50.07 g mL⁻¹) fueron mejores, dado que presentaron valores altos, en contraste con la accesión 207 y 129-a, de manera que obtuvieron valores bajos (33.33 y 33.32 g mL⁻¹). Con base al peso volumétrico generado en el presente estudio, permite distinguir que, las semillas estuvieron relacionadas con su peso y volumen.

En cuanto al contenido de humedad de las semillas, la accesión 210-b y 18 (12.04 y 11.14 %) fueron estadísticamente similares, las cuales tuvieron contenidos de humedad mayores, en contraste con la accesión 207 que presentó un contenido de humedad menor (8.34 %); al respecto, Cerovich y Miranda (2004) señalan que esto se puede atribuir al hecho de que las semillas son higroscópicas, debido a que absorben o liberan humedad, dependiendo del ambiente donde se almacenen.

Cuadro 4. Comparación de medias para las variables de calidad física en accesiones de *C. papaya* de polinización libre.

Accesión	PCS (g)	PV (g mL ⁻¹)	CHS (%)
18	1.93 b	37.69 d	11.14 ab
87	1.85 c	37.54 e	8.93 hij
129-a	2.42 a	33.32 f	9.89 def
135	1.74 d	37.49 e	10.68 bcd
165	1.35 f	42.91 c	9.15 fghi
172	0.94 i	50.07 ab	9.31 fghi
173	1.23 g	50.10 ab	8.65 ij
174	1.18 gh	50.17 a	9.79 efg
189	1.18 gh	50.08 ab	8.97 ghij
207	1.91 bc	33.33 f	8.34 j
210-a	1.50 e	50.04 b	10.94 bc
210-b	1.11 h	50.14 ab	12.04 a
215	1.24 g	50.13 ab	10.18 cde
216	1.89 bc	37.51 e	9.60 efgh
217	1.69 d	37.54 e	9.64 efgh
DMS	0.08	0.13	0.81

Letras diferentes dentro de cada columna, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); PCS = Peso de cien semillas; PV = Peso volumétrico; CHS = Contenido de humedad de las semillas; DMS = Diferencia mínima significativa.

1.5.2.2. Evaluación de la calidad fisiológica

En el Cuadro 5 presenta las diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre accesiones para las variables de calidad fisiológica, excepto en el porcentaje total de embriones viables y el porcentaje de embriones con vigor medio en las que no hubo significancia ($P \geq 0.05$).

En general, el porcentaje de embriones con vigor alto y medio y bajo (Cuadro 5), la accesión 207 con 60 y 34 y 4 % fue la más vigorosa en comparación con la accesión 173 (0 y 10 y 74 %) menos vigorosa; al respecto la ISTA (1999) señala que los procesos de reducción de las células vivas toman el hidrogeno liberado por las enzimas deshidrogenasas y forma una sustancia roja,

estable y no difusible, el trifenil-formazan. Para el caso del porcentaje total de embriones viables, no hubo diferencias significativas entre accesiones.

En referencia al porcentaje de plántulas normales y anormales, las accesiones 210-a (82 y 1 %), 207 (81 y 8 %) y 189 (80 y 0 %) presentaron los valores mayores, mientras que, la accesión 87 con 18 y 3 % obtuvo los valores menores. Con respecto a los valores mayores del porcentaje de plántulas normales y anormales en el presente estudio, son superiores a los encontrados por Gutiérrez-Hernández *et al.* (2011), donde obtuvieron el 61 y 7 % en la variedad de maíz Oaxaca.

Respecto al porcentaje total de germinación y el porcentaje de semillas no germinadas, la accesión 18 con 91 y 9 % mostró valores altos en comparación con la accesión 87 de valores bajos (21 y 79 %). En cuanto al valor alto del porcentaje total de germinación de la presente investigación, es similar al encontrado por Pérez *et al.* (2006), donde obtuvieron el 91.0 % en la variedad de maíz H-358, mientras que, el valor bajo del porcentaje de semillas no germinadas fue superior al encontrado por Gutiérrez-Hernández *et al.* (2011), donde obtuvieron el 39 % en la variedad de maíz Puebla.

En cuanto al índice de velocidad de emergencia, la accesión 18 con 1.55 plantas emergidas por día fue mayor en comparación con la accesión 87, que presentó un número de plántulas emergidas por día menor de 0.23; estos resultados discrepan con lo obtenido por Pérez *et al.* (2006), al evaluar semillas de maíz (*Zea mays* L.) en la que obtuvieron 4.1 de velocidad emergencia en la variedad Campeón.

Cuadro 5. Comparación de medias para las variables en relación con la calidad fisiológica medidas en condiciones de laboratorio en semillas de accesiones de *C. papaya* originadas de polinización libre.

Accesión	PEVA (%)	PEVM (%)	PEVB (%)	PTEV (%)	PPN (%)	PPA (%)	PTG (%)	PSNG (%)	VE ^Ω
18	‡ 24 bc	48 a	25 ab	97 a	43 cde	48 a	91 a	9 d	1.55 a
87	‡ 3 bc	67 a	15 ab	85 a	18 e	3 cd	21 d	79 a	0.23 e
129-a	‡ 0 c	84 a	11 ab	95 a	51 abcde	30 ab	81 abc	19 bcd	1.05 bc
135	‡ 0 c	72 a	24 ab	96 a	39 de	23 abc	62 bc	38 bc	0.82 cd
165	‡ 5 bc	18 a	43 ab	66 a	36 de	31 ab	67 abc	33 bcd	0.93 bcd
172	‡ 0 c	37 a	33 ab	73 a	37 de	53 a	90 ab	10 cd	0.99 bc
173	‡ 0 c	10 a	74 a	84 a	43 cde	40 a	83 ab	17 cd	0.98 bc
174	‡ 0 c	33 a	20 ab	53 a	73 abcd	0 d	73 abc	27 bcd	0.85 bcd
189	‡ 0 c	11 a	44 ab	55 a	80 a	0 d	80 abc	20 bcd	1.07 bc
207	‡ 60 a	34 a	4 ab	98 a	81 ab	8 bcd	89 a	11 d	1.11 bc
210-a	‡ 0 c	46 a	38 ab	84 a	82 a	1 d	83 ab	17 cd	0.97 bc
210-b	‡ 1 bc	12 a	50 ab	63 a	47 abcde	2 d	49 cd	51 ab	0.56 de
215	‡ 1 bc	38 a	35 ab	74 a	45 bcde	34 ab	79 abc	21 bcd	0.81 cd
216	‡ 30 b	66 a	2 b	98 a	41 cde	27 ab	68 abc	32 bcd	0.76 cd
217	‡ 3 b	71 a	13 ab	88 a	77 abc	5 cd	82 ab	18 cd	1.22 ab
DMS		91.95	7.51	52.80	23.04	21.40	21.10	21.10	0.39

Letras diferentes dentro de la columna, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); ‡ = Letras diferentes denotan diferencias significativas Prueba de Kruskal-Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P \leq 0.05$); PEVA = Porcentaje de embriones con vigor alto; PEVM = Porcentaje de embriones con vigor medio; PEVB = Porcentaje de embriones con vigor bajo; PTEV = Porcentaje total de embriones viables; PPN = Porcentaje de plántulas normales; PPA = Porcentaje de plántulas anormales; PTG = Porcentaje total de germinación; PSNG = Porcentaje de semillas no germinadas; VE = Velocidad de emergencia; ^Ω = Número de plántulas emergidas por día; DMS = Diferencia mínima significativa.

1.5.3. Evaluación de calidad física y fisiológica en semillas de nueve accesiones de *C. papaya* de polinización controlada

1.5.3.1. Evaluación de la calidad física

En el Cuadro 6 se presentan los resultados del peso de cien semillas, así como su contenido de humedad, las cuales difirieron significativamente ($P \leq 0.05$). En referencia al peso de cien semillas, la accesión 87 presentó un peso mayor (1.73 g) en comparación con las accesiones 215 y 217, dado que tuvieron un peso menor (1.28 y 1.26 g). En cuanto al peso de cien semillas encontrado en la presente investigación, indica que, esta variable se relaciona con su tamaño y contenido de humedad.

Cuadro 6. Comparación de medias para las variables de calidad física en accesiones de *C. papaya* de polinización controlada.

Accesión	PCS (g)	CHS (%)
87	1.73 a	11.23 ab
165	1.50 c	10.11 cd
173	1.57 b	10.44 bc
174	0.84 f	12.02 a
189	1.39 d	10.81 bc
210-a	1.40 d	10.05 cd
210-b	1.40 d	9.46 d
215	1.28 e	8.49 e
217	1.26 e	10.17 cd
DMS	0.04	0.81

Letras diferentes dentro de la columna indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); PCS = Peso de cien semillas; CHS = Contenido de humedad de las semillas; DMS = Diferencia mínima significativa.

En relación al contenido de humedad de las semillas, la accesión 174 y 87 (12.02 y 11.23 %) fueron las de mayor contenido de humedad, en comparación con la accesión 215, la cual presentó un contenido de humedad bajo (8.49 %); al respecto, Cerovich y Miranda (2004)

mencionan que esto se puede atribuir al hecho de que las semillas son higroscópicas, debido a que absorben o liberan humedad, dependiendo del ambiente donde se almacenen.

1.5.3.2. Evaluación de la calidad fisiológica

En el Cuadro 7 se presentan las diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre accesiones para las variables de calidad fisiológica, no se incluye el porcentaje total de embriones viables y porcentaje de plántulas anormales donde no hubo diferencias ($P \geq 0.05$).

En general, el porcentaje de embriones con vigor alto y medio y bajo (Cuadro 7), la accesión 87 (91, 9 y 0 % respectivamente) fue la más vigorosa en comparación con la accesión 189, la cual fue menos vigorosa (0 y 55 y 45 %); esto quiere decir que, los embriones expuestos al tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifeníl tetrazolio), redujeron la solución, y la actividad de las deshidrogenasas incrementaron resultando la liberación de iones hidrógeno (Ruiz, 2009). Respecto al porcentaje total de embriones viables, no mostró diferencias significativas entre accesiones.

Cuadro 7. Comparación de medias para las variables en relación con la calidad fisiológica medidas en condiciones de laboratorio en semillas de accesiones de *C. papaya* originadas de polinización controlada.

Accesión	PEVA (%)	PEVM (%)	PEVB (%)	PTEV (%)	PPN (%)	PPA (%)	PTG (%)	PSNG (%)	VE ^Ω
87	91 a	9 b	† 0 e	100 a	-	-	-	-	-
165	47 ab	47 ab	† 5 de	99 a	22 c	6 a	28 c	72 a	0.31 b
173	16 bc	59 a	† 23 abc	98 a	58 a	15 a	73 a	27 c	0.87 a
174	6 bc	67 a	† 27 ab	100 a	45 ab	12 a	57 ab	43 bc	0.78 a
189	0 c	55 a	† 45 a	100 a	-	-	-	-	-
210-a	78 a	21 ab	† 0 e	99 a	26 bc	15 a	41 bc	59 ab	0.62 a
210-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-
215	24 bc	51 ab	† 23 bcd	98 a	-	-	-	-	-
217	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DMS	40.9	34.2		0.0	11.9	14.2	10.8	10.8	0.2

Letras diferentes dentro de la columna, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); † = Letras diferentes denota diferencias significativas Prueba de Kruskal_Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P \leq 0.05$); PEVA = Porcentaje de embriones con vigor alto; PEVM = Porcentaje de embriones con vigor medio; PEVB = Porcentaje de embriones con vigor bajo; PTEV = Porcentaje total de

embriones viables; PPN = Porcentaje de plántulas normales; PPA = Porcentaje de plántulas anormales; PTG = Porcentaje total de germinación; PSNG = Porcentaje de semillas no germinadas; VE = Velocidad de emergencia; Ω = Número de plántulas emergidas por día; DMS = Diferencia mínima significativa.

Con referencia al porcentaje de plántulas normales y anormales y porcentaje total de germinación, la accesión 173 con 58 y 15 y 73 % tuvo los valores mayores, en contraste con la accesión 165, que tuvo valores menores (22 y 6 y 28 %). Por cierto los valores mayores del porcentaje de plántulas normales y anormales en el presente trabajo, son diferenciales a los encontrados por Gutiérrez - Hernández *et al.* (2011), donde obtuvieron el 61 y 7 % en la variedad de maíz Oaxaca.

Para el caso del porcentaje de semillas no germinadas, como es una variable que determina la calidad de las semillas de manera inversa, la accesión 165 y 210-a (72 y 59 %) presentaron valores altos, en contraste con la accesión 173, que tuvo un porcentaje de semillas no germinadas bajo (27 %). En cuanto a los valores altos del porcentaje de semillas no germinadas en el presente estudio, fueron superiores al encontrado por Gutiérrez-Hernández *et al.* (2011), donde obtuvieron el 39 % en la variedad de maíz Puebla.

En relación al índice de velocidad de emergencia, las accesiones 173, 174 y 210-a con 0.87, 0.78 y 0.62 fueron mayores en comparación con la accesión 165, dado que presentó un número de plántulas emergidas por día menor (0.31); estos resultados difieren a los reportados por Pérez *et al.* (2006), al evaluar semillas de maíz (*Zea mays* L.) y obtuvieron 4.1 de velocidad de emergencia en la variedad Campeón.

1.5.4. Rompimiento de latencia en semillas de cinco accesiones de *C. papaya* de polinización libre mediante tratamientos de pre-germinación

Efecto de accesión. El Cuadro 8 muestra las diferencias significativas entre accesiones para todas las variables evaluadas. Referente al porcentaje de plántulas normales, las accesión 173 con 47.86 % presentó un valor alto en comparación con la accesión 217, ya que obtuvo el valor bajo (9.43 %). Por lo que respecta al porcentaje de plántulas normales encontrado en este trabajo, la ISTA (2005) señala que las semillas que manifiestan una respiración celular alta, tienden a generar plántulas normales.

Respecto al porcentaje de plántulas anormales, la accesión 217 con 69.00 % demostró el valor mayor, en contraste con la accesión 173, por lo que obtuvo un valor bajo (29.29 %). En referencia al porcentaje de plántulas anormales encontrado en esta investigación, la ISTA (2005) señala que las semillas que presentan una respiración celular baja, tardan más tiempo en germinar y muestran plántulas con malformaciones.

En cuanto al porcentaje total de germinación, la accesión 18 (89.29 %) fue mejor, ya que presentó el valor alto en comparación con la accesión 173, dado que mostró un valor bajo (77.14 %). Así mismo el porcentaje total de germinación encontrado en este estudio, la ISTA (2005) señala que las semillas manifestaron la capacidad de germinar, independientemente de que hayan generado plántulas normales o anormales.

Cuadro 8. Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica en semillas de accesiones de *C. papaya*.

Accesión	PPN (%)	PPA (%)	PTG (%)	PSNG (%)	VE ^Ω
18	‡ 30.00 b	59.29 b	89.29 a	10.71 b	3.94 a
173	‡ 47.86 a	29.29 d	77.14 b	22.86 a	3.21 b
210-a	‡ 42.86 a	38.71 c	81.57 ab	18.43 ab	2.75 c
215	‡ 37.71 ab	41.00 c	78.71 b	21.29 a	2.71 c
217	‡ 9.43 c	69.00 a	78.43 b	21.57 a	2.74 c
DMS		5.66	5.59	5.59	0.31

Letras diferentes dentro de la columna, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); ‡ = Letras diferentes denotan diferencias significativas Prueba de Kruskal_Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P \leq 0.05$); PPN = Porcentaje de plántulas normales; PPA = Porcentaje de plántulas anormales; PTG = Porcentaje total de germinación; PSNG = Porcentaje de semillas no germinadas; VE = Velocidad de emergencia; ^Ω = Número de plántulas emergidas por día; DMS = Diferencia mínima significativa.

Por lo que respecta al porcentaje de semillas no germinadas, la accesión 173 con 22.86 % fue mejor, de manera que obtuvo el valor mayor en comparación con la accesión 18, por lo que tuvo un porcentaje de semillas no germinadas menor (10.71 %). En cuanto al valor mayor de porcentaje de semillas no germinadas encontrado en esta investigación, se puede atribuir al hecho de que las semillas son de tipo silvestre, dado que en muchas ocasiones estas presentan problemas de latencia.

En relación al índice de velocidad de emergencia, la accesión 18 (3.94) fue mejor, puesto que presentó el valor alto en comparación con la accesión 215, ya que obtuvo un número de plántulas emergidas por día bajo (2.71). En cuanto al valor alto del índice de velocidad de emergencia encontrada en esta investigación, indica que las semillas son de tipo cultivada, las cuales han sufrido un proceso de selección y manipulación por el hombre, a tal grado que las plántulas emergen a un corto tiempo.

Efecto de tratamiento. En el Cuadro 9 se muestran las diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre accesiones para las variables de calidad fisiológica, menos en el porcentaje de plántulas normales, la cual no presentó significancia estadística ($P \geq 0.05$).

En general, el porcentaje de plántulas normales y anormales y el porcentaje total de germinación (Cuadro 9), el tratamiento ácido giberélico a 500 ppm (42.8 y 50.6 y 93.4 %) fue mejor, ya que presentó un número de plántulas normales y anormales y el porcentaje total de germinación alto en comparación con el tratamiento testigo, de modo que obtuvo un valor bajo (23.8 y 34.6 y 58.4 %). Respecto al valor alto del porcentaje de germinación total en el presente estudio, es superior al reportado por Barche *et al.* (2010) quienes evaluaron el cultivar de papaya Híbrido Mayuri, quienes trataron las semillas en ácido giberélico a 500 ppm y obtuvieron germinaciones de 78.50 %.

Cuadro 9. Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica por tratamiento.

