

## TOLERANCIA A LA DESECACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LA SEMILLA DE GUAYABA (*Psidium guajava*)

Jorge Ernesto Guevara-Ohara<sup>1\*</sup>, Carlos Iván Cardozo-Conde<sup>\*\*</sup>, Luis Guillermo Santos-Meléndez<sup>\*\*\*</sup>

**Palabras clave:** Calidad fisiológica; semilla; viabilidad; germinación; vigor; tolerancia a la desecación; tolerancia al almacenamiento.

**Keywords:** Physiological quality; seed; viability; germination; vigour; drying tolerance; storage tolerance.

**Recibido:** 08/08/18

**Aceptado:** 16/10/18

### RESUMEN

Se determinó la tolerancia a la desecación y al almacenamiento de la semilla de cuatro variedades de *Psidium guajava* de gran importancia económica para el banco de germoplasma de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -CORPOICA. Las evaluaciones de la tolerancia a la desecación y al almacenamiento de la semilla se realizaron en los bancos de germoplasma del Programa de Recursos Genéticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Se evaluó la dinámica de la viabilidad utilizando tetrazolio, mientras que la germinación fue estimada conforme a los criterios establecidos por Baskin 2002. El vigor fue evaluado de acuerdo con los criterios facilitados por el ISTA 2016. Las semillas de las 4 variedades de *Psidium guajava* presentaron tolerancia a la desecación. La germinación y el vigor aumentó con la disminución del contenido de humedad de la semilla, lo que indica que existen mecanismos que favorecen la liberación de la latencia durante la desecación en el almacenamiento. El ensayo de tolerancia al almacenamiento mostró que la calidad fisiológica de la semilla (viabilidad, germinación y vigor) disminuye cuando la semilla se

### ABSTRACT

**Tolerance to desiccation and storage of Guayaba (*Psidium guajava*) seed.** Tolerance to desiccation and storage of the seed of 4 varieties of *Psidium guajava* of great economic importance for the germplasm bank of the Colombian Agricultural Research Corporation was determined. Seed tolerance to desiccation and storage evaluations were carried out at germplasm banks of the Genetic Resources Program of the International Center for Tropical Agriculture (CIAT). Viability dynamics were evaluated using tetrazolium, while germination was estimated according to criteria established by Baskin 2002. Vigor was evaluated according to criteria provided by ISTA 2016. Seed of the 4 varieties of *Psidium guajava* showed tolerance to desiccation. Germination and vigour increased with the loss of moisture content, indicating that there are mechanisms which favor the release of dormancy during desiccation and storage. The storage tolerance test showed that seed physiological quality (viability, germination and vigour) decreases when the seed is stored with a moisture content of 5% at -20°C during 12 months. Temperature of 7±2°C allows to conserve

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: jeguevarao@unal.edu.co

\* Universidad Nacional de Agricultura, Honduras.  0000-0002-4209-4629.

\*\* Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Colombia.  0000-0003-3829-051X.

\*\*\* Programa de Recursos Genéticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia.  0000-0001-7093-1271.

almacena con un contenido de humedad del 5% a  $-20^{\circ}\text{C}$  durante 12 meses. La temperatura que permite conservar la calidad fisiológica de las semillas de guayaba es de  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, el contenido de humedad varía de acuerdo con el material. Las semillas de la variedad Palmira ICA I conservan su viabilidad cuando son almacenadas con un contenido de humedad del 5% (93,33%), Cimpa Pulpa Roja y Manzana conservan su viabilidad con contenidos de humedad del 7,5% (94 y 94,44%) y las semillas del material CI-0440 se conservan cuando son almacenadas con un contenido de humedad de 10% (94,66%). Estos resultados indican que existen diferencias genéticas entre los 4 materiales estudiados. Al tomar en cuenta los resultados de la tolerancia a la desecación y al almacenamiento de la semilla, se propone que la semilla de las 4 variedades presentan un comportamiento intermedio en el almacenamiento.

## INTRODUCCIÓN

La Guayaba (*Psidium guajava*) es nativa de América Central, pertenece a la familia de las Myrtaceae; en la actualidad se cultiva en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Rojas-Garbanzo *et al.* 2016). En general, los bancos de colecciones de germoplasma han sido creados para la conservación de más de 6 millones de muestras de las cuales más del 90% se conservan como semillas (Nagel *et al.* 2009). Para la conservación de la calidad fisiológica (viabilidad, germinación y vigor) de la semilla, por periodos largos de tiempo, es necesario conocer el comportamiento fisiológico (recalcitrante, intermedio u ortodoxo) de las semillas en el almacenamiento, el cual depende del contenido de humedad y la temperatura que permite conservar la viabilidad durante un determinado periodo de tiempo.