Tratamiento	PPN (%)	PPA (%)	PTG (%)	PSNG (%)	VE Ω
Testigo	‡ 23.8 a	34.6 b	58.4 c	41.6 a	0.99 e
AD	‡ 30.2 a	31.6 b	61.8 c	38.2 a	1.23 e
AG ₃ 500	‡ 42.8 a	50.6 a	93.4 a	6.6 c	4.53 a
AG ₃ 1.8	‡ 30.0 a	60.2 a	90.2 a	9.8 c	4.13 bc
KNO ₃ 0.1	‡ 30.4 a	51.2 a	81.6 b	18.4 b	2.13 d
AG ₃ 500 + KNO ₃ 0.1	‡ 38.6 a	54.8 a	93.4 a	6.6 c	4.50 ab
AG ₃ 1.8 + KNO ₃ 0.1	‡ 39.2 a	49.2 a	88.4 a	11.6 c	3.98 c
DMS		7.25	7.16	7.16	0.40

Letras diferentes dentro de la columna, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); ‡ = Letras iguales denotan diferencias no significativas Prueba de Kruskal_Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P \leq 0.05$); PPN = Porcentaje de plántulas normales; PPA = Porcentaje de plántulas anormales; PTG = Porcentaje total de germinación PSNG = Porcentaje de semillas no germinadas; VE = Velocidad de emergencia; Ω = Número de plántulas emergidas por día; DMS = Diferencia mínima significativa.

Para el caso de semillas no germinadas, como es una variable que determina la calidad de la semilla de manera inversa, el tratamiento testigo (41.6 %) fue sobresaliente, por lo que obtuvo un valor mayor en comparación con el tratamiento ácido giberélico a 500 ppm y ácido giberélico a 500 ppm más nitrato de potasio a 0.1 M, los cuales presentaron un valor menor (6.6 %). Así mismo el tratamiento testigo en semillas no germinadas en el presente estudio, es atribuible a que la semilla no asimiló la absorción de agua que le permitiera remover las sustancias de reserva de las semillas, mientras que, la combinación de tratamiento promovió la germinación y por lo tanto disminuye el número de semillas sin germinar.

Con referencia al índice de velocidad de emergencia, el tratamiento ácido giberélico a 500 ppm (4.53) fue mejor, por ello mostró un valor alto, en contraste con el tratamiento testigo, ya que obtuvo un número de plántulas emergidas por día bajo (0.99). En lo que se refiere al tratamiento de ácido giberélico su efecto es aumentar el alargamiento de las células para que la radícula pueda empujar a través del endospermo y el revestimiento de la semilla que restringe su crecimiento (Barche *et al.*, 2010).

Efecto de interacción Accesoión x Tratamiento. En el Cuadro 10 se presentan los resultados de las variables de calidad fisiológica entre accesiones, las cuales difirieron significativamente ($P \leq 0.05$). En general, el porcentaje de plántulas normales y anormales y el porcentaje total de germinación, la interacción 210-a x ácido giberélico a 500 ppm con 29 y 71 y 100 % fue sobresaliente, dado que obtuvo los valores mayores en comparación con la interacción 173 x Testigo, el cual presentó los valores menores (5, 23 y 28 %). En cuanto al valor mayor del porcentaje total de germinación en este trabajo, es superior al reportado por Barche *et al.* (2010) quienes evaluaron el cultivar de papaya Híbrido Mayuri, quienes trataron las semillas en ácido giberélico a 500 ppm y obtuvieron germinaciones de 78.50 %.

En referencia al porcentaje de semillas no germinadas, la interacción 173 x Testigo con 72 % fue mejor, debido a que obtuvo el valor más alto en comparación con la interacción 210-a x ácido giberélico a 500 ppm, puesto que presentó un valor menor (0 %). Respecto a la interacción en semillas no germinadas en el presente estudio, es atribuible a que la semilla no asimiló la absorción de agua que le permitiera remover la sustancia de reserva de las semillas, mientras que, la combinación de tratamiento promovió la germinación y por lo tanto disminuye el número de semillas sin germinar.

En relación al índice de velocidad de emergencia, la interacción 18 x ácido giberélico a 500 ppm más nitrato de potasio a 0.1 M (5.31) fue mejor, ya que presentó el valor mayor en comparación con la interacción 173 x Testigo, de modo que obtuvo el valor bajo (0.49). Por lo que respecta al valor alto encontrado en el índice de velocidad de emergencia del presente estudio, demuestra que, el ácido giberélico movilizó las sustancias de reserva de las semillas, la cual aceleró la emergencia de la protrusión radicular.

Cuadro 10. Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica en la interacción Accesoión x Tratamiento.

Accesión x Tratamiento	PPN (%)	PPA (%)	PTG (%)	PSNG (%)	VE ^Ω
18 x Testigo	‡ 7 lm	75 abc	82 cdefgh	18 defghi	2.03 ghi
18 x AD	‡ 22 ghi	64 abcdefgh	86 abcdef	14 fghijk	2.66 efgh
18 x AG ₃ 500	‡ 21 hijk	69 abcdefgh	90 abcdef	10 fghijk	4.98 ab
18 x AG ₃ 1.8	‡ 13 ijkl	75 abcde	88 abcdef	12 fghijk	4.32 abcd
18 x KNO ₃ 0.1	‡ 12 ijkl	75 abcde	87 abcdef	13 fghijk	3.13 defg
18 x AG ₃ 500 + KNO ₃ 0.1	‡ 58 abc	37 ghijkl	95 abcde	5 ghijk	5.31 a
18 x AG ₃ 1.8 + KNO ₃ 0.1	‡ 77 a	20 ijklm	97 abc	3 ijk	5.13 a
173 x Testigo	‡ 5 lm	23 ijklm	28 k	72 a	0.49 l
173 x AD	‡ 44 cde	10 lm	54 ghijk	46 abcde	0.85 kl
173 x AG ₃ 500	‡ 79 a	19 jklm	98 abc	2 ijk	5.19 a
173 x AG ₃ 1.8	‡ 86 a	12 lm	98 abc	2 ijk	5.17 a
173 x KNO ₃ 0.1	‡ 41 cdef	45 cdefghij	86 bcdef	14 fghij	2.73 efgh
173 x AG ₃ 500 + KNO ₃ 0.1	‡ 54 bcd	36 hijkl	90 abcdef	10 fghijk	4.62 abc
173 x AG ₃ 1.8 + KNO ₃ 0.1	‡ 26 fgh	60 abcdefgh	86 bcdef	14 fghij	3.38 cdef
210-a x Testigo	‡ 49 cd	17 jklm	66 fghij	34 bcdef	0.86 kl
210-a x AD	‡ 39 def	11 klm	50 hijk	50 abcd	0.78 kl
210-a x AG ₃ 500	‡ 29 efgh	71 abcdefg	100 a	0 k	3.89 abcde
210-a x AG ₃ 1.8	‡ 6 lm	87 a	93 abcdef	7 fghijk	3.41 cdef
210-a x KNO ₃ 0.1	‡ 52 bcd	22 ijklm	74 defghij	26 bcdefgh	0.98 jkl
210-a x AG ₃ 500 + KNO ₃ 0.1	‡ 52 bcd	40 defghijk	92 abcdef	8 fghijk	4.35 abcd
210-a x AG ₃ 1.8 + KNO ₃ 0.1	‡ 73 ab	23 ijklm	96 abcd	4 hijk	4.96 ab
215 x Testigo	‡ 50 bcd	18 jklm	68 fghij	32 bcdef	0.86 kl
215 x AD	‡ 37 defg	8 m	45 jk	55 ab	0.53 l
215 x AG ₃ 500	‡ 81 a	14 jklm	95 abc	5 ijk	5.23 a
215 x AG ₃ 1.8	‡ 45 cde	54 bcdefghi	99 ab	1 jk	5.24 a
215 x KNO ₃ 0.1	‡ 42 cdef	38 fghijkl	80 cdefghi	20 cdefghi	1.82 hij
215 x AG ₃ 500 + KNO ₃ 0.1	‡ 8 klm	87 a	95 abc	5 ijk	3.53 bcdef
215 x AG ₃ 1.8 + KNO ₃ 0.1	‡ 1 m	68 abcdefgh	69 fghij	31 bcdef	1.79 hij
217 x Testigo	‡ 8 lm	40 efghijk	48 ijk	52 abc	0.70 kl
217 x AD	‡ 9 jklm	65 abcdefgh	74 defghij	26 bcdefgh	1.31 ijk
217 x AG ₃ 500	‡ 4 lm	80 ab	84 bcdefg	16 efghij	3.37 cdef
217 x AG ₃ 1.8	‡ 0 n	73 abcdef	73 efghij	27 bcdefg	2.49 fgh
217 x KNO ₃ 0.1	‡ 5 lm	76 abc	81 cdefgh	19 defghi	2.00 hi
217 x AG ₃ 500 + KNO ₃ 0.1	‡ 21 hijk	74 abcd	95 abcde	5 ghijk	4.69 abc
217 x AG ₃ 1.8 + KNO ₃ 0.1	‡ 19 hij	75 abcde	94 abcde	6 ghijk	4.61 abc
DMS		21.24	20.96	20.96	2.13

Letras diferentes dentro de la columna, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); ‡ = Letras diferentes denotan diferencias significativas Prueba de Kruskal_Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P \leq 0.05$); PPN = Porcentaje de plántulas normales; PPA = Porcentaje de plántulas anormales; PTG = Porcentaje total de germinación; PSNG = Porcentaje de semillas no germinadas; VE = Velocidad de emergencia; ^Ω = Número de plántulas emergidas por día; DMS = Diferencia mínima significativa.

1.6. CONCLUSIONES

Con base a los objetivos e hipótesis planteados, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Los parámetros de calidad física y fisiológica en semillas de *C. papaya* con el grado de manejo silvestre, semi-domesticado, huerto familiar y cultivada, son importantes a considerar al momento de que estas se destinan para su conservación.

Las accesiones 18, 87, 129-a, 135, 207 y 216, fueron las que explicaron la variabilidad total, con base a las siguientes características: área, perímetro, largo y ancho de la semilla, lo que las ubicó como las mejores accesiones a nivel morfológico.

El Dendrograma agrupo dos grupos principales que explico el grado de semejanza de 15 accesiones de papayo: el primero fue integrado por las seis accesiones provenientes del estado de Veracruz, Guerrero Tabasco y Campeche y el segundo por nueve accesiones que se colectaron en Veracruz, Tabasco, Chiapas y Campeche, lo que ubico a las accesiones con su pariente más cercano.

Las accesiones de semillas de *C. papaya* de polinización libre y controlada mostraron un comportamiento diferente en cuanto a la calidad física y fisiológica.

El tratamiento ácido giberélico a 500 ppm fue el que generó mayor porcentaje de germinación en la accesión 210-a con 100 %, mientras que en la velocidad de emergencia la combinación de ácido giberélico a 500 ppm más nitrato de potasio a 0.1 M fue mejor en la accesión 18 con 5.31, lo que determinó como a los mejores tratamientos de pre-germinación para eliminar latencia.

1.7. LITERATURA CITADA

- Barche, S., K. Singh K. and D. B. Singh. 2010. Response of Seed Treatment on Germination, Growth, Survivability and Economics of Different Cultivars of Papaya (*Carica papaya* L.) Acta Hort. 851, ISHS p. 279-284.
- Baskin, J. and M. Baskin. 1998. Seeds: Ecology. Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego.
- Basra, A. S. 1995. Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. Food Products Press. New York, U.S.A. 389 p.
- Bewley, J. D. and M. Black. 1994. Seeds: physiology of development and germination. 2th Edition. Plenum Publishing Corporation 233 Spring Street, New York, N. Y. 445 p.
- Besnier, R. F. 1989. Semillas: Biología y tecnología. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 637 p.
- Bishaw, Z., A. A. Niane and Y. Gan. 2007. Quality seed production. *In*: Lentil: An ancient crop for modern times. Yadav, S. S., McNeil, D. and Stevenson, P. C. (eds.) Springer Verlag. pp 349-383.
- Bradford, K. J. and N. Hiroyuki. 2007. Seed development, dormancy and germination. Annual Plant Reviews, volume 27. Blackwell publishing Ltd. USA. 367 p.
- Bradford, K. J. 2004. Seed Production and Quality. Department of Vegetable Crops. University of California. Davis, California. USA. 138 p.
- Camacho, M. F. 1994. Dormición de semillas causas y tratamientos. Editorial Trillas. México, D. F. 125 p.
- Cerovich, M. y F. Miranda. 2004. Almacenamiento de semillas: estrategia básica para la seguridad alimentaria. CENIAP Hoy. N°. 4. Enero-abril.
- CONABIO, (Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad). 2007. *Carica papaya* L. [Http://.Conabio.Gob.Mx/info_especies/arboles/doctos/23-caric1m.Pdf](http://.Conabio.Gob.Mx/info_especies/arboles/doctos/23-caric1m.Pdf). Consultado: abril de 2016.
- Copeland, M. and B. McDonald. 1995. Principles of seed science and technology. Third edition. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.

- Fonseca, J. M. O. 2002. Conservação pós-colheita de mamão (*Carica papaya* L.): análise das cultivares Sunrise Solo e Golden, sob controle de temperatura e da atmosfera. Tesis profesional. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Brazil. 177 p.
- Furutani, S. C. and M. A. Nagao. 1987. Influence of temperature, KNO₃, GA₃ and seed drying on emergence of papaya seedlings. *Scientia Hortic.*, 32: 67- 72.
- Gil, A. I. y D. Miranda. 2005. Morfología de la flor y la semilla de papaya (*Carica papaya* L.): Variedad Maradol e híbrido Tainung -¹. *Agro. Colombia*. 23: 218-222.
- Gutiérrez-Hernández, G. F., J.M. Vázquez-Ramos, E. García-Ramírez, M. O. Franco-Hernández J. L. Arellano-Vázquez y D. Duran-Hernández. 2011. Efecto del envejecimiento artificial de semillas de maíces criollos azules en su germinación y huella genómica. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 34 (2): 77-84.
- Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham and W. C. Black. 1992. *Multivariate data analysis*. MacMillan Publ. Co. Nueva York. 544 p.
- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad Genética y Caracterización de especies vegetales. pp. 2-26. *In: Análisis Estadísticos de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*. Franco, T. L. y R. Hidalgo. (eds). Boletín Técnico No. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- ISTA, (International Seed Testing Association). 2009. *International Rules for Seed Testing*. Published by The International Seed Testing Association. P. O. BOX 308, 8303 Bassersdorf, CH-Switzerland. 243 p.
- ISTA, (International Seed Testing Association). 2005. *International Rules for Seed Testing*. Published by The International Seed Testing Association. P. O. BOX 308, 3803 Bassersdorf, CH- Switzerland. 243 p.
- ISTA, (International Seed Testing Association). 2004. *International Rules for Seed Testing*. Ed. 2004. Bassersdorf, CH-Switzerland, 243 p.
- ISTA, (International Seed Testing Association). 1999. *Reglas Internacionales para Ensayos de Semillas. Ensayo topográfico al Tetrazolio*. Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería. España.
- ISTA, (International Seed Testing Association). 1993. *International Rules for Seed Testing*. *Seed Sci. and Technol.* 21, Supplement. 228 p.

- Kelly, A. F. 1988. Seed production of agricultural crops. Longman Scientific and Technical-John Wiley and Sons. New York, USA. 227 p.
- León, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. Segunda edición. Instituto interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José de Costa Rica. pp. 375 - 379.
- López, J. A. e Hidalgo, M. D. 1994. Análisis de conglomerados. En: Ato, M. y López, J. J. (eds.). Fundamentos de estadística con Systat. Addison Wesley Iberoamericana. p. 505-532.
- Moreno, E. M. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de biología. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 393 p.
- Pérez, M. C., H. A. Livera, G. F. V. Cossio, G. G. de los Santos, C. A. Carballo, V. T. R. Rojas, T. M. R. Gómez. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. Agricultura Técnica en México, vol. 32, núm. 3. pp 341-352.
- Ruiz, M. A. 2009. El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas. Caso de estudio: cebadilla chaqueña. Publicación técnica No. 77. EEA INTA Anguil. 20 p.
- SAS, (Statistical Analysis System Institute). 2002. SAS/SAT User's Guide. Version 9. Cary, N. C. USA.
- Varela, S. A. y V. Arana. 2011. Silvicultura en vivero. Latencia y germinación de semillas. Tratamientos Pregerminativos. Cuadernillo No. 3. Área forestal-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria. Balcarce, Provincia de Argentina. Argentina. 10 p.
- Vázquez, C. Y., A. Orozco, M. Rojas, M. E. Sánchez y V. Cervantes. 1997. Las semillas. pp. 25-94. La reproducción de plantas: Semillas y meristemas. México: Fondo de Cultura Económica.

CAPÍTULO II. CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE *Carica papaya*

L. EN ALMACENAMIENTO

RESUMEN

Las semillas almacenadas bajo condiciones ambientales, presentan diferente grado de deterioro, en el que influye la humedad relativa y la temperatura. Sin embargo, en las semillas de las especies que provienen de poblaciones de huerto familiar, semi-domesticadas, cultivadas y silvestres, se desconoce la tasa de deterioro. El presente estudio tuvo como objetivo monitorear el comportamiento de la calidad física y fisiológica de semillas de cuatro accesiones nativas de *Carica papaya* L. bajo dos condiciones ambientales contrastantes de almacenamiento. Se evaluaron los factores, Sitio (2) y accesión (4) resultando ocho tratamientos distribuidos en un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones de 25 semillas por accesión. Los sitios de almacenamiento evaluados fueron Tepetates, Ver. (1) y Montecillo, Mex. (2), en los cuales se almacenaron 3, 000 semillas de las accesiones 165, 215 y 217, y 550 semillas de la accesión 18. La calidad física (contenido de humedad) y fisiológica (viabilidad y germinación) de las semillas, se realizó durante 150 días de almacenamiento. El Sitio 1 tuvo un contenido de humedad más alto (12.10 %), en contraste con el Sitio 2 (10.82 %), y en porcentaje de germinación el Sitio 2 (63.25 %) fue mejor que el Sitio 1 (58.38 %). El Sitio 2 tuvo mejores condiciones de almacenamiento que el Sitio 1 y dicho comportamiento de germinación coincidió en las semillas de cuatro accesiones, ya que fueron contrastantes sin importar el grado de manejo, pues la mayor germinación se perdió a los 60 días de almacenamiento en todas ellas.