La crioconservación de embriones escindidos es una de las alternativas que permiten la conservación de la variabilidad genética de las

physiological quality of the 4 varieties. However, moisture content in which physiological quality of seed is conserved varies according to variety. Seeds of the Palmira ICA I variety retained their viability when stored at a moisture content of 5% (93.33%), Cimpa Pulpa Roja and Manzana retained their viability with moisture content of 7.5% (94 and 94.44%) and seeds of CI-0440 material are conserved when they are stored at a moisture content of 10% (94.66%). These results indicate there are genetic differences between the 4 varieties. According to the results of tolerance to desiccation and storage, it is proposed that the seed of the 4 varieties present an intermediate behavior in storage.

especies recalcitrantes. Las semillas intermedias de origen tropical pueden ser almacenadas con contenidos de humedad del 9-10% a  $10^{\circ}\text{C}$  por más de 5 y 6 años, respectivamente, sin pérdida de viabilidad. Por otro, lado las de origen templado pueden ser almacenadas con contenidos de humedad del 9-10%, pero a temperaturas más bajas 5 a  $-20^{\circ}\text{C}$  (Hong y Ellis 1996). Las semillas ortodoxas conservan su viabilidad en el almacenamiento con contenido de humedad de 5% a  $-18^{\circ}\text{C}$  (Ellis y Hong 2006).

McDonald *et al.* (1986) mencionan que una vez las semillas recolectadas y secadas puedan mantener su vida latente durante periodos variables de tiempos, dependerán de las condiciones de almacenamiento. En la mayoría de los casos se ha demostrado que a menor temperatura y menor el contenido de humedad, más largo es el periodo de longevidad de las semillas (Roberts 1972), por lo que esas condiciones de almacenamiento en los bancos de germoplasma, son ideales para favorecer la conservación de semillas.

Según la AOSA (2009), el vigor de las semillas depende de las propiedades que determinan su rápido potencial de emergencia y adaptación de las plántulas bajo un rango de condiciones de campo. Por otra parte, la pérdida del vigor está relacionada con la reducción de la habilidad de las semillas para llevar a cabo sus funciones fisiológicas que le permitan desarrollarse y convertirse en una planta normal bajo condiciones naturales. Lo anteriormente descrito tiene una relación directa con el envejecimiento fisiológico o deterioro, el cual comienza antes de la cosecha y continúa durante el almacenamiento.

El objetivo del trabajo fue determinar la tolerancia a la desecación y al almacenamiento de las semillas de guayaba bajo condiciones controladas de conservación *ex situ*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Acondicionamiento y determinaciones previas

La investigación se realizó en la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, en el laboratorio de fisiología vegetal, cuartos de conservación y laboratorio de viabilidad del programa de recursos genéticos del Centro Internacional del Agricultura Tropical (CIAT), ubicado en el municipio de Palmira, Colombia. Se estudió la tolerancia a la desecación y al almacenamiento de la semilla de 4 variedades de guayaba (Palmira ICA I, Cimpa Pulpa Roja, CI-0440A y Manzana) de gran importancia económica para el banco de germoplasma de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).

### Tolerancia a la desecación

Se determinó conforme al protocolo de Hong y Ellis (1996). Las semillas de los 4 materiales fueron extraídas de frutos y lavadas con abundante agua hasta lograr la separación total del mucílago. Después se evaluó el contenido de humedad inicial por medio del método gravimétrico, y posteriormente se ubicó en el cuarto de secado (HR 10% y 20°C) hasta obtener los contenidos de humedad de 10, 7,5 y 5%. Para complementar los resultados de la investigación se guardaron semillas con un contenido de humedad del 5% a -20°C durante 3 meses de cada una de las variedades. Durante la determinación de la tolerancia a la desecación se realizaron pruebas de viabilidad, germinación y vigor lo que permitió observar el comportamiento de la semilla a medida que perdía humedad durante el almacenamiento a bajas temperaturas.

### Tolerancia al almacenamiento

Para determinar la tolerancia al almacenamiento se realizó un ensayo factorial. Se guardaron semillas que contenían 10; 7,5 y 5% de contenido de humedad, a  $7\pm 2^\circ\text{C}$  y  $-20^\circ\text{C}$  de los 4 materiales durante 12 meses. Se realizaron mediciones periódicas de la viabilidad, germinación y vigor cada 4 meses. Los contenidos de humedad se obtuvieron mediante la exposición de las semillas en un cuarto de secado (T: 20°C y HR: 10%) durante 4 días. Los factores evaluados en la tolerancia al almacenamiento se ilustran en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Factores evaluados en la determinación de la tolerancia al almacenamiento de la semilla.

Factor	Descriptor	Niveles	Descripción
1	Variedades	4	(Palmira ICA I, Cimpa Pulpa Roja, CI-0440A y Manzana)
2	Contenido de humedad	3	10, 7,5 y 5%
3	Temperatura de almacenamiento	2	7±2°C y -20°C
4	Tiempo de almacenamiento	3	4, 8 y 12 meses

### Valoraciones de la tolerancia a la desecación y al almacenamiento

La tolerancia a la desecación y al almacenamiento fueron determinadas mediante la dinámica de la viabilidad, germinación y vigor. La viabilidad fue evaluada a través de la exposición de las semillas en una solución de Tetrazolio al 1% durante 3 horas en condiciones controladas de temperatura (40°C). La germinación se realizó por medio de la referencia al porcentaje plántulas normales según ISTA (2016), obtenidas al final de la prueba de germinación, realizada en condiciones controladas de fotoperiodo (8/16) y temperatura (35/20°C) durante 30 días. El vigor fue determinado al tomar como referencia el porcentaje de plantas normales (PN) a los 20 días de la prueba de germinación.