Palabras clave: *Carica papaya* L., calidad física, calidad fisiológica, almacenamiento.

¹ Artículo Enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

CHAPTER II. PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL QUALITY IN SEEDS OF *Carica papaya* L. IN STORAGE

ABSTRACT

The seeds stored under environmental conditions, deteriorate in different grade, which is due to both high relative moisture and high temperature. Nevertheless, in the seeds of the species that come from, cultivated, wild of orchard familiar, and semi-domesticated populations, the rate of deterioration is not known. The objective of this research was to evaluate the behavior of the physical and physiological quality of seeds of four native accessions of *Carica papaya* L. under two contrasting environmental conditions of storage. The factors, Site (2) and Accessions (4) were evaluated, turning out to be eight treatments distributed in an experimental completely random design, with four replications of 25 seeds per accession. The sites of storage evaluated were Tepetates, Ver. (Site 1) and Montecillo, Mex. (Site 2), in which 3, 000 seeds were used in the accessions 165, 215 and 217 and 550 seeds in the accession 18. The physical quality (content of moisture) and physiological (viability and germination), were evaluated for 150 days of storage. The Site 1 had a higher content of moisture (12.10 %), in contrast to the Site 2 (10.82 %), whereas the percentage of germination in the Site 2 was higher (63.25 %) than in the Site 1 (58.38 %). It is concluded that Site 2 had better storage conditions than Site 1. Therefore, the seeds of four accessions of papayo related to the germination had a contrasting behavior among accessions regardless of the degree of management, since the highest germination was lost after 60 days of storage in all of them.

Keywords: *Carica papaya* L., physical quality, physiological quality, storage.

2.1. INTRODUCCIÓN

Internacionalmente, la demanda de los frutales tropicales ha ido creciendo durante las dos últimas décadas, entre estos está el papayo (*Carica papaya* L.), dado que su fruto presenta una rica fuente de nutrientes antioxidantes (carotenos, vitamina C y flavonoides), vitaminas B (folato y ácido pentatónico), minerales (potasio y magnesio) y fibra (Evans y Ballen, 2012). En los últimos años, Brasil, la India y México representan el 50 % de producción mundial (Alfonso, 2010).

En México, las principales plantaciones comerciales con papayo se localizan en el sur-este del país, principalmente en los estados de Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Tabasco, y Yucatán. Estos estados representan más del 80 % de la producción mexicana total, donde se siembran las principales variedades como la Maradol y Mamey, en cambio las variedades como la Hawaiana y Criolla se siembran en proporción baja (Evans y Ballen, 2012).

La alta demanda de producción de papayo variedad Maradol es debido a las características atractivas de ésta para el consumidor, como es su sabor y consistencia de su fruto; asimismo, por sus cualidades aceptables de comercialización y rentabilidad que se ofrece al productor. Sin embargo, esta variedad ha desplazado al germoplasma nativo de México (Cera, Coco y Mamey, entre otros) (CORSPAC, 2009).

Por tanto, es importante el conocimiento de la diversidad biológica de *C. papaya* nativa existente en México, dado que no existen estudios relacionados con germoplasma de tipo silvestre, semi-domesticado, huerto familiar y cultivado, ya que la mayoría de los estudios están enfocados en el rendimiento, calidad del fruto y semillas de variedades mejoradas (Variedad UENF-CALIMAN 01; Cultivar “Sekaki”; Maradol e híbrido “Tainung-1”, entre otros) (Berbert *et al.*, 2008;

Zulhisyam *et al.*, 2013; Gil y Miranda, 2005). Con referencia a las semillas, es importante conocer su calidad física y fisiológica del germoplasma *C. papaya* nativo y así generar un conocimiento detallado para la conservación de este recurso fitogenético.

Uno de los objetivos principales de la conservación de semillas, es mantener integra la calidad física y fisiológica de la misma. Los atributos de calidad están influenciados por las condiciones ambientales, manejo en la cosecha y el almacenamiento. Por tanto, es importante considerar la madurez fisiológica del fruto al momento de la cosecha, ya que es una etapa donde se obtiene una calidad excelente de las semillas; aunque, los contenidos de humedad altos influyen directamente en el deterioro fisiológico y mecánico de las semillas durante su manejo de postcosecha (Harrington, 1972). Así, las semillas llegan a su madurez fisiológica cuando su contenido de humedad es aproximadamente del 30 %. En este momento, si las semillas no presentan problemas de latencia, éstas pueden reiniciar el proceso de germinación. Con contenidos de humedad de las semillas de 18 a 30 %, se puede producir un “calentamiento” excesivo debido a la actividad de microorganismos en presencia de oxígeno, provocando la muerte rápida de las semillas. En cambio, si el contenido de humedad está alrededor del 10 % en semillas de especies oleaginosas y de 13 a 18 % en semillas no oleaginosas, los hongos se desarrollan y destruyen los embriones de las semillas bajo condiciones de almacén (Kozlowski, 1972).

Por esta razón, la velocidad a la que se pierde la viabilidad de las semillas, después de la cosecha, dependerá en gran medida de otros factores como la temperatura y la humedad relativa del almacén (Hor, 1977), zona de producción maduración al momento de realizar la cosecha y el manejo general de las semillas durante y después de la cosecha. Además, el genotipo, la edad de las semillas, las condiciones ambientales y el nivel de viabilidad antes de entrar en almacén,

determinan el tiempo en que pueden permanecer viables las semillas en almacenamiento (Delouche y Baskin, 1973).

Con base a lo antes descrito, el presente estudio tuvo como objetivo monitorear el comportamiento de la calidad física y fisiológica de semillas de cuatro accesiones nativas de papayo bajo dos condiciones ambientales contrastantes de almacenamiento.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó durante los meses de mayo a noviembre del 2015. Las semillas de papayo fueron evaluadas en el laboratorio del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en el Estado de México a 19° 27' 38.38" LN y 98° 54' 30.54" LO, a una altitud de 2243 m.

2.2.1. Material biológico

En el Cuadro 11 se muestran los datos pasaporte de las accesiones de semillas de papayo que fueron utilizadas. La cosecha de los frutos de papayo se realizó manualmente en el mes de mayo de 2015, de árboles pertenecientes al área experimental "Mantenimiento y conservación de germoplasma de *Carica papaya* L", ubicada en la localidad de Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. Para ello se tomó como criterio el grado de madurez fisiológica 6 y 7 (se cosecharon dos frutos para la accesión 18 y cinco frutos para las accesiones 165, 215 y 217, con más de un 86 % de color amarillo en la cáscara), de acuerdo con la escala desarrollada por Fonseca (2002). Para la extracción de las semillas, a cada dos frutos por accesión se realizó un corte transversal y con el apoyo de una espátula doble cuchara -Tdc - 21 cm, se extrajeron las semillas. Después, se depositaron en un colador de plástico (28 cm de diámetro) donde se eliminó, por frotación, la sarcotesta (capa mucilaginoso) y se enjuagó con abundante agua

corriente. Posteriormente, se colocaron en toallas sanitas (*Pacific blue*) y permanecieron por 2 a 3 días bajo condiciones ambientales a la sombra (35 a 28 °C y 54 - 79 % de humedad relativa) para su secado.

Cuadro 11. Datos pasaporte de las accesiones de semillas estudiadas de *C. papaya*.

N° de Accesión	Grado de manejo	Estado	Latitud N	Longitud O	Altitud (m)
18	Cultivada	Veracruz	19°17'03.97"	96°26'15.97"	46
165	Semidomesticada	Tabasco	18°05'6.9"	94°02'23.8"	6
215	Huerto familiar	Campeche	18°37'31.8"	90°08'5.1"	81
217	Silvestre	Campeche	18°39'4.6"	90°16'53.8"	65

2.2.2. Sitios de almacenamiento

Para el estudio del almacenamiento de semillas, se ubicaron dos sitios; el Sitio experimental 1 se estableció en malla sombra, en la localidad de Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, en los 19° 11' 41.51" LN y 96° 20' 27.17" LO, a una altitud de 39 m. El clima es tipo AW₁ (Cálido subhúmedo), con lluvias en verano, temperatura y precipitación medias anuales de 26.1 °C y 952.1 mm; el Sitio experimental 2 se estableció en almacén con techo y cerrado, ubicado en la localidad de Montecillo, Estado de México a 19° 27' 38.38" LN y 98° 54' 30.54" LO, a una altitud de 2243 m. El clima es tipo BS₁ kw (Semiárido Templado), el menos seco de los áridos, con lluvias en verano, temperatura y precipitación medias anuales de 22.1 °C y 555.1 mm (García, 1998).

2.2.3. Establecimiento del experimento

Se etiquetaron cuatro bolsas de papel de 9 x 16 x 45 cm (MORYSAN®) con las accesiones 165, 215 y 217 depositando para estas tres primeras, muestras de 3, 000 semillas y para la accesión 18, 550 semillas; en cada sitio experimental, las bolsas se engraparon y después se depositaron en el interior de una caja de archivo tamaño carta (Ofix®); al mismo tiempo se colocó un Termo-higrómetro (Datalogger) HOBO® Pro v2. Logger, que permitió monitorear la temperatura y humedad relativa por un periodo de cinco meses a intervalos de 30 minutos.

2.2.4. Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones. Se evaluaron dos factores; sitios de almacenamiento (2) y accesiones (4) dando un total de 8 tratamientos. La unidad experimental consistió de 25 semillas.

Variables evaluadas

Se evaluó el contenido de humedad de las semillas (CHS), porcentaje de viabilidad con tetrazolio y porcentaje de germinación.

Durante el almacenamiento de semillas, se obtuvo el muestreo 1 (día 0 = inicio del experimento), y después el muestreo 2 = 30 días; muestreo 3 = 60 días, muestreo 4 = 90 días, muestreo 5 = 120 días y muestreo 6 = 150 días. De cada accesión se tomó una muestra de 100 semillas, dado que se dividió en cuatro repeticiones de 25 semillas cada una.

Para determinar el contenido de humedad de las semillas, primero se obtuvo el peso del recipiente, después se pesó éste, el cual contenía las semillas, utilizando una balanza analítica (SCIENTECH®) con una precisión de 0.0001 g. Después, el recipiente conteniendo las semillas

se puso a secar en una estufa (Thermo SCIENTIFIC) durante 1 hora a 130 ± 1 °C. Inmediatamente después de este lapso de tiempo, se obtuvo el peso final del recipiente conteniendo las semillas (ISTA, 1993).

El contenido de humedad de las semillas, con base al peso de las mismas se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ CHS} = (M_2 - M_3) \times \frac{100}{(M_2 - M_1)}$$

Donde:

M_1 = Peso del recipiente en g.

M_2 = Peso de recipiente y su contenido en g antes del secado

M_3 = Peso del recipiente y su contenido en g después del secado

Para la evaluación de viabilidad con el método de tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifenil tetrazolio), las semillas de cada accesión, se embebieron en agua destilada durante 18 h. Después de este periodo de tiempo, las semillas se manejaron con una pinza recta de 26 cm de longitud y se sostuvo sobre una tabla de madera (10 x 10 cm de largo y ancho), de modo que utilizando un bisturí (# 3) con mango se les practicara una disección longitudinal y se extrajeran los embriones; inmediatamente se expusieron en recipientes de plástico de 50 ml con agua destilada para evitar la muerte de los mismos. Después, el agua destilada que mantuvo hidratando a los embriones, se retiró usando una coladera y en seguida los embriones se pusieron ya secos, en recipientes de plástico de 50 ml, después, se colocó una toalla sanitaria para evitar su flotación y seguidamente se aplicaron 20 ml de tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifenil tetrazolio) (Sigma®), a una concentración de 0.2 %. Posteriormente, se dejaron reposar a una temperatura de 23 °C por 72 horas en la obscuridad. Al término de este periodo, los embriones se depositaron en una coladera No. 6 y con el apoyo de una piseta de plástico de 50 ml con agua destilada, se

enjuagaron por tres ocasiones para eliminar restos de solución de tetrazolio. Finalmente, se evaluó la viabilidad de los embriones en un microscopio estereoscópico (ZEIZZ), tomando como criterios los patrones de tinción observados en las semillas de papayo y los determinados en otras especies. La viabilidad mediante este método se expresó como el porcentaje total de embriones viables (PTEV).

Para la prueba de germinación se utilizó el método “entre papel”, donde el sustrato (toalla sanitas) se humedeció con agua destilada, después, se distribuyeron 25 semillas sobre toallas sanitas dobles y se enrollaron en forma de “taco” (ISTA, 2004). Después se depositaron en bolsas transparentes de plástico de 2 kg. Estas se colocaron en una cámara germinadora (Seedburo Equipment Company modelo 312738-3700) calibrada a 35 ± 5 °C (Furutani y Nagao, 1987). Cada 30 días y durante 150 días, se evaluó la viabilidad de las semillas mediante las siguientes variables: Porcentaje de plántulas normales (PPN), contabilizando el número de plántulas que presentaron sus dos hojas cotiledonares, primera hoja verdadera, hipocótilo, y un sistema radical bien definido (Vázquez, 1997); Porcentaje de plántulas anormales (PPA), como el número de plántulas que presentaron sus dos hojas cotiledonares, primera hoja verdadera, hipocótilo, y un sistema radical (Vázquez, 1997); con fisuras o lesiones y Porcentaje total de germinación (PTG), tomado como la sumatoria del número plántulas normales y plántulas anormales.

2.3. Análisis estadístico

Los datos de contenido de humedad, viabilidad y germinación, se capturaron en una base de datos Excel 2013 (Microsoft). Previo análisis de varianza, los datos fueron transformados mediante la función de Arcoseno, se probaron supuestos de homogeneidad ($P \geq 0.05$) y normalidad ($P \geq 0.05$) para el análisis de varianza, las cuales fueron identificadas bajo las pruebas de Shapiro-Wilk and Bartlett, usando los procedimientos PROC UNIVARIATE y HOVTEST del programa estadístico SAS 9.0 (SAS, 2002).

Las variables que exhibieron diferencia significativa dentro de una fecha de muestreo dada, se les aplicó la prueba de Tukey ($P < 0.05$), mientras que con aquellas que no cumplieron con algunos de los supuestos (homogeneidad o normalidad), se realizó la prueba de Kruskal_Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P < 0.05$) usando el paquete estadístico SAS para Windows Versión 9.0 (SAS, 2002).

2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza para la variable contenido de humedad de las semillas, el factor Sitios mostró en todos los muestreos, diferencias altamente significativas (Cuadro 12), lo que indica que dicho factor es determinante para que haya una respuesta directa en el contenido de humedad de las semillas; para el factor Accesiones de los muestreos 2, 3, 4 y 6 hubo diferencias altamente significativas y el muestreo 1 y 5 sólo fue significativa la diferencia; lo que indica que una vez transcurrido los cinco meses de almacenamiento, el contenido de humedad de las semillas de cualquier accesión empieza a ser crítico. En la interacción Sitio x Accesión los muestreos 2, 3 y 5 presentaron diferencias altamente significativas, y el muestreo 6 diferencia significativa, lo cual sugiere que la combinación de estos factores influyen de algún modo sobre el contenido de humedad de las semillas, excepto el muestreo 1 y 4; al respecto Cerovich y Miranda (2004) señalan que esto se puede atribuir al hecho de que las semillas son higroscópicas, y por ende absorben o liberan humedad, dependiendo del ambiente donde se almacenen.

Cuadro 12. Cuadrados medios del análisis de varianza para el contenido de humedad de las semillas de cuatro accesiones de papayo, evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.

FV	GL	Número de muestreos					
		1	2	3	4	5	6
Sitios (S)	1	9.88**	14.35**	1.47**	0.62**	34.78**	3.83**
Accesiones (A)	2	2.53*	0.51**	0.72**	2.07**	1.79*	1.06**
S x A	2	0.07ns	2.07**	0.95**	0.03ns	4.75**	0.17*
Error	18	0.67	0.05	0.03	0.07	0.42	0.05
CV (%)		4.23	1.10	0.84	1.34	3.17	1.08

ns = No significativo * = Significativo a P = 0.05 ** = Altamente significativo a P = 0.01.

En el Cuadro 13 se muestra el análisis de varianza para la variable porcentaje total de embriones viables; los factores Sitios, Accesiones y la interacción Sitio x Accesión de los muestreos 1, 2 y 3 no cumplieron con algunos de los supuestos (normalidad y homogeneidad). En el factor Sitios, el

muestreo 4 fue significativo, lo cual indica que de algún modo el sitio influye en la viabilidad de los embriones, excepto en los muestreos 5 y 6. En el factor Accesiones, en los muestreos 4, 5 y 6 no hubo diferencias significativas. En la interacción Sitio x Accesoión, el muestreo 5 resultó con diferencias significativas y el muestreo 6 con diferencia altamente significativa, el muestreo 4 no presentó diferencias significativas; sin embargo, esto quizás se explique con lo mencionado por Gálvez (2003), quien señala que la pérdida de viabilidad en las semillas es causada por los daños que sufren las membranas tanto celulares como de organelos intracelulares (mitocondrias, plastidios, etc.) entre otras causas.