### Diseño experimental

La tolerancia a la desecación fue determinada mediante un diseño completamente al azar con 3 repeticiones de 150 semillas por tratamiento. La tolerancia al almacenamiento se determinó por medio de un diseño completamente al azar con arreglo factorial (4x3x2x3) con 3 repeticiones de 150 semillas por tratamiento.

### Análisis estadístico

Para determinar la resistencia a la desecación y almacenamiento de la semilla, se realizó un análisis de varianza por medio de la prueba de DUNCAN con un nivel de 5% para determinar diferencias entre tratamientos y medias de tratamientos. Los resultados fueron analizados en el

programa estadístico SAS (Statistical Analysis System 9.4).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Tolerancia a la desecación

La viabilidad de la semilla de las 4 variedades de guayaba no presentó sensibilidad a la desecación y al almacenamiento con un contenido de humedad de 5% durante 3 meses de conservación a -20°C. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir en relación con la tolerancia a la desecación y al almacenamiento, que las semillas de las 4 variedades presentaron un comportamiento probablemente ortodoxo, de acuerdo con los criterios de clasificación establecidos por (Hong y Ellis 1996).

Este probable comportamiento ortodoxo de las semillas puede estar asociado a características físicas intracelulares que confieren la tolerancia a la desecación, incluyendo la disposición de proteínas insolubles dentro de las vacuolas, que proporcionan resistencia mecánica contra el colapso celular de las semillas (Berjak y Pammenter 2013).

Las semillas ortodoxas se secan generalmente a bajos contenidos de humedad y se almacenan a bajas temperaturas (-20°C) (Walters 2015). Algunos mecanismos relacionados con la tolerancia a la desecación son la acumulación de contenidos de reserva durante el desarrollo embrionario que causan cambios estructurales en

la composición celular, las cuales proporcionan protección durante la desecación y el almacenamiento (Farrant *et al.* 1997). Los contenidos de reserva reemplazan los contenidos de agua, como consecuencia la capacidad metabólica de las células disminuye, por la poca disponibilidad de fluido de agua en las células. Sin embargo, la disponibilidad de las moléculas de agua, que participan en las reacciones metabólicas, permanece relativamente constante (Farrant y Walters 1998, Pérez *et al.* 2012).

Existen también algunos compuestos como prolina, glutamato, glicina-betaina, manitol, sorbitol, fructanos, trehalosa y sacarosa que evitan algunas interacciones moleculares y que también afectan la viabilidad de las semillas durante la desecación y almacenamiento (Hoekstra *et al.* 2001). De igual forma, la acumulación de sacarosa y trehalosa sirven como estabilizadores de membranas durante el proceso de desecación y almacenamiento (Crowe *et al.* 1998). Los disacáridos, oligosacáridos, el ABA, y algunas proteínas específicas como las LEA y las de choque térmico juegan, un papel importante en la tolerancia a la desecación en semillas (Hoekstra *et al.* 2001).

Los niveles iniciales de la germinación de las semillas en plantas normales de las 4 variedades, indican niveles variables de latencia. En términos generales las 4 variedades presentaron latencia al inicio y disminuyeron con el contenido de humedad, excepto la variedad Manzana y la CI-0440A, que mostraron latencias más profundas que en Cimpa pulpa roja y Palmira ICA-I.

La latencia resultó ser mayor en semillas con el contenido de humedad inicial (semillas recién extraídas del fruto) en cada una de las variedades, lo que probablemente está asociado a altos contenidos de ABA en la etapa final de la maduración que evita la viviparia en semillas ortodoxas. La variedad CI-0440A mostró el porcentaje de germinación más bajo (o en su defecto el mayor grado de latencia). Después de 3 meses de conservación a -20°C, los niveles de latencia fueron para CI-0440A 48,28%; Manzana 19,78%; Palmira ICA I 3,78% y Cimpa pulpa roja 0,9%. Fiona y Stephen (2016) mencionan que la latencia presente en las semillas, durante la cosecha, puede perderse durante el secado y el almacenamiento. Sin embargo, Baradwaj *et al.* (2016) mencionan que el almacenamiento en seco es eficiente para la liberación de latencia fisiológica no profunda en semillas.

La dinámica de la germinación durante la desecación y el almacenamiento de las semillas a -20°C durante 3 meses (Cuadro 2), indican que existen mecanismos que favorecen la liberación de la latencia durante el secado y el almacenamiento. Estos resultados no coinciden con lo reportado por Cruz y Ciceró (2008), Pukacka y Czubak (2014), Tompsett y Pritchard (1998), Uzzo *et al.* (2013) donde mencionan que la germinación disminuye a medida las semillas pierden humedad. De igual forma, Roberts y Christensen (1972), Hong y Ellis (1996) señalan que la disminución de la germinación durante el secado y almacenamiento varía de acuerdo con la especie.

Cuadro 2. Dinámica de la viabilidad, germinación y vigor en la fase de tolerancia a la desecación.

Variedad	Variables	Humedad de la Semilla (%)			3 meses de almacenamiento a -20°C con 5% de contenido de humedad
		Inicial	10-12	5	
Palmira ICA I	Viabilidad (%)	98 <sup>a</sup>	98 <sup>a</sup>	95,33 <sup>a</sup>	95,33 <sup>a</sup>
	Germinación (%)	21,77 <sup>b</sup>	24,22 <sup>b</sup>	87,77 <sup>a</sup>	91,55 <sup>a</sup>
	Vigor (%)	2,66 <sup>c</sup>	3,33 <sup>c</sup>	19,33 <sup>b</sup>	53,99 <sup>a</sup>
Cimpa Pulpa Roja	Viabilidad (%)	98 <sup>a</sup>	98 <sup>a</sup>	95,33 <sup>a</sup>	94,66 <sup>a</sup>
	Germinación (%)	18,21 <sup>c</sup>	43,1 <sup>b</sup>	93,77 <sup>a</sup>	93,77 <sup>a</sup>
	Vigor (%)	3,33 <sup>c</sup>	3,77 <sup>c</sup>	42,44 <sup>b</sup>	49,99 <sup>a</sup>
Manzana	Viabilidad (%)	97,33 <sup>a</sup>	96,66 <sup>a</sup>	95,33 <sup>a</sup>	94,66 <sup>a</sup>
	Germinación (%)	7,99 <sup>c</sup>	23,77 <sup>b</sup>	79,1 <sup>a</sup>	74,88 <sup>a</sup>
	Vigor (%)	1,77 <sup>c</sup>	3,10 <sup>bc</sup>	8,22 <sup>ab</sup>	11,1 <sup>a</sup>
CI-0440 <sup>a</sup>	Viabilidad (%)	95,33 <sup>a</sup>	95,33 <sup>a</sup>	94 <sup>a</sup>	94 <sup>a</sup>
	Germinación (%)	18 <sup>c</sup>	24,22 <sup>c</sup>	33,99 <sup>b</sup>	45,77 <sup>a</sup>
	Vigor (%)	1,77 <sup>d</sup>	4,22 <sup>c</sup>	7,99 <sup>b</sup>	15,77 <sup>a</sup>

\*Promedios con la misma letra en la misma fila no difieren significativamente al nivel de  $p < 0,05$ .

El vigor de las semillas de las 4 variedades de *Psidium guajava*, presentó un aumento a medida que las semillas perdieron humedad y después del almacenamiento con un contenido de humedad del 5% a -20°C durante 3 meses, por lo que se encontraron estadísticamente significativas entre los tratamientos.

El aumento del vigor de las semillas durante el secado y el almacenamiento varió entre materiales, lo que indica que existen diferencias genéticas entre las variedades estudiadas. Las semillas de la variedad Palmira ICA I y Cimpa Pulpa Roja presentaron valores superiores con respecto a la variable vigor a medida que las semillas perdían humedad y después del almacenamiento con un contenido de humedad del 5% a -20°C durante 3 meses. Las variedades

Manzana y CI-0440A mostraron valores inferiores con respecto a esta variable, a medida que las semillas perdían humedad y después del almacenamiento con un contenido de humedad del 5% a -20°C durante 3 meses (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con lo reportado por Sharma y Sharma (2016), donde encontraron un aumento del vigor de las semillas de *Rheum australe* después del almacenamiento. Por otra parte, Martínez Maldonado (2012) encontró un aumento del vigor en las semillas de *Annona squamosa* después del almacenamiento. Es importante destacar que el probable comportamiento ortodoxo, mostrado en esta etapa, fue confirmado con un estudio de tolerancia al almacenamiento.

**Tolerancia al almacenamiento****Viabilidad**

La semilla de la variedad Palmira ICA I almacenada con un contenido de humedad del 10%, a  $7\pm 2^\circ\text{C}$  y  $-20^\circ\text{C}$  de conservación presentó una disminución significativa en la viabilidad

a los 12 meses de almacenamiento (Cuadro 3), mientras que las semillas conservadas con un contenido de humedad del 7,5% en estas condiciones de temperatura, fueron viables en el tiempo. La semilla almacenada con un contenido de humedad del 5% presentó una disminución significativa en la viabilidad durante los 12 meses de conservación cuando la semilla se almacenó a  $-20^\circ\text{C}$ .

Cuadro 3. Comportamiento de la viabilidad de la semilla de los 4 materiales en condiciones controladas de almacenamiento.