Cuadro 13. Cuadrados medios del análisis de varianza para el porcentaje total de embriones viables en semillas de cuatro accesiones de papayo, evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.

FV	GL	Número de muestreos					
		1	2	3	4	5	6
Sitios (S)	1	‡	‡	‡	591.53*	470.52ns	230.41ns
Accesiones (A)	2	‡	‡	‡	1.30ns	783.91ns	95.02ns
S x A	2	‡	‡	‡	21.10ns	1094.96*	1023.30**
Error	18	‡	‡	‡	86.83	256.26	99.94
CV (%)		‡	‡	‡	11.08	24.21	12.87

‡ = Espacios vacíos dentro de la columna, indica que los datos de estos muestreos no cumplieron con algunos de los supuestos; ns = No significativo, * = Significativo a P = 0.05, ** = Altamente significativo a P = 0.01.

El análisis de varianza (Cuadro 14) para la variable porcentaje total de germinación, los factores Sitios, Accesiones y la interacción Sitio x Accesoión del muestreo 4 no cumplieron con algunos de los supuestos (normalidad y homogeneidad). En el factor Sitios, los muestreo 3 y 5 fueron significativos y el muestreo 6 altamente significativo, lo que indica que las condiciones de almacenamiento de los Sitios es determinante para que exista una respuesta directa en la germinación, pero no es el caso del muestreo 1 y 2. En las Accesiones, para los muestreos 3, 5 y 6 hubo diferencias altamente significativas, indicando con ello que transcurridos cinco meses de

almacenamiento, cualquier accesión puede comportarse de diferente manera en cuanto a germinación. La interacción Sitio x Accesión del muestreo 5 resultó altamente significativa, lo cual sugiere que la combinación de los dos factores influyen de algún modo sobre la germinación de las semillas, y coincidiendo con otros estudios realizados con respecto al deterioro de las semillas, permite deducir que a pesar de que existen factores que actúan sobre la germinación de las semillas, se atribuye mayor importancia al efecto de temperaturas y humedad relativa que en este caso, corresponde a las condiciones diferentes de los dos sitios (Ortuño y Echandi, 1980).

Cuadro 14. Cuadrados medios del análisis de varianza para el porcentaje total de germinación en semillas de cuatro accesiones de papayo, evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.

FV	GL	Número de muestreos					
		1	2	3	4	5	6
Sitios (S)	1	15.18ns	4.27ns	387.16*	‡	117.72*	516.77**
Accesión (A)	3	315.75ns	29.49ns	955.63**	‡	536.96**	948.37**
S x A	3	116.77ns	55.91ns	79.98ns	‡	320.29**	137.61ns
Error	24	136.60	27.06	52.43	‡	21.34	57.87
CV (%)		16.18	7.82	14.92	‡	8.44	28.94

‡ = Espacios vacíos dentro de la columna, indica que los datos de estos muestreos no cumplieron con algunos de los supuestos; ns = No significativo, * = Significativo a P = 0.05, ** = Altamente significativo a P = 0.01.

En el Cuadro 15 se muestra el análisis de varianza para la variable porcentaje de plántulas normales, y se observa que los factores Sitios y Accesiones, y la interacción Sitio x Accesión del muestreo 4, no cumplieron con algunos de los supuestos (normalidad y homogeneidad). En el factor Sitios, el muestreo 1, 2 y 3 presentó diferencias altamente significativas y el muestreo 6 solo significativas, lo cual indica que las condiciones de los Sitios influyen en el porcentaje de plántulas normales, excepto en el muestreo 5; en las Accesiones, sucedió algo similar al efecto de Sitios, ya que las diferencias significativas se manifestaron en los primeros meses de muestreos, lo que significa, que la accesión influyó de alguna forma sobre las plántulas

normales, no así en los muestreos 5 y 6. En la interacción Sitio x Acceso del muestreo 1, 2, 5 y 6 se detectaron diferencias significativas, lo cual sugiere que la combinación de estos factores influyen de algún modo sobre el porcentaje de plántulas normales, pero no en el muestreo 3; al respecto Aramendiz-Tatis (2007) señala que en el ambiente natural el deterioro es evidente, comprometiendo con ello la calidad fisiológica de las semillas; así mismo la producción de plántulas normales se ven afectadas bajo condiciones adversas en este caso las condiciones variables del ambiente.

Cuadro 15. Cuadrados medios del análisis de varianza para el porcentaje de plántulas normales en semillas de cuatro accesiones de papayo, evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.

FV	GL	Número de muestreos					
		1	2	3	4	5	6
Sitios (S)	1	3958.46**	935.40**	461.68**	‡	3.75ns	233.12*
Accesión (A)	3	667.17**	1233.73**	217.48*	‡	173.90ns	86.02ns
S x A	3	454.29**	399.32*	30.52ns	‡	684.04**	247.19*
Error	24	73.92	90.52	52.53	‡	62.66	44.01
CV (%)		25.50	20.68	18.74	‡	29.93	64.43

‡ = Espacios vacíos dentro de la columna, indica que los datos de estos muestreos no cumplieron con algunos de los supuestos; ns = No significativo, * = Significativo a P= 0.05, ** = Altamente significativo a P = 0.01.

En el análisis de varianza para la variable porcentaje de plántulas anormales, el factor Sitios del muestreo 1 y 2 tuvieron diferencias altamente significativas y el muestreo 5 diferencia significativa, indicativo de que los Sitios de almacenamiento tienen una influencia importante en el porcentaje de plántulas anormales, excepto el muestreo 3, 4 y 6 (Cuadro 16). En las Accesiones, todos los muestreos mostraron diferencias altamente significativas, lo que significa, que el tipo de accesión almacenada durante cinco meses se relaciona con en el porcentaje de plántulas anormales. En la interacción Sitio x Acceso del muestreos 1 hubo diferencias altamente significativas y el muestreo 5 significativa, lo cual sugiere que la combinación de estos

factores influye de alguna manera en el porcentaje de plántulas anormales, mientras que en el muestreo 2, 3, 4 y 6 no fue así. Es decir, una mayor presencia de plántulas anormales probablemente estuvo determinada por la constitución genética de la accesión, más que por efecto de Sitios, es decir, algunos trabajos relacionan este tipo de comportamientos, con la expresión de vigor de la semilla, misma que está regulada genéticamente en las especies o variedades (Gálvez, 2003).

Cuadro 16. Cuadrados medios del análisis de varianza para porcentaje de plántulas anormales en semillas de cuatro accesiones de papayo, evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.

FV	GL	Número de muestreos					
		1	2	3	4	5	6
Sitios (S)	1	2535.8**	973.4**	7.8ns	226.6ns	223.3*	266.7ns
Accesiones (A)	3	668.2**	1220.0**	2055.6**	2091.1**	339.2**	820.9**
S x A	3	501.1**	230.1ns	77.2ns	308.4ns	122.3*	20.8ns
Error	24	53.1	85.2	45.1	108.2	37.6	65.7
CV (%)		15.6	29.0	34.3	31.8	15.0	36.3

ns = No significativo * = Significativo a P = 0.05 ** = Altamente significativo a P = 0.01.

2.4.1. Efecto de sitio y de muestreo

El Cuadro 17 presenta los resultados del efecto de sitios y de muestreos, en relación con las variables de calidad física y fisiológica. La variable contenido de humedad de las semillas, muestra el efecto promedio de sitios, donde el contenido de humedad de las semillas del Sitio 1 los promedios generales fueron altos (12.10 %), en contraste con el Sitio 2 (10.82 %); ello demuestra que las temperaturas y humedad relativa altas del Sitio 1 (Cuadro 18) influyeron en el contenido de humedad de las semillas. Esto es atribuible al hecho de que las semillas son higroscópicas, y todo el tiempo absorben o liberan humedad al ambiente, dependiendo de la intensidad de estos factores durante el almacenamiento (Cerovich y Miranda, 2004).

Respecto a la variable porcentaje total de embriones viables, se observa que en cuanto al efecto promedio de sitios, los valores altos en cada muestreo de dicha variable, correspondieron al Sitio 2 (94.56 %) en contraste con el Sitio 1 (92.22 %), esto quiere decir, que las temperaturas y humedad relativa bajas del Sitio 2 (Cuadro 18), mantuvieron la viabilidad de las semillas; al respecto Hartmann y Kester (1988) mencionan que la reducción de temperatura y humedad relativa prolonga la viabilidad de las semillas.

En cuanto al mismo efecto promedio de sitios, en la variable porcentaje de plántulas normales, el valor más alto correspondió al Sitio 2 (33.92 %), que tuvo las mejores condiciones de almacenamiento, lo cual se manifestó en una mayor capacidad de producir plántulas normales bajo condiciones favorables (Moreno, 1996), en comparación con el Sitio 1 (23.47 %). En lo que se refiere al porcentaje de plántulas anormales, debido a es un parámetro que determina la calidad de las semillas de manera inversa, el Sitio 1 mostró el valor más alto con promedio general de 34.86 %, lo que disminuye su poder germinativo, debido al tiempo y las condiciones de almacenamiento a que estuvieron sometidas las semillas, en comparación con el menor valor para el Sitio 2 (29.13 %). En la variable porcentaje total de germinación el Sitio 2 representó el valor más elevado con promedio general de 63.25 %, en contraste con un menor valor del Sitio 1 (58.38 %); al respecto Zulhisyam *et al.* (2013) señala que el deterioro acelerado en la germinación de las semillas está asociado con el tiempo de almacenamiento.

Con referencia al efecto promedio de muestreos, en la variable contenido de humedad de las semillas, se observa que dichos valores de dicha variable fueron diferentes durante cinco meses de almacenamiento, partiendo del muestreo 1 (10.89 %) inclusive hasta el muestreo 6 (11.41 %); esto se relaciona con la capacidad diferente de absorción de humedad que tienen las semillas (Cerovich y Miranda, 2004), ya que los contenidos de humedad registrados fueron variables.

Cuadro 17. Comparación de medias entre sitios de variables de calidad física y fisiológica en semillas de *C. papaya* evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.

No. de Sitio	No. de Muestreo	CHS (%)	PTEV (%)	PPN (%)	PPA (%)	PTG (%)
1	1	11.60 a	‡ 97.00 a	19.75 b	65.75 a	85.50 a
2	1	10.19 b	‡ 97.33 a	49.75 a	37.75 b	88.75 a
Promedio		10.89	97.16	34.75	51.75	87.12
1	2	12.30 a	‡ 100 a	45.75 b	38.25 a	84.00 a
2	2	10.59 b	‡ 98.33 a	60.75 a	22.25 b	83.00 a
Promedio		11.44	99.16	53.25	30.25	83.50
1	3	11.64 a	‡ 99.33 a	33.25 b	16.50 a	49.75 b
2	3	11.09 b	‡ 99.67 a	45.75 a	15.75 a	61.50 a
Promedio		11.36	99.50	39.50	16.12	55.62
1	4	11.55 a	99.67 a	‡ 15.50 a	36.50 a	‡ 52.00 a
2	4	11.19 b	93.00 b	‡ 19.00 a	30.25 a	‡ 49.25 a
Promedio		11.37	96.33	17.25	33.37	50.62
1	5	13.65 a	69.33 a	23.25 a	38.50 b	62.00 b
2	5	10.88 b	85.00 a	21.25 a	47.75 a	69.00 a
Promedio		12.26	77.16	22.25	43.12	65.50
1	6	11.85 a	88.00 a	3.33 b	13.67 a	17.00 b
2	6	10.97 b	94.00 a	7.00 a	21.00 a	28.00 a
Promedio		11.41	91.00	5.16	17.33	22.50
P. G. S 1		12.10	92.22	23.47	34.86	58.38
P. G. S 2		10.82	94.56	33.92	29.13	63.25

‡ = valores que no cumplieron con algunos de los supuestos. Letra diferente dentro de cada columna, indican diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$); CHS = Contenido de humedad de las semillas, PTEV = Porcentaje total de embriones viables; PTG = Porcentaje total de germinación; PPN = Porcentaje de plántulas normales; PPA = Porcentaje de plántulas anormales; P. G. S 1 = Promedio general sitio 1; P. G. S 2 = Promedio general sitio 2.

Por otro lado en la variable porcentaje total de embriones viables, se observa el efecto promedio de muestreos, donde no fue tan consistente, ya que empezó con valores altos en muestreo 1 (97.16 %), después aumentaron en muestreo 2 y 3 (99.16 y 99.50 %) y después tendieron a bajar en muestreo 5 y 6 (77.16 y 91.00 %), estos resultados indican que el tipo de envase “bolsas de papel” que es el más permeable a la humedad, influye de manera importante en la viabilidad de las semillas que están almacenadas bajo condiciones ambientales y donde se tienen fluctuaciones constantes (Yogeesha *et al.*, 2008).

Finalmente el efecto promedio de muestreos, en la variable porcentaje de plántulas normales, se observa que los valores promedios de dicha variable, en el muestreo 1 tuvieron el 34.75 % y después el muestreo 2 (53.25 %), después tendieron a bajar incluso al muestreo 6 (5.16 %), esto demuestra que la calidad de las semillas fue afectada en almacenamiento bajo las condiciones en que se estableció el experimento, en términos del porcentaje de plántulas normales (Aramendiz-Tatis, 2007). Para el caso de porcentaje de plántulas anormales éste osciló de 51.75 % (muestreo 1) a 17.33 % (muestreo 6), ya que las plántulas con sus dos hojas cotiledonares, primera hoja verdadera, hipocótilo, y un sistema radical (Vázquez, 1997) no tuvieron la capacidad de desarrollarse, debido al efecto provocado por las condiciones ambientales de almacenamiento. En el porcentaje total de germinación hubo un comportamiento muy consistente, ya que a medida que aumentó el tiempo de almacenamiento, se observó una disminución de la germinación de 87.12 % a 22.50 % (muestreo 1 y 6), esto se atribuye al efecto de temperaturas y humedad relativas del almacén que actuaron sobre la calidad fisiológica de las semillas (Ortuño y Echandi, 1980).

Cuadro 18. Promedios mensuales de temperatura y humedad relativa de los sitios registrados durante cinco meses de almacenamiento de semillas de *C. papaya*.

No. de Muestreo	Sitio 1 (Malla sombra)		Sitio 2 (Almacén)	
	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
1	34.3	58.1	26.5	48.0
2	28.1	79.2	22.7	61.8
3	27.2	85.3	22.2	60.4
4	28.6	80.1	23.6	58.9
5	27.8	83.6	21.8	64.4
6	26.6	81.4	19.8	63.4
Promedio General	28.8	78.0	22.8	59.5

2.4.2. Efecto de accesión y de muestreo

El Cuadro 19 presenta los resultados del efecto de accesión y de muestreo. Lo primero a resaltar es el contenido de humedad de las semillas, que mostró una variación en las cuatro accesiones durante los seis muestreos, comportamiento que sirve de base para explicar el efecto en la calidad fisiológica de las semillas. En términos generales, la variable porcentaje total de embriones viables no presentó diferencias significativas entre las accesiones de cada muestreo. Respecto al porcentaje de plántulas normales, la accesión 165 en los muestreos 3, 4 y 5 presentó valores de 48.50 %, 24.00 %, y 29.00 %, respectivamente y fue estadísticamente mejor que el resto de las accesiones. Esto indica que las semillas manifestaron una respiración celular alta, que se manifestó en una mayor emergencia de plántulas normales (ISTA, 2005). En cuanto al porcentaje de plántulas anormales, la accesión 18 fue la que estadísticamente tuvo los más altos valores en los muestreos 1, 2, 3 y 4 con valores de 66.50 %, 56.50 %, 44.00 % y 61.00 %, respectivamente. Esto quiere decir que las semillas de estas colectas presentaron una respiración y actividad celular baja, que origino una mayor proporción de plántulas anormales (ISTA, 2005); mientras que la accesión 165 en el muestreo 5 y 6 (54.00 % y 28.00 %) superó a la accesión 18. En el porcentaje total de germinación, la accesión 18 del muestreo 3 y 4 con 77.00 % y 75.00 %, respectivamente fue estadísticamente la de mayor porcentaje de germinación entre accesiones, la cual resultó con semillas viables independientemente de que haya generado plántulas normales o anormales en el porcentaje total de germinación (ISTA, 2005); mientras que en el muestreo 5 y 6 la accesión 165 superó a la accesión 18 en las que se registraron 83.00 % y 36.00 %, respectivamente.

Con base en el efecto promedio de accesiones de cada muestreo, se observa que el contenido de humedad de las semillas se incrementó durante los cinco meses de almacenamiento, debido a que

el tipo de envase (bolsas de papel) el cual es permeable a la humedad, ocasionó un contenido variable de humedad de las semillas en almacenamiento bajo condiciones ambientales (Yogeesha *et al.*, 2008). Por otra parte, la variable porcentaje total de embriones viables, en todas las accesiones inició con valores altos, los cuales fueron disminuyendo a medida que aumentó el número de muestreos; esto indica, que las semillas sufrieron daños en las membranas tanto celulares como en los organelos intracelulares (mitocondrias, plastidios, etc.) durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales (Gálvez, 2003). En cuanto al porcentaje de plántulas normales, el Muestreo 1 presentó porcentajes menores y el muestreo 2 valores de porcentajes mayores, aunque después tendieron a bajar hasta el muestreo 6, evidenciando el incremento del deterioro por efecto del tiempo. El porcentaje de plántulas anormales se fue incrementando a medida que el tiempo de almacenamiento aumentó, ocasionando una respiración celular baja en las semillas, la cual generó plántulas anormales (ISTA, 2005). En el caso del porcentaje total de germinación, las cuatro accesiones (18, 165, 215 y 217) partieron de valores altos, las cuales fueron disminuyendo a medida que el número de muestreos aumentó; esto quiere decir, que las semillas manifestaron la capacidad de germinar, independientemente de que hayan generado plántulas normales o anormales (ISTA, 2005).

Cuadro 19. Comparación de medias entre accesiones de variables de calidad física y fisiológica en semillas de *C. papaya* evaluadas en cada muestreo, durante cinco meses de almacenamiento.

Accesión	No. de Muestreo	CHS (%)	PTEV (%)	PPN (%)	PPA (%)	PTG (%)
18	1	‡	‡	22.50 b	66.50 a	89.00 a
165	1	10.34 b	98.00 a	33.50 b	47.50 bc	81.00 a
215	1	10.80 ab	99.00 a	33.50 b	59.50 ab	93.00 a
217	1	11.55 a	94.50 a	52.00 a	33.50 c	85.50 a
Promedio		10.90	97.17	35.38	51.75	87.13
18	2	‡	‡	28.00 b	56.50 a	84.50 a
165	2	11.28 b	100.00 a	56.50 a	29.50 b	86.00 a
215	2	11.32 b	99.00 a	67.00 a	16.50 b	83.50 a
217	2	11.72 a	98.50 a	61.50 a	18.50 b	80.00 a
Promedio		11.44	99.17	53.25	30.25	83.50
18	3	‡	‡	33.00 ab	44.00 a	77.00 a
165	3	11.33 b	99.00 a	48.50 a	4.50 c	53.00 b
215	3	11.72 a	99.50 a	31.50 b	2.50 c	34.00 c
217	3	11.06 c	100.00 a	45.00 ab	13.50 b	58.50 b
Promedio		11.37	99.50	39.50	16.13	55.63
18	4	‡	‡	14.00 ab	61.00 a	75.00 a
165	4	11.98 a	96.50 a	24.00 a	29.00 b	53.00 b
215	4	11.27 b	97.00 a	7.00 b	8.50 c	15.50 c
217	4	10.85 c	95.50 a	24.00 a	35.00 b	59.00 b
Promedio		11.37	96.33	17.25	33.38	50.63
18	5	‡	‡	15.00 b	50.50 ab	65.50 b
165	5	11.97 a	81.00 a	29.00 a	54.00 a	83.00 a
215	5	12.90 a	63.50 a	21.50 ab	36.50 bc	58.00 bc
217	5	11.90 a	87.00 a	23.50 ab	31.50 c	55.50 c
Promedio		12.26	77.17	22.25	43.13	65.50
18	6	‡	‡	‡	‡	‡
165	6	11.77 a	85.00 a	8.00 a	28.00 a	36.00 a
215	6	11.48 a	93.50 a	2.50 a	6.50 b	9.00 b
217	6	10.97 b	94.50 a	5.00 a	17.50 a	22.50 a
Promedio		11.41	91.00	5.17	17.33	22.50

‡ = Espacios vacíos dentro de la columna indica que no se obtuvieron datos, por falta de semilla. Letra diferente dentro de la columna, indican diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$); CHS = Contenido de humedad de las semillas, PTEV = Porcentaje total de embriones viables; PTG = Porcentaje total de germinación; PPN = Porcentaje de plántulas normales; PPA = Porcentaje de plántulas anormales.

2.4.3. Efecto de la interacción Sitio x Accesión y de muestreo

El Cuadro 20 presenta los resultados de la interacción Sitio x Accesión y de muestreo, correspondientes a las variables de calidad física y fisiológica. En la variable contenido de humedad de las semillas, se observa que la interacción de Sitio 1 (1 x 165) del muestreo 2, 4 y 6 (12.64 %, 12.24 %, 12.05 %) fue estadísticamente alta, superando las interacciones del Sitio 2; esto se atribuye a que el contenido de humedad de las semillas tendió a equilibrarse con las condiciones de temperatura y humedad relativa del almacén (Cerovich y Miranda, 2004).

Por otro lado, en la variable porcentaje total de embriones viables, la interacción Sitio x Accesión del muestreo 1 al 4 del Sitio 1 y Sitio 2 no hubo diferencias significativas. En el caso de la variable porcentaje de plántulas normales, en la interacción de Sitio 2 (2 x 217) del muestreo 2, 4 y 5 resultó con valores de 74.00 %, 38.00 % y 33.00 %, respectivamente, siendo estadísticamente mejor y superando a los valores de las interacciones del Sitio 1, lo que significa, que el almacenamiento de las semillas del Sitio 2 es aceptable para su conservación, ya que mostró mayor porcentaje de plántulas normales. En cuanto al porcentaje de plántulas anormales, para la interacción de Sitio 1 (1 x 18) del muestreo 2, 3 y 4, fueron mayores (68.00 %, 51.00 %, 57.00 %); esto quiere decir, que el Sitio 1 afecta la calidad de las semillas en almacén bajo condiciones de malla sombra, trayendo como resultado el mayor porcentaje de plántulas anormales. En el porcentaje total de germinación, las interacciones de los dos sitios mostraron valores muy consistentes, donde el porcentaje de germinación fue disminuyendo conforme las semillas permanecieron más tiempo almacenadas.

Por lo que respecta al contenido de humedad de las semillas en los promedios de las interacciones de cada muestreo, el Sitio 1 mostró promedios mayores, en comparación con las interacciones del Sitio 2. Esto significa, que el contenido de humedad de las semillas, tendió a

equilibrarse bajo las condiciones de almacenamiento (temperatura y humedad relativa controladas) (Cerovich y Miranda, 2004).

En cuanto a la variable porcentaje total de embriones viables, el Sitio 2 mostró un rango de 97.33 % - 94.00 %, mientras, que el Sitio 1 fue de 97.00 % - 88.00 %, ambos sitios tuvieron un comportamiento muy consistente; estos resultados indican que el almacenamiento bajo las condiciones ambientales, en que se manejaron, se mantuvo la viabilidad de las semillas, lo que propicio el mayor porcentaje de embriones viables.

Finalmente, en las variables porcentaje de plántulas normales y porcentaje total de germinación, se observaron las mismas tendencias. El porcentaje de plántulas normales, de las interacciones del Sitio 1 fue de 19.75 % a 3.33 % y del Sitio 2 de 51.00 % a 7.00 %, mientras que para el porcentaje total de germinación, en las interacciones del Sitio 1 fue de 85.50 % a 17.00 % y del Sitio 2 de 88.75 % a 28.00 %, lo que significa, que entre más tiempo permanecieron las semillas almacenadas bajo condiciones ambientales, se disminuyó su capacidad germinativa. En la variable porcentaje de plántulas anormales en el Sitio 1 los valores fueron mayores (65.75 % - 13.67 %), en contraste con el Sitio 2 (37.75 % - 21.00 %), lo que significa, que las condiciones del Sitio 1, afectaron las estructuras internas de las semillas, generando anormalidades en las hojas cotiledonares, primera hoja verdadera, hipocótilo, e inclusive daños en el sistema radical (Vázquez, 1997).

Cuadro 20. Comparación de medias entre Sitio x Accesoión de la calidad física y fisiológica en semillas de *C. papaya* evaluadas durante cinco meses de almacenamiento.

Sitio 1

S x A	No. de Muestreo	CHS (%)	PTEV (%)	PPN (%)	PPA (%)	PTG (%)
1x18	1	‡	‡	6.00 c	85.00 ab	91.00 a
1x165	1	10.99 ab	96.00 a	14.00 bc	61.00 bc	75.00 a
1x215	1	11.42 ab	98.00 a	7.00 c	86.00 a	93.00 a
1x217	1	12.38 a	97.00 a	52.00 a	31.00 d	83.00 a
Promedio		11.60	97.00	19.75	65.75	85.50
1x18	2	‡	‡	13.00 b	68.00 a	81.00 a
1x165	2	12.64 a	100.00 a	48.00 a	41.00 ab	89.00 a
1x215	2	12.26 ab	100.00 a	73.00 a	14.00 bc	87.00 a
1x217	2	11.96 bc	100.00 a	49.00 a	30.00 bc	79.00 a
Promedio		12.29	100.00	45.75	38.25	84.00
1x18	3	‡	‡	26.00 b	51.00 a	77.00 a
1x165	3	11.14 b	98.00 a	38.00 ab	3.00 cd	41.00 bc
1x215	3	12.26 a	100.00 a	29.00 b	1.00 d	30.00 c
1x217	3	11.49 b	100.00 a	40.00 ab	11.00 c	51.00 abc
Promedio		11.63	99.33	33.25	16.50	49.75
1x18	4	‡	‡	26.00 ab	57.00 ab	83.00 a
1x165	4	12.24 a	100.00 a	24.00 b	28.00 bc	52.00 c
1x215	4	11.46 bc	99.00 a	2.00 d	16.00 cd	18.00 d
1x217	4	10.93 cd	100.00 a	10.00 c	45.00 abc	55.00 bc
Promedio		11.54	99.67	15.50	36.50	52.00
1x18	5	‡	‡	6.00 c	43.00 abc	49.00 b
1x165	5	13.76 ab	82.00 ab	44.00 a	44.00 abc	88.00 a
1x215	5	14.92 a	38.00 b	29.00 ab	31.00 c	60.00 b
1x217	5	12.26 bc	88.00 a	14.00 bc	36.00 bc	51.00 b
Promedio		13.65	69.33	23.25	38.50	62.00
1x18	6	‡	‡	‡	‡	‡
1x165	6	12.05 a	70.00 b	2.00 b	22.00 ab	24.00 ab
1x215	6	12.01 a	97.00 a	1.00 b	3.00 c	4.00 c
1x217	6	11.51 a	97.00 a	7.00 ab	16.00 abc	23.00 ab
Promedio		11.86	88.00	3.33	13.67	17.00
Promedio G.		12.09	92.22	23.47	34.86	58.37

Continuación...

Cuadro 20. Continuación...

Sitio 2

S x A	No. de Muestreo	CHS (%)	PTEV (%)	PPN (%)	PPA (%)	PTG (%)
2x18	1	‡	‡	39.00 ab	48.00 cd	87.00 a
2x165	1	9.69 b	100.00 a	53.00 a	34.00 cd	87.00 a
2x215	1	10.18 b	100.00 a	60.00 a	33.00 cd	93.00 a
2x217	1	10.73 ab	92.00 a	52.00 a	36.00 cd	88.00 a
Promedio		10.20	97.33	51.00	37.75	88.75
2x18	2	‡	‡	43.00 a	45.00 ab	88.00 a
2x165	2	9.92 d	100.00 a	65.00 a	18.00 bc	83.00 a
2x215	2	10.38 d	98.00 a	61.00 a	19.00 bc	80.00 a
2x217	2	11.48 c	97.00 a	74.00 a	7.00 c	81.00 a
Promedio		10.59	98.33	60.75	22.25	83.00
2x18	3	‡	‡	40.00 ab	37.00 ab	77.00 a
2x165	3	11.51 b	100.00 a	59.00 a	6.00 cd	65.00 ab
2x215	3	11.17 b	99.00 a	34.00 ab	4.00 cd	38.00 bc
2x217	3	10.63 c	100.00 a	50.00 ab	16.00 bc	66.00 ab
Promedio		11.10	99.67	45.75	15.75	61.50
2x18	4	‡	‡	2.00 d	65.00 a	67.00 ab
2x165	4	11.72 ab	93.00 a	24.00 ab	30.00 abc	54.00 c
2x215	4	11.09 bcd	95.00 a	12.00 c	1.00 d	13.00 d
2x217	4	10.76 d	91.00 a	38.00 a	25.00 bc	63.00 bc
Promedio		11.19	93.00	19.00	30.25	49.25
2x18	5	‡	‡	24.00 abc	58.00 ab	82.00 a
2x165	5	10.17 d	80.00 ab	14.00 bc	64.00 a	78.00 a
2x215	5	10.88 cd	89.00 ab	14.00 bc	42.00 abc	56.00 b
2x217	5	11.55 cd	86.00 ab	33.00 ab	27.00 c	60.00 b
Promedio		10.87	85.00	21.25	47.75	69.00
2x18	6	‡	‡	‡	‡	‡
2x165	6	11.48 a	100.00 a	14.00 a	34.00 a	48.00 a
2x215	6	10.96 b	90.00 ab	4.00 ab	10.00 bc	14.00 bc
2x217	6	10.43 b	92.00 ab	3.00 ab	19.00 ab	22.00 ab
Promedio		10.96	94.00	7.00	21.00	28.00
Promedio G.		10.82	94.56	34.13	29.13	63.25

‡ = Espacios vacíos dentro de la columna indica que no se obtuvieron datos, por falta de semillas. Letra diferente dentro de la columna, indican diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$); S x A = Sitio x Accesoión; CHS = Contenido de humedad de las semillas; PTEV = Porcentaje total de embriones viables; PPN = Porcentaje de plántulas normales; PPA = Porcentaje de plántulas anormales; PTG = Porcentaje total de germinación.

2.5. CONCLUSIONES

El deterioro de semillas de accesiones de *C. papaya* avanzó conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento.

El deterioro de las semillas en el almacenamiento del Sitio 1, ubicado en la localidad de Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, y caracterizado por una temperatura y humedad relativa altas, fue más severo, mientras que en el ambiente más fresco y seco (Sitio 2), ubicado en la localidad de Montecillo, Estado de México, fue posible obtener en el muestreo 6, un mayor porcentaje de germinación.

La accesión 18 procedente de Veracruz con el grado de manejo cultivado, fue la que mejor comportamiento en la calidad fisiológica de semillas manifestó en los dos sitios de almacenamiento probados.

2.6. LITERATURA CITADA

- Alfonso, M. G. 2010. Guía técnica del cultivo de la papaya. CENTA. El Salvador. 37 p. En línea: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/frutales/GUIA%20CULTIVO%20PAPAYA.pdf>. Consultado: noviembre de 2016.
- Aramendiz-Tatis, H., C. Cardona, A. Jarma, J. Robles y R. Montalván. 2007. Efectos del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Agronomía Colombiana* 25(1), 104- 112.
- Berbert, P. A., V. O. Carlesso, R. F. Da Silva, E. F. Araujo, J. T. L. Thiébaud y M. T. R. Oliveira. 2008. Qualidade fisiológica de sementes de mamão em função da secagem e do armazenamento. *Revistas Brasileira de Sementes*, vol. 30, nº 1, p. 000-000.
- Cerovich, M. y F. Miranda. 2004. Almacenamiento de semillas: estrategia básica para la seguridad alimentaria. *CENIAP Hoy*. Nº. 4. Enero-abril.
- CORSPAC, 2009. Informe estudio de mercado para la comercialización de la papaya en el municipio de Acapulco. CORSPAC, S. A de C. V. En línea: http://www.corspac.com/5_informe_estudio_mercado_papaya_2009.pdf. Consultado: noviembre de 2016.
- Delouche, J. C. and C. C. Baskin. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Sci. and Techno.* 1: 427- 452.
- Evans, E. A. and F. H. Ballen. 2012. An Overview of Global Papaya Production, Trade, and Consumption. 6 p.
- Fonseca, J. M. O. 2002. Conservação pós-colheita de mamão (*Carica papaya* L.): análise das cultivares Sunrise Solo e Golden, sob controle de temperatura e da atmosfera. Tesis profesional. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Brazil. 177 p.
- Furutani, S. C. and M. A. Nagao. 1987. Influence of temperature, KNO₃, GA₃ and seed drying on emergence of papaya seedlings. *Scientia Hortic.*, 32: 67- 72.
- Gálvez, C. R. 2003. Almacenamiento y Conservación de Semillas. *In*: Sánchez A. L., Arroyo M. S. y Navarro R. Ma. C (eds.). *Material Vegetal de Reproducción: Manejo, Conservación y Tratamiento*. pp: 131-148.

- García, E. 1998. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 246 p.
- Gil, A. I. y D. Miranda. 2005. Morfología de la flor y la semilla de papaya (*Carica papaya* L.): Variedad Maradol e híbrido Tainung -¹. Agro. Colombia. 23: 218-222.
- Harrington, J. F. 1972. Seed storage and longevity. *In*: T. T. Kozlowski (ed). Seed Biology. Vol. III. Academic Press, New York. pp: 145-215.
- Hartmann, H. y D. Kester. 1988. Propagación de Plantas. Mexico, D.F. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. 760 pp.
- Hor, Y. L. 1977. Storage of field crops seed under Malaysian conditions. *In*: H. F. Chin; I. C. Enoch and R. M. Raja Harum (eds.). Seed Technology in the Tropics. Faculty of Agriculture. University Pertanian Malaysian. Serdang, Selangor, Malaysia. pp: 123- 134.
- ISTA, (International Seed Testing Association). 2005. International Rules for Seed Testing. Published by The International Seed Testing Association. P. O. BOX 308, 3803 Bassersdorf, CH- Switzerland. 243 p.
- ISTA, (International Seed Testing Association). 2004. International Rules for Seed Testing. Ed. 2004. Bassersdorf, CH-Switzerland, 243 p.
- ISTA, (International Seed Testing Association). 1993. International Rules for Seed Testing 1993. Seed Sci. and Technol. 21, Supplement. 228 p.
- Kozlowski, T. T. 1972. Seed Biology. Volume III. Academic Press. New York. London.
- Moreno, E. M. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de biología. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 393 p.
- Ortuño, F. y Z. Echandi. 1980. Efecto de condiciones de almacenamiento sobre la viabilidad y vigor de la semilla de café (*Coffea arabica* L.). Agronomía Costarricense. 4 (2): 149-159.
- SAS, (Statistical Analysis System Institute). 2002. SAS/SAT User's Guide. Version 9. Cary, N. C. USA.
- Vázquez, C. Y., A. Orozco, M. Rojas, M. E. Sánchez y V. Cervantes. 1997. Las semillas. pp. 25-94. La reproducción de plantas: Semillas y meristemas. México: Fondo de Cultura Económica.