Tiempo (Meses)	Contenido de Humedad (%)	Temperatura de Almacenamiento (%)	Viabilidad			
			Palmira ICA I	Cimpa Pulpa Roja	Manzana	CI-0440
0	10	$7\pm 2^\circ\text{C}$	97,55 <sup>a</sup>	98 <sup>a</sup>	96,66 <sup>a</sup>	96 <sup>a</sup>
4	10	$7\pm 2^\circ\text{C}$	96 <sup>ab</sup>	96 <sup>abc</sup>	96 <sup>ab</sup>	95,33 <sup>ab</sup>
8	10	$7\pm 2^\circ\text{C}$	95,33 <sup>abc</sup>	94 <sup>bcd</sup>	94,66 <sup>abce</sup>	95,33 <sup>ab</sup>
12	10	$7\pm 2^\circ\text{C}$	92 <sup>cde</sup>	92 <sup>de</sup>	94 <sup>a</sup>	94,66 <sup>ab</sup>
0	7,5	$7\pm 2^\circ\text{C}$	96 <sup>ab</sup>	97,33 <sup>ab</sup>	96 <sup>ab</sup>	94,66 <sup>ab</sup>
4	7,5	$7\pm 2^\circ\text{C}$	96 <sup>ab</sup>	96 <sup>abc</sup>	96 <sup>ab</sup>	94,66 <sup>ab</sup>
8	7,5	$7\pm 2^\circ\text{C}$	96 <sup>ab</sup>	95,33 <sup>abcd</sup>	95,33 <sup>abc</sup>	94 <sup>ab</sup>
12	7,5	$7\pm 2^\circ\text{C}$	93,33 <sup>bcde</sup>	94 <sup>bcd</sup>	94,66 <sup>abcd</sup>	93,33 <sup>ab</sup>
0	5	$7\pm 2^\circ\text{C}$	96 <sup>ab</sup>	96,66 <sup>ab</sup>	95,33 <sup>abc</sup>	94,66 <sup>ab</sup>
4	5	$7\pm 2^\circ\text{C}$	94,66 <sup>abcd</sup>	94,66 <sup>abcd</sup>	94,66 <sup>abcd</sup>	94,66 <sup>ab</sup>
8	5	$7\pm 2^\circ\text{C}$	93,33 <sup>bcde</sup>	94,66 <sup>abcd</sup>	94 <sup>abcde</sup>	94,66 <sup>ab</sup>
12	5	$7\pm 2^\circ\text{C}$	93,33 <sup>bcde</sup>	92,66 <sup>cde</sup>	94 <sup>abcde</sup>	93,33 <sup>ab</sup>
0	10	$-20^\circ\text{C}$	97,55 <sup>a</sup>	98 <sup>a</sup>	96,66 <sup>a</sup>	96 <sup>a</sup>
4	10	$-20^\circ\text{C}$	94 <sup>abcd</sup>	92,66 <sup>cde</sup>	92,66 <sup>cdef</sup>	94 <sup>ab</sup>
8	10	$-20^\circ\text{C}$	92,66 <sup>bcde</sup>	92 <sup>de</sup>	92 <sup>def</sup>	94 <sup>ab</sup>
12	10	$-20^\circ\text{C}$	90 <sup>e</sup>	89,33 <sup>e</sup>	90,66 <sup>f</sup>	92 <sup>ab</sup>
0	7,5	$-20^\circ\text{C}$	96 <sup>ab</sup>	97,33 <sup>ab</sup>	96 <sup>ab</sup>	94,66 <sup>ab</sup>
4	7,5	$-20^\circ\text{C}$	96 <sup>ab</sup>	96,66 <sup>ab</sup>	96 <sup>ab</sup>	94,66 <sup>ab</sup>
8	7,5	$-20^\circ\text{C}$	95,33 <sup>abc</sup>	94,66 <sup>abcd</sup>	95,33 <sup>abc</sup>	93,33 <sup>ab</sup>
12	7,5	$-20^\circ\text{C}$	95,33 <sup>bcde</sup>	94,66 <sup>abcd</sup>	92,66 <sup>cdef</sup>	92,66 <sup>ab</sup>
0	5	$-20^\circ\text{C}$	96 <sup>ab</sup>	96,66 <sup>ab</sup>	95,33 <sup>abc</sup>	94,66 <sup>ab</sup>
4	5	$-20^\circ\text{C}$	94,66 <sup>abcd</sup>	94,66 <sup>abcd</sup>	94,66 <sup>abcd</sup>	94 <sup>ab</sup>
8	5	$-20^\circ\text{C}$	94,66 <sup>abcd</sup>	94 <sup>abcd</sup>	93,33 <sup>bcdef</sup>	93,33 <sup>ab</sup>
12	5	$-20^\circ\text{C}$	91,33 <sup>de</sup>	89,33 <sup>e</sup>	91,33 <sup>ef</sup>	92,66 <sup>ab</sup>

\*Promedios con la misma letra en la misma columna no difieren significativamente al nivel de  $p < 0,05$ .

La semilla de la variedad Cimpa Pulpa Roja reservada con un contenido de humedad del 10%, 5% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$ , presentó una disminución significativa en la viabilidad a los 12 meses de conservación, este mismo comportamiento se observó en semillas resguardadas a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, las de contenido de humedad del 7,5% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $-20^{\circ}\text{C}$ , no presentaron diferencias significativas en la viabilidad durante los 12 meses de almacenamiento (Cuadro 3).

La semilla de la variedad Manzana almacenada, con un contenido de humedad del 10, 7,5 y 5%, a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$ , conservaron la viabilidad sin diferencias significativas durante los 12 meses. Las protegidas a  $-20^{\circ}\text{C}$  con los 3 contenidos de humedad presentaron una disminución significativa en la viabilidad durante los 12 meses de conservación (Cuadro 3).

La semilla de la variedad CI-0440 almacenada con un contenido de humedad del 10% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  conservó la viabilidad durante los 12 meses de almacenamiento. Sin embargo, la semilla con

este mismo contenido de humedad almacenada a  $-20^{\circ}\text{C}$  presentó una disminución significativa en la viabilidad a los 12 meses de conservación. Las custodiadas con contenidos de humedad del 7,5 y 5% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $-20^{\circ}\text{C}$  no presentaron una disminución significativa en la viabilidad (Cuadro 3).

#### ***Germinación durante el almacenamiento***

La semilla de la variedad Palmira ICA I con un contenido de humedad del 10 y 5% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  presentó un aumento significativo en la germinación a los 4 meses de conservación y la semilla con un contenido de humedad del 7,5% en las 2 condiciones de temperatura mostró una disminución significativa en la germinación durante los 12 meses. La semilla de esta misma variedad con un contenido de humedad del 5% a  $-20^{\circ}\text{C}$ , durante 12 meses de conservación, exhibió un aumento significativo en la germinación a partir de los 4 meses y se mantuvo hasta los 8 meses de conservación con una disminución significativa a los 12 meses de almacenamiento (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comportamiento de la germinación de la semilla de los 4 materiales en condiciones controladas de almacenamiento.

Tiempo (Meses)	Contenido de Humedad (%)	Temperatura de Almacenamiento (%)	Germinación			
			Palmira ICA I	Cimpa Pulpa Roja	Manzana	CI-0440
0	10	7±2°C	25,11 <sup>h</sup>	40,44 <sup>h</sup>	23,99 <sup>hi</sup>	20,66 <sup>f</sup>
4	10	7±2°C	50,66 <sup>ef</sup>	94,22 <sup>a</sup>	34,44 <sup>g</sup>	92,44 <sup>a</sup>
8	10	7±2°C	53,55 <sup>e</sup>	91,55 <sup>abc</sup>	45,99 <sup>f</sup>	92,88 <sup>a</sup>
12	10	7±2°C	53,33 <sup>e</sup>	90,66 <sup>abcd</sup>	63,1 <sup>d</sup>	95,55 <sup>a</sup>
0	7,5	7±2°C	69,11 <sup>c</sup>	85,1 <sup>de</sup>	27,11 <sup>h</sup>	33,55 <sup>e</sup>
4	7,5	7±2°C	54,66 <sup>e</sup>	87,77 <sup>bcde</sup>	77,3 <sup>c</sup>	63,33 <sup>c</sup>
8	7,5	7±2°C	57,99 <sup>de</sup>	88,44 <sup>abcde</sup>	93,33 <sup>a</sup>	50,44 <sup>d</sup>
12	7,5	7±2°C	53,55 <sup>e</sup>	90,44 <sup>abcd</sup>	93,11 <sup>c</sup>	50,44 <sup>d</sup>
0	5	7±2°C	81,99 <sup>b</sup>	92,88 <sup>ab</sup>	71,33 <sup>c</sup>	35,11 <sup>e</sup>
4	5	7±2°C	94,66 <sup>a</sup>	92,88 <sup>ab</sup>	84,44 <sup>b</sup>	91,99 <sup>a</sup>
8	5	7±2°C	91,99 <sup>a</sup>	91,1 <sup>abcd</sup>	74,22 <sup>c</sup>	92,44 <sup>a</sup>
12	5	7±2°C	93,33 <sup>a</sup>	85,77 <sup>fg</sup>	77,11 <sup>c</sup>	92,88 <sup>a</sup>
0	10	-20°C	25,11 <sup>h</sup>	40,44 <sup>h</sup>	23,99 <sup>hi</sup>	20,66 <sup>f</sup>
4	10	-20°C	31,55 <sup>h</sup>	84,88 <sup>de</sup>	23,33 <sup>hi</sup>	90 <sup>a</sup>
8	10	-20°C	54,21 <sup>e</sup>	83,77 <sup>e</sup>	19,55 <sup>i</sup>	91,77 <sup>a</sup>
12	10	-20°C	43,1 <sup>fg</sup>	55,77 <sup>g</sup>	8,44 <sup>j</sup>	68,44 <sup>c</sup>
0	7,5	-20°C	69,11 <sup>c</sup>	85,1 <sup>de</sup>	27,11 <sup>h</sup>	35,11 <sup>e</sup>
4	7,5	-20°C	62,33 <sup>de</sup>	92 <sup>abc</sup>	87,77 <sup>ab</sup>	75,1 <sup>b</sup>
8	7,5	-20°C	59,1 <sup>de</sup>	89,55 <sup>abcde</sup>	88,88 <sup>ab</sup>	47,55 <sup>d</sup>
12	7,5	-20°C	41,99 <sup>g</sup>	85,99 <sup>cde</sup>	53,55 <sup>e</sup>	39,11 <sup>e</sup>
0	5	-20°C	81,99 <sup>b</sup>	92,88 <sup>ab</sup>	71,33 <sup>c</sup>	35,11 <sup>e</sup>
4	5	-20°C	94,66 <sup>a</sup>	93,11 <sup>ab</sup>	89,77 <sup>ab</sup>	93,55 <sup>a</sup>
8	5	-20°C	92,44 <sup>a</sup>	89,99 <sup>abcd</sup>	84,22 <sup>b</sup>	91,24 <sup>a</sup>
12	5	-20°C	66 <sup>dc</sup>	64,22 <sup>f</sup>	55,33 <sup>e</sup>	89,77 <sup>a</sup>

\* Promedios con la misma letra en la misma columna no difieren significativamente al nivel de  $p < 0,05$ .