Yogeesha, H. S., K. Bhanuprakash, and L. B. Naik. 2008. Seed Storability in three varieties of papaya in relation to seed moisture, packaging material and storage temperature. *Seed Sci. & Technol.*, 36, 721-729.

Zulhisyam, A. K., C. S. Tse, A. I. Anwar, N. N. Azwanida, S. Shazani and M. H. Jamaludin. 2013. Effect of storage temperature and seed moisture contents on papaya (*Carica papaya* L.) seed viability and germination. *Journal of Sustainability Science and Management, Volume 8 Number 1*, June 2013: 87-92.

CAPÍTULO III. TOLERANCIA A LA DESECACIÓN EN SEMILLAS DE CUATRO ACCESIONES DE PAPAYO (*Carica papaya* L.)

RESUMEN

Las poblaciones en huerto familiar, semi-domesticadas, cultivadas y silvestres, crecen en ambientes naturales diferentes, son muy valiosas, pero su pérdida es irreversible y amenazan la estabilidad de los ecosistemas. En este sentido, son urgentes las acciones de conservación *in situ* o *ex situ* de estos recursos. El objetivo fue clasificar por su grado de desecación, el comportamiento de semillas de cuatro accesiones de papayo silvestres, huerto familiar y cultivadas, para sugerir el método de conservación más apropiado. Se utilizaron 1000 semillas libres de impurezas. Según el protocolo, se determinó el contenido de humedad de las semillas con el método de estufa, y la viabilidad con el método de tetrazolio; la viabilidad se clasificó en vigor alto, medio y bajo. Se usó un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones de 25 semillas por accesión. En semillas de cuatro accesiones, se realizó el secado natural bajo condiciones de laboratorio (25 a 27 °C y 60 - 75 % de humedad relativa) hasta un 10 - 12 % de humedad usando 100 semillas de cada accesión para determinar la viabilidad. Posteriormente, mediante sílica gel, la humedad de las semillas se disminuyó hasta un 5 %, y luego se tomaron de nuevo, otras 100 semillas de cada accesión para evaluar la viabilidad. Finalmente, 100 semillas se depositaron en bolsas selladas de plástico de polietileno, se colocaron en un ultra congelador a -20 °C, permaneciendo almacenadas allí por tres meses, y después evaluar la viabilidad final. Se concluye que las semillas de papayo, se comportan como ortodoxas, sin importar el tipo de manejo, pues la viabilidad fue superior al 50 %.

Palabras clave: Conservación *ex situ*, conservación *in situ*, tolerancia a la desecación, ortodoxa, viabilidad.

CHAPTER III. DESICCATION TOLERANCE IN FOUR ACCESSIONS OF PAPAYO

SEEDS (*Carica papaya* L.)

ABSTRACT

The semi-domesticated, cultivated and wild family garden populations, growing in different natural environments, represent an invaluable value for human beings and their loss is an irreversible threat for the stability of ecosystems. In this sense, it is urgent to take action for the conservation *in situ* or *ex situ* of plant genetic resources. The objective of this research was to classify according to the degree of desiccation, the seed behavior of four accessions of wild type papaya, family and cultivated orchard in order to suggest the most appropriate conservation method. In each accession, 1000 clean seeds were used. Based on the protocol, the moisture content of the seeds was determined using the stove method, and viability with the tetrazolium method; tetrazolium viability results were classified as high, medium and low. It was used a completely randomized design, with four replicates of 25 seeds per accession. As part of the protocol, papaya seeds from four accessions, were subjected to natural drying under laboratory conditions (25 to 27 ° C and 60-75% relative humidity) to levels between 10-12 % of moisture content. In one hundred seeds per accession the viability was determined. The moisture content of the seeds was even more decreased using silica gel to the level of 5 %; 100 seeds were then used from each accession and tetrazolium viability evaluated. Subsequently, 100 seeds were deposited in sealed polyethylene plastic bags, and stored in an ultra-freezer of -20 ° C, where they remained for three months. After that, the tetrazolium viability test was again performed. It was concluded that the seeds of four accessions of papaya, regardless of their degree of management, behave as orthodox type, since the viability of the embryos was superior to 50 %.

Keywords: *Ex situ*, *in situ* conservation, desiccation tolerance, orthodox, viability.

3.1. INTRODUCCIÓN

La conservación de los recursos fitogenéticos con importancia social, cultural o económica es una forma de mantenerlos *in situ* y *ex situ*, con el fin de evitar la pérdida o extinción del mismo.

La conservación *in situ* se lleva a cabo en su lugar de origen, en su mismo ambiente, donde interactúan microorganismos y animales; mientras que, la conservación *ex situ* permite mantenerlos en bancos de semillas o tejidos o en plantaciones (Collins y Hawtin, 1999).

Se estima que de las 250, 000 a 300, 000 especies de plantas que existen en el mundo, cerca del 10 a 20 % están amenazadas. Con los recursos y condiciones actuales, la conservación *in situ* no logra proteger a todas las especies vegetales en peligro de extinción, por ello, es importante considerar a la conservación *ex situ* para completar la información biológica necesaria y asegurar la conservación de los recursos fitogenéticos de interés social, cultural y económico (Gold *et al.*, 2004).

Los bancos de semillas y los jardines botánicos son formas comunes para la conservación de la diversidad biológica vegetal *ex situ*. Los primeros en particular, permiten conservar por mucho tiempo en condiciones específicas y en un espacio reducido, muestras representativas de diversidad genética de especies de plantas, donde generalmente se requieren bajos niveles de contenido de humedad y temperaturas bajo cero. Bajo las condiciones anteriores, se conservan varias especies, cuyas semillas toleran la desecación (ortodoxa) (Gold *et al.*, 2004).

Existen tres tipos de comportamiento en las semillas, los cuales son: ortodoxas, intermedias, recalcitrantes. El primer comportamiento es el que tolera a la desecación de las semillas clasificadas como ortodoxa (Roberts, 1973); el segundo incluye aquellas semillas que toleran desecaciones entre 10 - 12 % de contenido de humedad y se consideran intermedias (Ellis *et al.*, 1989); y las últimas corresponden a las que no toleran a la desecación, conocidas como semillas

recalcitrantes (Roberts, 1973). Estos tres comportamientos, clasifican a las semillas de acuerdo a la especie a conservar; aunque, aquellas especies de categoría recalcitrante, tienden a perder la viabilidad a corto tiempo.

Con base a los tipos de comportamiento de las semillas en el almacén, es necesario considerar el del secado al aire libre, ya que permite clasificar a especies con comportamiento de semillas intermedias en condiciones ambientales tropicales, como el café (*Coffea arabica* L.) (Bendana, 1962; Wellman y Toole, 1960) y papaya (*Carica papaya* L.) (Bass, 1975), las cuales deben almacenarse a contenidos de humedad de 9 a 10 % y a una humedad relativa de 50 %, con una temperatura de 10 °C por un periodo de 5 y 6 años, sin pérdida de viabilidad.

La temperatura, humedad relativa, y el contenido de humedad, son factores importantes para el almacenamiento de las semillas de papayo. Un mayor contenido de humedad perjudica la vida de las semillas y rápidamente reduce la viabilidad durante el almacenamiento. Al respecto Harrington (1972), propone dos reglas en las que deja en claro la importancia de la temperatura y contenido de humedad en la velocidad del deterioro de las semillas, donde indica que por cada 1 % de reducción en el contenido de humedad de las semillas y por cada 5 °C de reducción en la temperatura, las semillas duplican su viabilidad.

Estudios afirman que las semillas de papaya es de tipo recalcitrante Chin *et al.*, 1984 y Hofmann y Steiner (1989), pero más tarde Ellis *et al.* (1990) la clasificaron como intermedia, y ahora en una investigación realizada por Salomao y Mundium (2000) señalan que la papaya es de tipo ortodoxa. Por lo anterior, es importante precisar el comportamiento de las semillas de papayo en almacén, que permita asegurar el germoplasma a largo plazo y en futuro hacer uso de éste.

Con base en la problemática expresada, la presente investigación tuvo como objetivo clasificar de acuerdo a su grado de desecación el comportamiento de semillas papayo de cuatro accesiones

de tipo silvestre, huerto familiar y cultivada y en este sentido sugerir el método de conservación más apropiado para esta especie.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó durante los meses de Mayo-Septiembre del 2015 en el laboratorio de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en el Estado de México a 19° 27' 38.38" LN y 98° 54' 30.54" LO, a una altitud de 2243 m.

En el Cuadro 21 se muestran las accesiones de semillas de papayo que fueron utilizadas. Los frutos de papayo fueron obtenidos de un lote de plantas crecidas en el área experimental del proyecto "Mantenimiento y conservación de germoplasma de *C. papaya*" ubicada en la localidad de Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, en los 19°11'41.51" LN y 96°20'27.17" LO, a una altitud de 39 m, del mes de junio de 2015; la cosecha se realizó manualmente tomando como criterio el grado de madurez fisiológica 6 y 7 (con más de un 86 % de color amarillo en la cáscara) de acuerdo con la escala desarrollada por Fonseca (2002). Para la extracción de las semillas, a cada dos frutos por accesión se realizó un corte transversal y con el apoyo de una espátula doble cuchara - Tdc - 21 cm, se extrajeron las semillas. Después, se depositaron en un colador de plástico (28 cm) donde se eliminó la sarcotesta (capa mucilaginosa) por frotación y se enjuagó con abundante agua corriente. Posteriormente, las semillas se colocaron en toallas sanitas (*Pacific blue*) bajo condiciones de laboratorio (25 a 27 °C y 60 - 75 % de humedad relativa) para su secado natural.

Cuadro 21. Datos pasaporte de las accesiones de semillas estudiadas de *C. papaya*.

Nº de Accesión	Grado de manejo	Estado	Latitud N	Longitud O	Altitud (m)
18	Cultivada	Veracruz	19°17'03.97"	96°26'15.97"	46
165	Semi-domesticada	Tabasco	18°05'6.9"	94°02'23.8"	6
215	Huerto familiar	Campeche	18°37'31.8"	90°08'5.1"	81
217	Silvestre	Campeche	18°39'4.6"	90°16'53.8"	65

3.2.1. Pruebas en condiciones de laboratorio

Previo a la desecación de las semillas de papayo de cuatro accesiones, se tomaron muestras de 100 semillas, las cuales se dividieron en cuatro repeticiones de 25 semillas cada una y después, se procedió a determinar algunas pruebas que a continuación se describen con mayor detalle:

Contenido de humedad de las semillas (CHS)

Se obtuvo el peso del recipiente en g, después, el peso de recipiente y su contenido en g antes del secado sobre una balanza analítica (SCIENTECH®) con precisión de 0.0001 g. Subsecuentemente, se pusieron a secar en una estufa (Thermo SCIENTIFIC) durante 1 hora a 130 ± 1 °C. Inmediatamente después de este lapso de tiempo, se obtuvo el peso final del recipiente conteniendo las semillas (ISTA, 1993).

El contenido de humedad de las semillas, se calculó con base al peso de las semillas de la siguiente manera:

$$\% \text{ Contenido de humedad de las semillas} = (M_2 - M_3) \times \frac{100}{(M_2 - M_1)}$$

Donde:

M_1 = Peso del recipiente en g.

M_2 = Peso de recipiente y su contenido en g antes del secado

M_3 = Peso del recipiente y su contenido en g después del secado

Prueba de viabilidad con el método de tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifenil tetrazolio)

En este apartado, las semillas de cada accesión, se embebieron en agua destilada durante 18 h. Después, para extraer los embriones de las semillas, con el apoyo de un bisturí (# 3) con mango, se practicó una disección longitudinal en las semillas y después con una pinza recta de 26 cm, se extrajeron los embriones, y al instante, se expusieron en recipientes de plástico de 50 ml con agua destilada para evitar la muerte del mismo. Después, el agua destilada que mantuvo hidratando a los embriones, se retiró con el apoyo de un colador de plástico (28 cm) y en seguida los embriones se pusieron en recipientes de plástico de 50 ml secos, después, se colocó una toalla sanita (*Pacific blue*) para evitar su flotación y al instante se aplicó 20 ml de tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifenil tetrazolio) (Sigma[®]), a una concentración de 0.2 %. Posteriormente, se dejaron reposar a una temperatura de 23 °C por 72 horas en obscuridad. Al término de este periodo, los embriones se retiraron de la solución con el apoyo de un colador de plástico (28 cm) y piseta de plástico de 50 ml, los cuales se lavaron por tres ocasiones con agua destilada para eliminar restos de solución de tetrazolio; finalmente, se evaluó la viabilidad de los embriones en un microscopio estereoscópico (ZEISS), donde se tomaron criterios de los patrones de tinción observados en las semillas de papaya y los determinados por otras especies.

Evaluación de embriones. Cabe mencionar que no existe un protocolo en las normas del ISTA de esta prueba de viabilidad en la especie papaya, por lo que dicha evaluación fue realizada con gran precisión, tomando en cuenta varios criterios relacionados con base a otros patrones de coloración en especies cercanas a la morfología embrionaria de papaya. Las variables estudiadas fueron las siguientes:

Porcentaje de embriones con vigor alto (PEVA). Se determinó el número de embriones con sus dos cotiledones planos y delgados, eje embrionario y radícula (Gil y Miranda, 2005); bien desarrollados y teñidos de color rojo uniforme e intenso.

Porcentaje de embriones con vigor medio (PEVM). Se determinó el número de embriones con sus dos cotiledones planos y delgados, eje embrionario y radícula (Gil y Miranda, 2005); bien desarrollados y de color rojo medio uniforme. El margen y ápice de los cotiledones de tono anaranjado - rojizo. El eje embrionario teñido de color rojo intenso. La base y parte terminal de la radícula de un color rosa.

Porcentaje de embriones con vigor bajo (PEVB). Se determinó el número de embriones con sus dos cotiledones planos y delgados, eje embrionario y radícula (Gil y Miranda, 2005); con un desarrollo deficiente y de color rosa pálido.

Porcentaje total de embriones viables (PTEV). En este parámetro se determinó la sumatoria del número de embriones con vigor alto, embriones con vigor medio y embriones con vigor bajo.

Porcentaje de embriones no viables (PENV). En este parámetro se determinó el número de embriones con sus dos cotiledones planos y delgados, eje embrionario y radícula (Gil y Miranda, 2005); sin tinción.

3.2.2. Determinaciones previas a la desecación y viabilidad

En la clasificación correcta de las semillas en almacén, se utilizó el protocolo propuesto por Hong y Ellis (1996), que consiste en disminuir el contenido de humedad de las semillas y determinar al instante la viabilidad con tetrazolio (ISTA, 2009), y con base al 50 % de viabilidad superior, decidir si continua la disminución de contenido de humedad de las semillas (De Viana *et al.*, 2009).

De acuerdo al protocolo (Figura 3), se extrajeron las semillas de papayo de cuatro accesiones. Una vez, que se extrajeron las semillas, se realizó el secado natural sobre toallas sanitas (*Pacific blue*) bajo condiciones de laboratorio (25 a 27 °C y 60 - 75 % de humedad relativa). Después, de haber transcurrido dos horas de secado, se determinó el contenido de humedad de las semillas y viabilidad con tetrazolio. Posteriormente, continuo el secado hasta obtener entre 10 - 12 % de contenido de humedad de las semillas y al instante se determinó la viabilidad con tetrazolio.

En este apartado, se continuó la disminución de humedad de las semillas con sílica gel (ALDRICH®). Para ello, en esta fase se optó en determinar el contenido de humedad inicial de las semillas de papayo de cuatro accesiones: accesión 18 (11.06 %), 165 (9.67 %), 215 (10.59 %) y 217 (11.19 %). Después, se pesaron las semillas – sílica gel para cada accesión en proporción de 1:1 (5 g / 5 g) (Rao *et al.*, 2007), subsecuentemente, en 4 frascos herméticos (Borgonovo®), se depositó en primer lugar la sílica gel, posteriormente, se introdujeron 4 mallas de aluminio de 5.7 x 5.7 x 5.7 cm, después, se depositaron las semillas y fueron selladas herméticamente. Posteriormente, se calculó el 5 % de contenido de humedad de las semillas para cada accesión, mediante la ecuación propuesta por Hong y Ellis (1996):

$$\% \text{ Contenido de humedad de las semillas} = \left[\frac{100 - M1}{100 - M2} \right] * PS$$

Dónde:

M1 = Contenido de humedad inicial de las semillas

M2 = Contenido de humedad que se desea lograr (5 %)

PS = Peso del lote de semillas en g antes del desecado

Con base al cálculo, se obtuvo lo siguiente: accesión 18 (4.69 %), 165 (4.76 %), 215 (4.71 %) y 217 (4.67 %). Una vez, teniendo en cuenta el porcentaje correspondiente de cada accesión, se inició la desecación, donde se monitoreo periódicamente la pérdida de humedad, mediante el registro de la disminución del peso de las semillas durante el proceso del desecado. Para ello, el contenido de humedad de las semillas de cada accesión, se logró en las horas siguientes: accesión 18 (84 horas), 165 (81 horas), 215 (105 horas) y 217 (131 horas), y al instante se extrajeron 100 semillas de cada accesión y se evaluó la viabilidad con tetrazolio. Mientras que, otras 100 semillas fueron depositadas en sobres de plástico de polietileno y selladas con cinta adhesiva, después, se llevaron a un ultra congelador (Puffer Hubbar modelo IUF1816A14) de -20 °C, las cuales permanecieron almacenadas por un período de tres meses. Una vez, transcurrido el período de almacenamiento se realizó la prueba de viabilidad con tetrazolio.

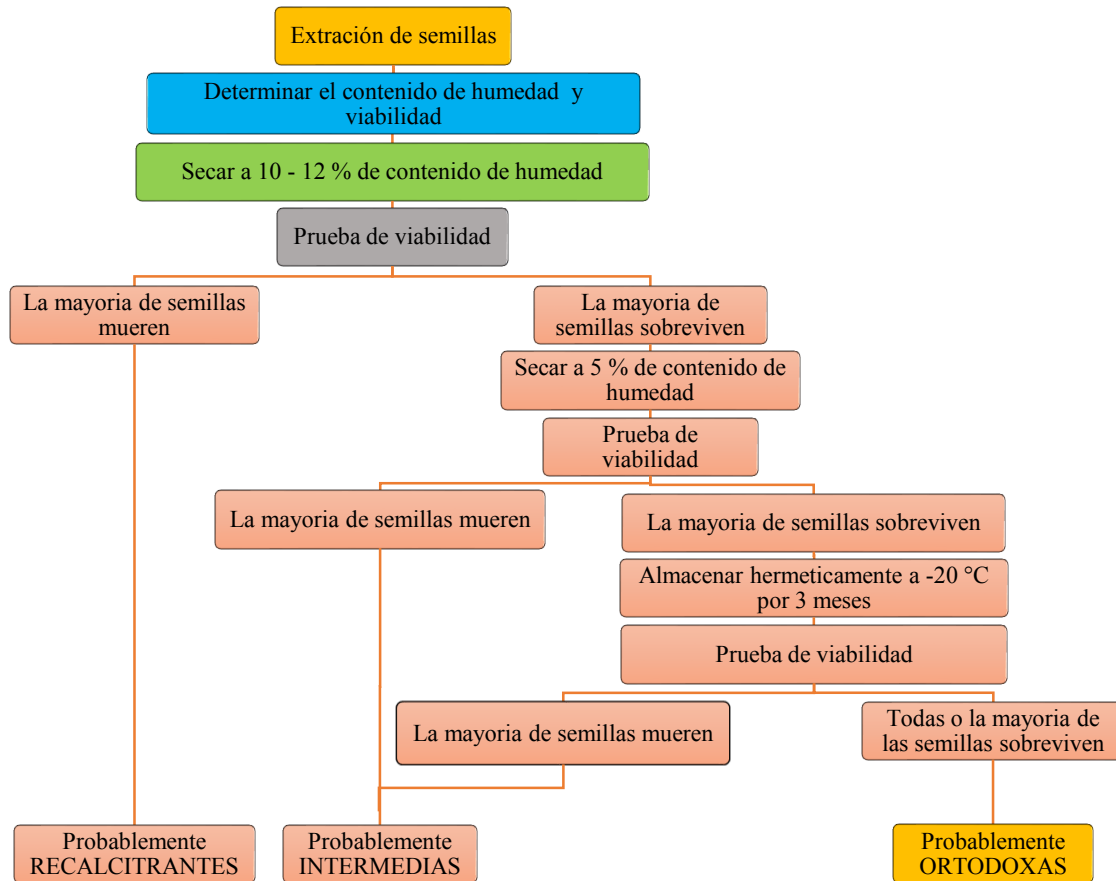


Figura 3. Protocolo para determinar el comportamiento de las semillas en almacén, con base al grado de tolerancia a la desecación (Hong y Ellis, 1996).

3.3. Diseño experimental

En la clasificación de tolerancia a la desecación, se etiquetaron cuatro toallas sanitas con las accesiones 18, 165, 215 y 217, en las cuales se depositó una muestra de 1, 000 semillas para dicha prueba. El diseño experimental en esta fase fue un completamente al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de 25 semillas.

3.4. Análisis estadístico

Los datos de contenido de humedad y viabilidad, se capturaron en una base de datos Excel 2013 (Microsoft). Previo análisis de varianza, los datos fueron transformados mediante la función de Arcoseno, se probaron supuestos de homogeneidad ($P \geq 0.05$) y normalidad ($P \geq 0.05$) para el análisis de varianza, las cuales fueron identificadas bajo las pruebas de Shapiro-Wilk and Bartlett, respectivamente. El modelo completamente al azar fue utilizado considerando el factor accesiones y usando el procedimiento PROC GLM.

Las variables que cumplieron con los dos supuestos, se les aplicó la prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), mientras que, para aquellas variables que cumplieron únicamente con el supuesto de homogeneidad se realizó la prueba de Kruskal-Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, ≤ 0.05). Para esto, se utilizó el paquete estadístico SAS para Windows Versión 9.0 (SAS, 2002).

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Contenido de humedad y viabilidad

El análisis de varianza obtenida en la variable de calidad física mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre accesiones, excepto en las variables de calidad fisiológica (cuadro no mostrado). Para identificar el nivel de cada factor que manifestó diferencias significativas, se procedió a realizar la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) y prueba de Kruskal_Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P \leq 0.05$) (Cuadro 22).

Las semillas extraídas de los frutos de cuatro accesiones de papayo, lavadas y expuestas por un tiempo de dos horas en toallas sanitas para su secado natural bajo condiciones de laboratorio (25 a 27 °C y 60 - 75 % de humedad relativa), presentaron porcentajes de contenido de humedad y viabilidad diferentes. En el contenido de humedad de las semillas (Cuadro 22), se observó que la accesión 18 (78.8 %) fue estadísticamente mejor entre accesiones, esto indica, que la presencia de protuberancia laminares meridianas a modo de crestas (Ávila *et al.*, 2009) prolongo el tiempo de secado de las semillas, en comparación con la accesión 215 (51.6 %), las cuales presentaron números de pliegues o surcos en la testa (Aspeitia, 2012) deficientes, lo que facilitó en menos tiempo el secado. Por otra parte, en el comportamiento de viabilidad y vigor de las semillas de cuatro accesiones de papayo no se encontraron diferencias significativas ($P \geq 0.05$); pero, numéricamente la accesión 18 con el grado de manejo cultivada, presentó el 100 % de viabilidad y fue la más vigorosa, esto indica, que los embriones expuestos al tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifenil tetrazolio), redujeron la solución, y la actividad de las deshidrogenasas incrementaron resultando la liberación de iones hidrógeno (Ruiz, 2009). Continúo la reducción de humedad de las semillas.

Cuadro 22. Comparación de medias para las variables de calidad física y fisiológica en semillas de cuatro accesiones de *C. papaya*.

Accesión no ^a	CHS (%)	PEVA (%)	PEVM (%)	PEVB (%)	PTEV (%)	PENV (%)
18/Cu	78.8 a	‡ 59 a	26 a	15 a	‡ 100 a	‡ 0 a
165/Hf	61.7 c	‡ 2 a	85 a	10 a	‡ 97 a	‡ 3 a
215/Hf	51.6 d	‡ 0 a	41 a	51 a	‡ 92 a	‡ 8 a
217/Sil	68.0 b	‡ 4 a	83 a	13 a	‡ 100 a	‡ 0 a
DMS	1.50		45.58	42.59		

^aLas letras que acompañan a cada número (no.) de accesión indican el grado de manejo: Cu = Cultivada, Hf = Huerto familiar, Sil = Silvestre; Letras diferentes dentro de la columna, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); ‡ = Letras iguales denotan diferencias no significativas (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P \leq 0.05$); CHS = Contenido de humedad de las semillas; PEVA = Porcentaje de embriones con vigor alto; PEVM = Porcentaje de embriones con vigor medio; PEVB = Porcentaje de embriones con vigor bajo; PTEV = Porcentaje total de embriones viables; PENV = Porcentaje de embriones no viables; DMS = Diferencia mínima significativa.

3.5.2. Tratamiento 1: Contenido de humedad (10 - 12 %) y viabilidad

El análisis de varianza obtenida en la variable de calidad física mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre accesiones, excepto en las variables de calidad fisiológica (cuadro no mostrado).

Para identificar el nivel de cada factor que manifestó diferencias significativas, se procedió a realizar la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) y la prueba de Kruskal_Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P \leq 0.05$) (Cuadro 23).

Continuó la disminución entre 10 - 12 % de humedad de las semillas de cuatro accesiones de papayo. En el contenido de humedad de las semillas (Cuadro 23), la accesión 18 (12.5 %) y 165 (12.4 %) fueron estadísticamente similares, las cuales tardaron 61 y 34 horas, respectivamente en la disminución de sus contenidos de humedad bajo condiciones de laboratorio (25 a 27 °C y 60 - 75 % de humedad relativa); en cambio, la accesión 18 llevó más tiempo en disminuir la humedad de las semillas, debido a la presencia de protuberancias laminares meridianas a modo de crestas (Ávila *et al.*, 2009). Mientras que la accesión 217 (11.6 %) presentó 34 horas de secado; este

resultado es inferior al obtenido por De Viana *et al.* (2009), donde evaluó semillas de una especie arbórea (*Erithryna falcata* Benth.) y obtuvo en 17 horas el contenido de humedad (11.87 %) con el uso de sílica gel. Los resultados obtenidos en la prueba de viabilidad de las semillas de cuatro accesiones de papayo no mostraron diferencias significativas ($P \geq 0.05$); pero, numéricamente presentaron un intervalo de 97 a 100 % de embriones viables, esto indica, que no hubo un efecto negativo con respecto a la disminución de contenido de humedad. Además, se obtuvo el vigor de los embriones, donde la accesión 217 con el grado de manejo silvestre fue la más vigorosa; al respecto la ISTA (1999) señala que los procesos de reducción de las células vivas toman el hidrogeno liberado por las enzimas deshidrogenasas y forma una sustancia roja, estable y no difusible, el trifenil-formazan. Continúo el proceso de disminución de humedad de las semillas.

Cuadro 23. Comparación de medias para las variables de calidad física y fisiológica en semillas de cuatro accesiones de *C. papaya*.

Accesión no ^a	CHS (%)	PEVA (%)	PEVM (%)	PEVB (%)	PTEV (%)	PENV (%)
18/Cu	12.5 a	‡ 25 a	55 a	‡ 17 a	97 a	3 a
165/Hf	12.4 a	‡ 48 a	47 a	‡ 4 a	99 a	1 a
215/Hf	12.2 ab	‡ 5 a	65 a	‡ 28 a	98 a	2 a
217/Sil	11.6 b	‡ 23 a	66 a	‡ 11 a	100 a	0 a
DMS	0.55		67.51		12.15	12.15

^aLas letras que acompañan a cada número (no.) de accesión indican el grado de manejo: Cu = Cultivada, Hf = Huerto familiar, Sil = Silvestre; Letras diferentes dentro de la columna, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); ‡ = Letras iguales denotan diferencias no significativas prueba de Kruskal Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P \leq 0.05$); CHS = Contenido de humedad de las semillas; PEVA = Porcentaje de embriones con vigor alto; PEVM = Porcentaje de embriones con vigor medio; PEVB = Porcentaje de embriones con vigor bajo; PTEV = Porcentaje total de embriones viables; PENV = Porcentaje de embriones no viables; DMS = Diferencia mínima significativa.

3.5.3. Tratamiento 2: Contenido de humedad (5 %) y viabilidad

El análisis de varianza obtenida en las variables de calidad fisiológica no mostraron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre accesiones (cuadro no mostrado). Para el caso de la variable

contenido de humedad de las semillas de cuatro accesiones de papayo no se realizó ningún análisis estadístico, debido a un solo tratamiento.

En esta fase, se utilizó una muestra de 5 g de semillas y 5 g de sílica gel para continuar la disminución de humedad al 5 % en semillas de cuatro accesiones de papayo. Para ello, el contenido de humedad que se obtuvo en menos tiempo de secado fue la accesión 165 (81 horas), seguida de la accesión 18 (84 horas), mientras que la accesión 215 y 217 se llevaron más tiempo de secado con 105 y 131 horas, esto indica, que la humedad restante se une a los componentes de la célula y a las macromoléculas; al formar partes de los espacios intercelulares, se vuelven prácticamente inmóvil, por esta razón, es más complicado de eliminar la humedad durante el secado (Bewley y Black, citados por Schmitd, 2000). Con respecto a la comparación de medias de la calidad fisiológica de semillas de cuatro accesiones de papayo (Cuadro 24), no hubo diferencias significativas; pero, numéricamente la viabilidad total de los embriones fue de un intervalo de 98 a 100 %, lo que significa, que no hubo un efecto negativo en la disminución de contenido de humedad; al respecto la ISTA (1999) señala que los procesos de reducción de las células vivas toman el hidrogeno liberado por las enzimas deshidrogenasas y forma una sustancia roja, estable y no difusible, el trifenil-formazan. Por otra parte, en las variables de vigor, la accesión 165 y 215 con el grado de manejo huerto familiar fueron las más vigorosas, esto quiere decir, que las semillas pueden emerger plántulas vigorosas en diferentes condiciones adversas de campo sin dificultad (França-Neto *et al.*, 1998).

Cuadro 24. Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica en semillas de cuatro accesiones de *C. papaya*.

Accesión no ^a	PEVA (%)	PEVM (%)	PEVB (%)	PTEV (%)	PENV (%)
18/Cu	10 a	‡ 88 a	‡ 1 a	‡ 99 a	‡ 1 a
165/Hf	28 a	‡ 69 a	‡ 3 a	‡ 100 a	‡ 0 a
215/Hf	29 a	‡ 67 a	‡ 4 a	‡ 100 a	‡ 0 a
217/Sil	3 a	‡ 93 a	‡ 2 a	‡ 98 a	‡ 2 a

DMS 51.45

^aLas letras que acompañan a cada número (no.) de accesión indican el grado de manejo: Cu = Cultivada, Hf = Huerto familiar, Sil = Silvestre; Letras iguales dentro de la columna, indican diferencias no significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); ‡ = Letras iguales denotan diferencias no significativas prueba de Kruskal-Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P \leq 0.05$); PEVA = Porcentaje de embriones con vigor alto; PEVM = Porcentaje de embriones con vigor medio; PEVB = Porcentaje de embriones con vigor bajo; PTEV = Porcentaje total de embriones viables; PENV = Porcentaje de embriones no viables; DMS = Diferencia mínima significativa.

3.5.4. Tratamiento 3: Contenido de humedad (5 % a -20 °C) y viabilidad

El análisis de varianza derivada de las variables de calidad fisiológica, no detectaron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre accesiones (cuadro no mostrado). En el contenido de humedad de las semillas de cuatro accesiones de papayo no se realizó ningún análisis estadístico, ya que se trató de un solo tratamiento.

Las semillas con contenidos de humedad tratadas en el tratamiento 2, fueron almacenadas a -20 °C por un período de tres meses. El Cuadro 25 muestra la comparación de medias de la calidad fisiológica de semillas de cuatro accesiones de papayo, donde no hubo diferencias significativas entre accesiones; pero, numéricamente la accesión 18 y 165 (100 %) presentaron el mayor porcentaje de embriones viables, esto puede deberse a que los embriones expuestos al tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifenil tetrazolio) redujeron la solución, y la actividad de las deshidrogenasas incrementaron, resultando la liberación de iones hidrógeno (Ruiz, 2009); seguida de la accesión 215 con 99 % y la 217 con 97 % de embriones viables, los cuales fueron superiores al 50 % de

viabilidad (De Viana *et al.*, 2009). Esto indica, que la viabilidad se mantuvo bajo las condiciones y tiempo de almacenamiento; al respecto Roberts (1973) señala que las semillas que toleran reducciones considerables en el contenido de humedad entre un rango de 7 a 3 % sin afectar su viabilidad, se consideran semillas ortodoxas. Para el caso de vigor, la accesión 217 y 165 con grado de manejo silvestre y huerto familiar fueron las más vigorosas; al respecto França-Neto *et al.*, (1998) señala que el vigor determinado con la prueba de viabilidad con tetrazolio puede ser confiable y usada para estimar la emergencia potencial de plántulas en condiciones de campo.

Cuadro 25. Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica en semillas de cuatro accesiones de *C. papaya*.

Accesión no ^a	PEVA (%)	PEVM (%)	PEVB (%)	PTEV (%)	PENV (%)
18/Cu	44 a	33 a	‡ 23 a	‡ 100 a	‡ 0 a
165/Hf	11 a	80 a	‡ 9 a	‡ 100 a	‡ 0 a
215/Hf	35 a	53 a	‡ 10 a	‡ 99 a	‡ 1 a
217/Sil	65 a	32 a	‡ 0 a	‡ 97 a	‡ 3 a
DMS	69.79	52.70			

^aLas letras que acompañan a cada número (no.) de accesión indican el grado de manejo: Cu = cultivada, Hf = Huerto familiar, Sil = silvestre; Letras iguales dentro de la columna, indican diferencias no significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); ‡ = Letras iguales denotan diferencias no significativas prueba de Kruskal-Wallis (Prueba de Z para análisis no paramétrico, $P \leq 0.05$); PEVA = Porcentaje de embriones con vigor alto; PEVM = Porcentaje de embriones con vigor medio; PEVB = Porcentaje de embriones con vigor bajo; PTEV = Porcentaje total de embriones viables; PENV = Porcentaje de embriones no viables; DMS = Diferencia mínima significativa.

3.6. CONCLUSIONES

Se puede concluir que las semillas de *C. papaya* de las accesiones 18, 165, 215 y 217, aun cuando tienen diferente grado de manejo se clasificaron probablemente ortodoxas, al ser evaluada su viabilidad con tetrazolio. Indicativo de que la temperatura de -20 °C son las mejores condiciones para el almacenamiento de las semillas en el presente estudio.