La semilla de la variedad Cimpa Pulpa Roja, con un contenido de humedad del 10, 7,5 y 5% a 7±2°C, presentó significativamente valores superiores en la germinación en comparación con las semillas con un contenido de humedad del 10 y 5% a -20°C durante 12 meses de conservación.

Semilla de la variedad Manzana, con un contenido de humedad del 10 y 7,5% a 7±2°C, presentó un aumento en la germinación durante

los 12 meses de conservación. Mientras que las semillas con un contenido de humedad del 5% en estas condiciones de temperatura, conservaron la germinación durante los 12 meses de almacenamiento. Por otra parte, las semillas con un contenido de humedad del 7,5 y 5% a -20°C presentaron un aumento significativo en la germinación a los 4 meses de conservación, por lo que se produjo una disminución significativa a los 12

meses. Asimismo, la semilla con un contenido de humedad del 10% a  $-20^{\circ}\text{C}$  presentó el mayor porcentaje de pérdida de germinación durante el periodo de conservación.

La semilla de la variedad CI-0440 con un contenido de humedad el 10 y 5% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  presentó un aumento en la germinación a los 4 meses de conservación, la cual se mantuvo constante durante los 12 meses analizados. La semilla con un contenido de humedad de 7,5% en estas condiciones de temperatura presentó un aumento significativo en la germinación a los 4 meses de conservación, por lo que se mostró una disminución significativa a los 12 meses. La semilla que presentó un contenido de humedad de 10; 7,5 y 5% a  $-20^{\circ}\text{C}$  mostró un aumento significativo en la germinación a los 4 meses de conservación. La semilla con un contenido de humedad del 10 y 7,5% en estas condiciones de temperatura

indicó una disminución en la germinación a los 12 meses de conservación (Cuadro 4).

#### ***Vigor durante el almacenamiento***

El vigor de la semilla de la variedad Palmira ICA I almacenada a  $-20^{\circ}\text{C}$  con un contenido de humedad del 10, 7,5 y 5% durante 12 meses, presentó valores inferiores en comparación con las semillas que fueron almacenadas con los mismos contenidos de humedad a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 12 meses de conservación (Cuadro 5). La semilla de la variedad Cimpa Pulpa Roja con un contenido de humedad del 10, 7,5 y 5% a  $-20^{\circ}\text{C}$  durante 12 meses mostró el mayor porcentaje de disminución del vigor durante el periodo (Cuadro 5). Las semillas con un contenido de humedad del 10, 7,5 y 5% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  mostraron el mejor comportamiento del vigor durante los 12 meses de conservación.

Cuadro 5. Comportamiento del vigor de la semilla de los 4 materiales en condiciones controladas de almacenamiento.