3.7. LITERATURA CITADA

- Aspeitia, V. E. 2012. Estudio molecular y morfológico de semillas de papaya Maradol (*Carica papaya* L.) asociado con el sexo de las plantas. Tesis de maestría en tecnología de granos de semilla. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Ávila, R. C., E. García P., y G. Hernández S. 2009. Mantenimiento de las colectas de semilla de *Carica papaya* L. Resúmenes ejecutivos, Ejercicio Fiscal 2009, Texcoco Edo. De México. pp: 74.
- Bass, L. N. 1975. Seed storage of *Carica papaya* L. *HortScience* 10: 232.
- Bendana, F. E. 1962. The physiology of coffee seed. I. Problems related to storage. *Coffee. Turrialba* 4: 73-75.
- Chin, H. F., Y. L. Hor and M. B. Mohd Lassim. 1984. Identification of Recalcitrant Seed. *Seed Science and Technology*, 12: 429-436.
- Collins, W. W. and G. C. Hawtin. 1999. Conserving and using crop plant biodiversity in agroecosystems. In: Collins W. W. and Qualset .C. O. (Eds) Biodiversity in agroecosystems. CRC Press. USA. pp: 267-282.
- De viana M. L., M. J. Mosiaro y M. N. Morandini. 2009. Tolerancia a la desecación de semillas de dos especies arbóreas del Chaco Salteño (Argentina): *Erithryna falcata* Benth. y *Tecoma garrocha* Hieron. *Revista UDO Agrícola* 9 (3): 590-594.
- Ellis, R. H., T. D. Hong and E. H. Roberts. 1990. An intermediate category of seed storage behavior? I Coffee. *Journal of Experimental Botany*, 41 1167-1174.
- Ellis, R. H., T. D. Hong, and E. H. Roberts. 1989. A comparison of the low-moisture-content limit to the logarithmic relation between seed moisture and longevity in twelve species. *Ann. Bot.* 63: 601-611.
- Fonseca, J. M. O. 2002. Conservação pós-colheita de mamão (*Carica papaya* L.): análise das cultivares Sunrise Solo e Golden, sob controle de temperatura e da atmosfera. Tesis profesional. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Brazil. 177 p.
- França-Neto, J. B., F. C. Krzyzanowski, L. A. G. Pereira y N. P. Costa. 1998. El Test de Tetrazolio em sementes de Soja. Londrina: EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 117. 72 p.

- Gil, A. I. y D. Miranda. 2005. Morfología de la flor y de la semilla de papaya (*Carica papaya* L.): variedad Maradol e híbrido Tainung-1. *Agronomía Colombiana* 23 (2): 217-222.
- Gold, K., P. León-Lobos y M. Way. 2004. Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. Boletín INIA N° 110, 62 p.
- Harrington, J. F. 1972. Seed Storage and Longevity, *Seed Biology*, Volume 3. New York: Academic Press, 145 p.
- Hong, T. D. y R. H. Ellis. 1996. A Protocol to Determine Seed Storage Behaviour. IPGRI Technical Bulletin No. 1. (J.M.M. Engels y J. Toll, eds.). International Plant Genetic Resources Institute, Roma, 62 p.
- Hofmann, P. and A. M. Steiner. 1989. An Updated List of Recalcitrant Seeds. *Landwirtschaftliche Forschung*, 42: 310-323.
- ISTA, (International Seed Testing Association). 1999. Reglas Internacionales para Ensayos de Semillas. Ensayo topográfico al Tetrazolio. Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería. España.
- ISTA, (International Seed Testing Association). 2009. International Rules for Seed Testing. Published by The International Seed Testing Association. P. O. BOX 308, 8303 Bassersdorf, CH-Switzerland. 243 p.
- ISTA, (International Rules for Seed Testing). 1993. *Seed Sci and Technol.* 21, Supplement. 228 p.
- Rao, N. K., J. Hanson, M. E. Dulloo, K. Ghosh, D. Nowell, M. Larinde. 2007. Manual of seed handling in genebanks. Handbooks for genebanks No. 8. Bioversity International, Rome, Italy.
- Roberts, E. H. 1973. Predicting the storage life of seed, *Seed Sci. & Technol.* 1:499-514.
- Ruiz, M. A. 2009. El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas. Caso de estudio: cebadilla chaqueña. Publicación técnica No. 77. EEA INTA Anguil. 20 p.
- SAS, (Statistical Analysis System Institute). 2002. SAS/SAT User's Guide. Version 9. Cary, N. C. USA.

- Salomao, A. N. and R. C. Mundim. 2000. Germination of Papaya Seed in Response to Desiccation, Exposure to Subzero Temperatures, and Gibberellic. *Embrapa – Recursos Genéticos e Biotecnología P. O. HortScience* 35(5): 904 – 906.
- Schmidt, L. 2000. Guide to Handling of tropical and subtropical forest seed. (Ed. K. Olesen). Danida Forest Seed Center. Denmark. 511 p.
- Wellman, F. L. and V. K. Toole. 1960. Coffee seed germination as affected by species, disease and temperature. *Proc. Of the caribbean Section, Am. Soc. Hort. Sci.* 4: 1-6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

1. CONCLUSIONES

Se encontró una variabilidad de características físicas reducida en las semillas de 15 accesiones de papayo procedentes de cinco estados de la República mexicana. Esto probablemente se debió al grado de manejo que presentaron durante la colecta de accesiones de papayo, donde la mayor parte de las semillas eran de tipo huerto familiar, seguida de la silvestre, esto da la pauta de que la semilla no tuvo un mejoramiento por parte de los productores locales. Asimismo, de seis características físicas de la semilla, cuatro contribuyeron a la variabilidad morfológica de la semilla, además de que se obtuvo dos grupos con el alto grado de semejanza. En los tratamientos de pre-germinación, sobresale el tratamiento ácido giberélico a 500 ppm y la combinación de ácido giberélico a 500 ppm más nitrato de potasio a 0.1 M que permitieron eliminar la latencia de la semilla.

Otro aspecto relevante, es la conservación del recurso fitogenéticos nativo de México. En este sentido se monitoreo la calidad física y fisiológica de cuatro accesiones de papayo con tres grados de manejo bajo dos condiciones ambientales contrastantes de almacenamiento; por lo tanto el deterioro de las semillas en almacenamiento fue más severo en el Sitio ubicado en Veracruz, que se caracteriza por una alta temperatura y humedad relativa, mientras que en el ambiente más fresco y seco (Sitio Montecillo) fue posible obtener al final de los 6 muestreos, un porcentaje de germinación más alto. Como parte complementaria a la conservación de semillas de papayo fue determinar el grado de tolerancia a la desecación, la cual mostró el comportamiento ortodoxo. Esto permitirá asegurar el material genético en los bancos de germoplasma y tener acceso para las futuras investigaciones.

2. RECOMENDACIONES

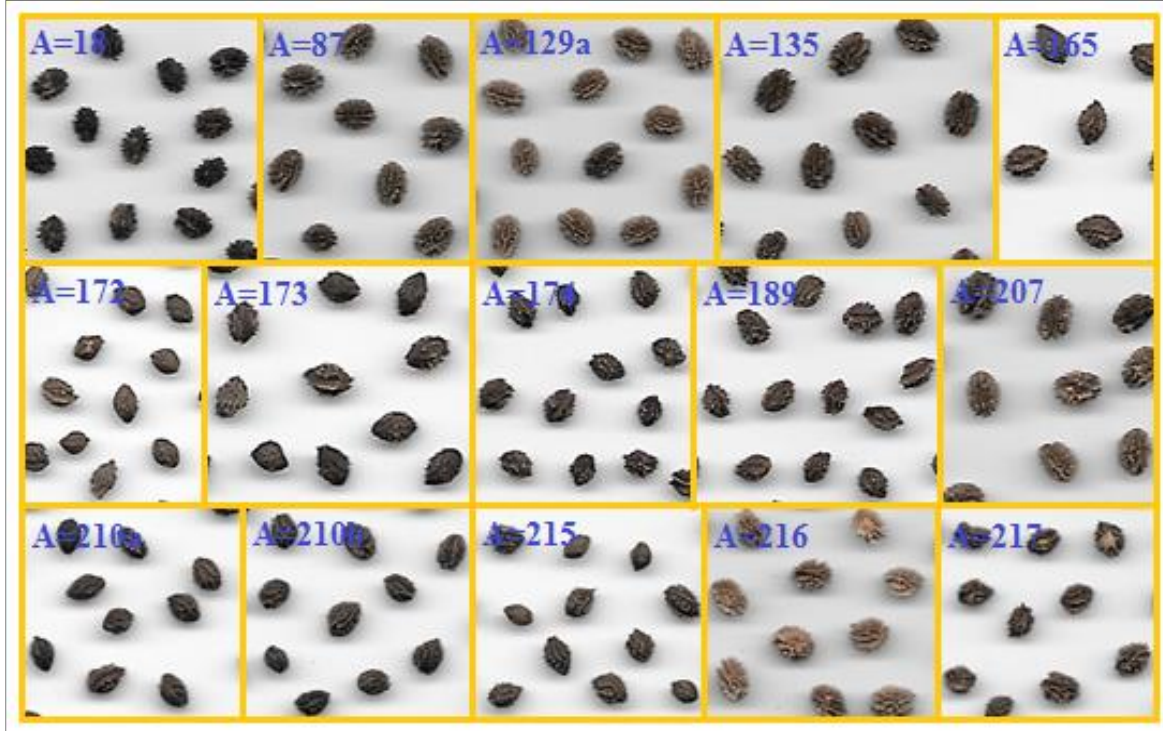
Como parte de la investigación se recomienda conservar las semillas de papayo con contenidos de humedad de 5 %, en bolsas de polietileno a temperaturas de – 20 °C, ya que son las condiciones adecuadas para mantener la viabilidad las semillas y de esta manera asegurar la conservación del germoplasma nativo.

Para la eliminación de latencia en semillas de papayo, se recomienda el tratamiento de pre-germinación a AG₃ 500 ppm, la cual permite obtener plántulas a corto tiempo y la facilidad de trasplantarlas en un sustrato adecuado que le permita obtener su máximo desarrollo fisiológico.

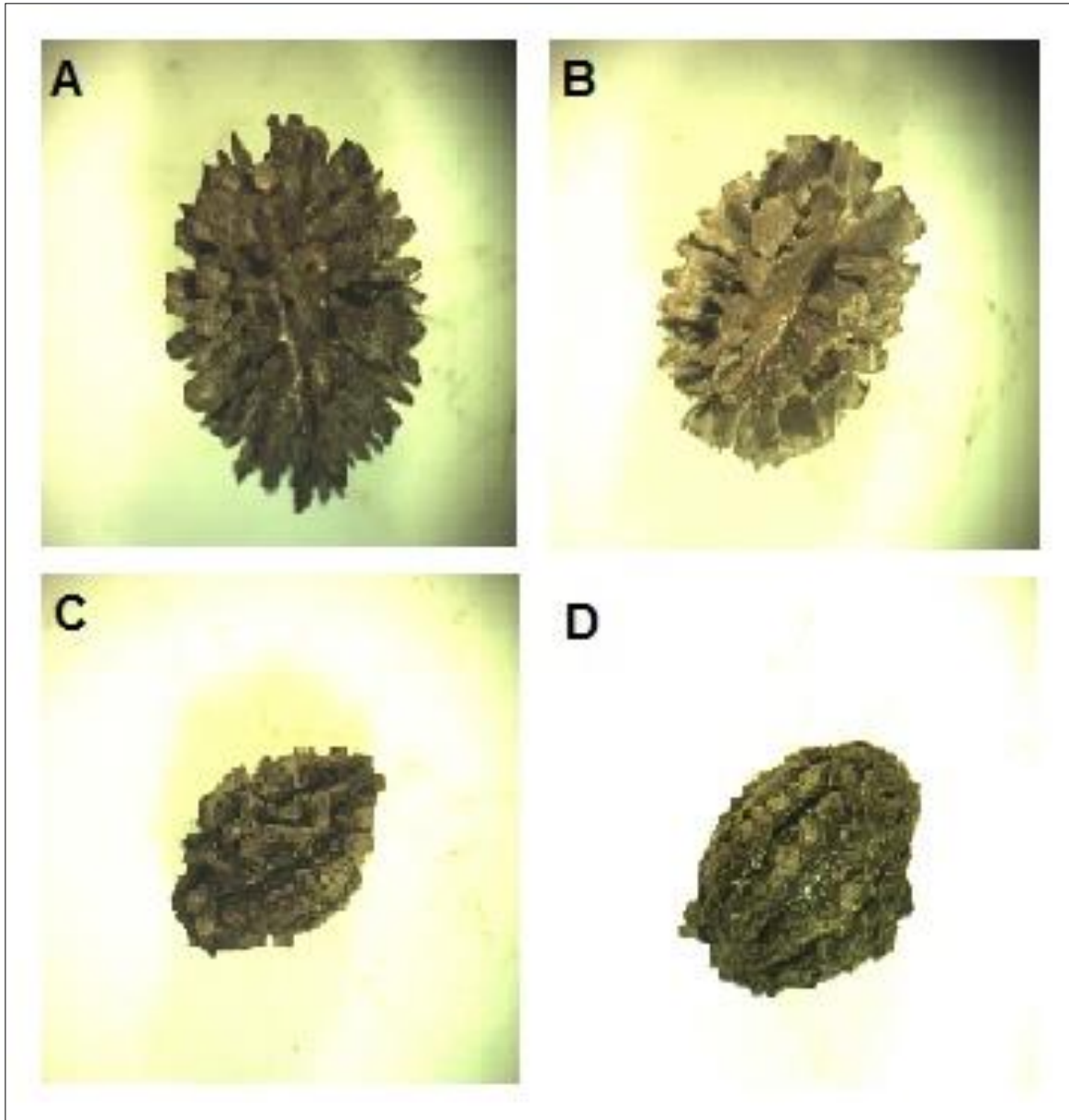
Se recomienda realizar experimentos con diferentes accesiones de semillas de papayo en diferentes estados de la república mexicana, para saber cuál de las condiciones ambientales son aceptables, con el fin de garantizar la calidad de la semilla (germinación y viabilidad) a largo plazo.

ANEXOS

Anexo A. Figuras de las accesiones de semillas de papayo estudiadas en el laboratorio de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad–Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México 2015.



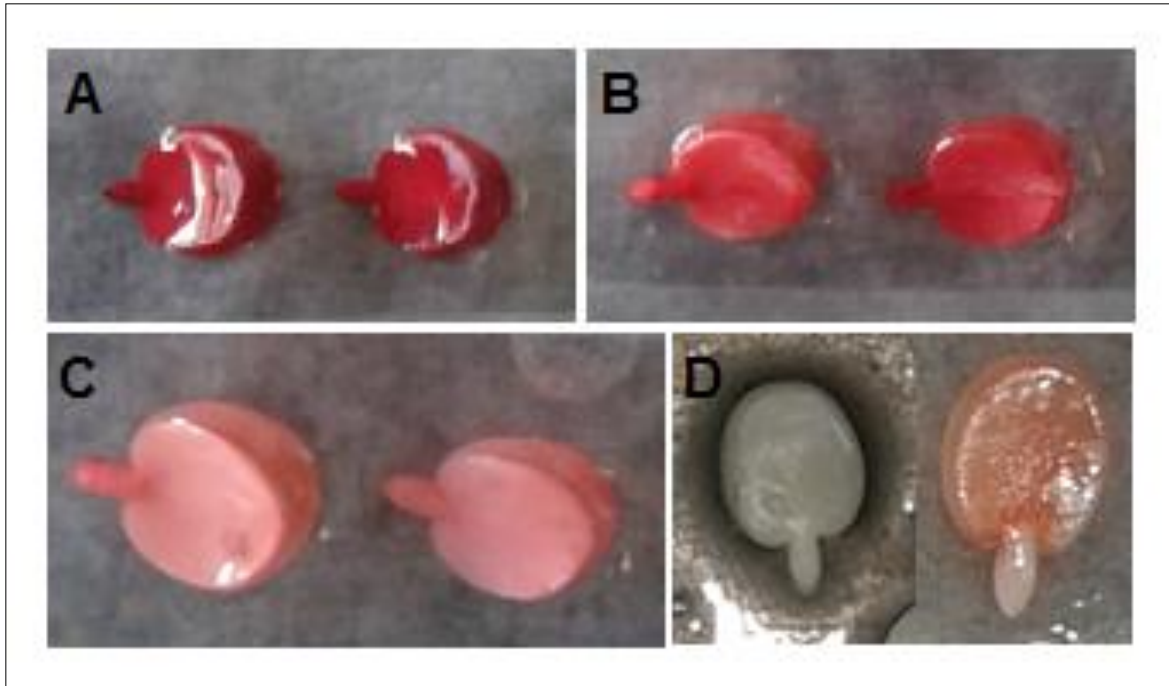
Semillas de accesiones de *C. papaya* provenientes de cinco estados de México.



Semillas de cuatro accesiones de *C. papaya* con grado de manejo: A) accesión 87 (Huerto familiar), B) accesión 129-a (Huerto familiar), C) accesión 174 (Silvestre), D) accesión 210-b (Semi-domesticada).



Determinación de contenido de humedad de las semillas de *C. papaya* con el método de estufa.



Embriones viables de *C. papaya* con tres niveles de vigor: A) embriones con vigor alto, B) embriones con vigor medio, C) embriones con vigor bajo y D) embriones no viables.



Prueba de germinación en semillas de *C. papaya* con el método “entre papel” en cámara (Seedburo Equipment Company modelo 312738-3700) bajo condiciones controladas.



Velocidad de emergencia en semillas de *C. papaya*.



Proceso de eliminación de humedad con uso de sílica gel en semillas de cuatro accesiones de *C. papaya*.