Tiempo (Meses)	Contenido de Humedad (%)	Temperatura de Almacenamiento (°C)	Vigor			
			Palmira ICA I	Cimpa Pulpa Roja	Manzana	CI-0440
0	10	7±2°C	3,11 <sup>b</sup>	3,11 <sup>j</sup>	4 <sup>hijk</sup>	3,55 <sup>ghi</sup>
4	10	7±2°C	15,11 <sup>defg</sup>	37,55 <sup>fg</sup>	13,55 <sup>fg</sup>	46,44 <sup>cd</sup>
8	10	7±2°C	18,88 <sup>def</sup>	45,1 <sup>def</sup>	9,99 <sup>sh</sup>	67,1 <sup>b</sup>
12	10	7±2°C	23,55 <sup>d</sup>	53,55 <sup>cd</sup>	8,66 <sup>ghi</sup>	75,99 <sup>b</sup>
0	7,5	7±2°C	5,99 <sup>gh</sup>	36,88 <sup>fg</sup>	6 <sup>hijk</sup>	4,66 <sup>ghi</sup>
4	7,5	7±2°C	23,1 <sup>de</sup>	44,22 <sup>ef</sup>	18,21 <sup>def</sup>	9,77 <sup>fg</sup>
8	7,5	7±2°C	23,32 <sup>de</sup>	40,66 <sup>efg</sup>	43,33 <sup>a</sup>	15,77 <sup>ef</sup>
12	7,5	7±2°C	19,55 <sup>def</sup>	47,99 <sup>df</sup>	32,88 <sup>b</sup>	0,66 <sup>i</sup>
0	5	7±2°C	14,44 <sup>defg</sup>	41,1 <sup>ef</sup>	9,77 <sup>gh</sup>	8,88 <sup>fgh</sup>
4	5	7±2°C	62,88 <sup>a</sup>	66,66 <sup>ab</sup>	34,22 <sup>b</sup>	46,44 <sup>cd</sup>
8	5	7±2°C	64,44 <sup>a</sup>	65,1 <sup>cde</sup>	19,77 <sup>de</sup>	63,33 <sup>b</sup>
12	5	7±2°C	47,77 <sup>b</sup>	37,55 <sup>fg</sup>	18,66 <sup>def</sup>	68,66 <sup>b</sup>
0	10	-20°C	3,11 <sup>h</sup>	3,11 <sup>j</sup>	4 <sup>hijk</sup>	3,55 <sup>ghi</sup>
4	10	-20°C	13,99 <sup>defg</sup>	37,33 <sup>fg</sup>	3,1 <sup>jk</sup>	41,77 <sup>d</sup>
8	10	-20°C	9,33 <sup>fgh</sup>	31,33 <sup>gh</sup>	1,77 <sup>k</sup>	21,55 <sup>c</sup>
12	10	-20°C	3,77 <sup>h</sup>	15,32 <sup>i</sup>	0,88 <sup>k</sup>	1,33 <sup>hi</sup>
0	7,5	-20°C	5,99 <sup>gh</sup>	36,88 <sup>fg</sup>	6 <sup>hijk</sup>	8,88 <sup>ghi</sup>
4	7,5	-20°C	23,1 <sup>de</sup>	72,44 <sup>a</sup>	21,77 <sup>cd</sup>	21,99 <sup>e</sup>
8	7,5	-20°C	12,88 <sup>efgh</sup>	42,44 <sup>ef</sup>	15,99 <sup>ef</sup>	9,33 <sup>fgh</sup>
12	7,5	-20°C	6,22 <sup>gh</sup>	26,44 <sup>h</sup>	8,44 <sup>ghi</sup>	0,44 <sup>i</sup>
0	5	-20°C	14,44 <sup>defg</sup>	41,1 <sup>ef</sup>	9,77 <sup>gh</sup>	8,88 <sup>fgh</sup>
4	5	-20°C	36,63 <sup>c</sup>	71,77 <sup>a</sup>	21,55 <sup>cd</sup>	50,21 <sup>c</sup>
8	5	-20°C	16,88 <sup>def</sup>	58 <sup>bc</sup>	25,33 <sup>c</sup>	64,88 <sup>b</sup>
12	5	-20°C	5,77 <sup>gh</sup>	6,22 <sup>j</sup>	7,3 <sup>hij</sup>	41,1 <sup>d</sup>

\* Promedios con la misma letra en la misma columna no difieren significativamente al nivel de  $p < 0,05$ .

La semilla de la variedad Manzana, con un contenido de humedad del 10, 7,5 y 5% a -20°C, presentó los más bajos porcentajes de vigor durante los 12 meses de conservación. La semilla con un contenido de humedad del 10% a 7±2°C durante 12 meses, presentó un aumento significativo en el vigor a los 4 meses (Cuadro 5), lo cual produjo una disminución a los 8 meses y se mantuvo constante

hasta los 12 meses. Así pues, se presentó este mismo comportamiento cuando la semilla se almacenó con un contenido de humedad del 5% en la misma condición de temperatura. La semilla con un contenido de humedad del 7,5% a 7±2°C durante 12 meses mostró un aumento significativo en el vigor a los 4 y 8 meses (Cuadro 5). Sin embargo, el vigor disminuyó a los 12 meses.

Las semillas de la variedad CI-0440 con un contenido de humedad de 10 y 5% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  presentaron un aumento en el vigor durante los 12 meses de conservación. Por otro lado, la semilla con un contenido de humedad del 7,5%, en esta temperatura, presentó una disminución a los 12 meses de conservación (Cuadro 5). La semilla con un contenido de humedad del 10, 7,5 y 5% a  $-20^{\circ}\text{C}$  presentó un aumento en el vigor a los 4 meses de almacenamiento, lo cual produjo una disminución a los 12 meses de conservación.

En resumen, la semilla de la variedad Palmira ICA I con un contenido de humedad del 5% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  conservó su calidad fisiológica (viabilidad, germinación y vigor) durante los 12 meses de conservación. Por lo tanto, se propone que la semilla de guayaba de la variedad Palmira ICA I presenta un comportamiento fisiológico intermedio en el almacenamiento. La semilla de la variedad Cimpa Pulpa Roja, con un contenido de humedad del 10% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$ , conservó su calidad fisiológica (viabilidad, germinación y vigor). Por lo tanto, se presume que las semillas de guayaba de la variedad Cimpa Pulpa Roja presentan un comportamiento fisiológico intermedio en el almacenamiento.

La semilla de la variedad Manzana almacenada con un contenido de humedad del 7,5% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  conservó su calidad fisiológica (viabilidad, germinación y vigor). Por lo tanto, se propone que las semillas de guayaba de la variedad Manzana presentan un comportamiento fisiológico intermedio en el almacenamiento. La semilla de la variedad CI-0440, con un contenido de humedad del 10% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$ , conservó su calidad fisiológica (viabilidad, germinación y vigor). Por lo tanto, el resultado sugiere que las semillas de guayaba de la variedad CI-0440A, presentan un comportamiento fisiológico intermedio en el almacenamiento.

Las semillas de las 4 variedades presentaron niveles variables de latencia con respecto a su contenido de humedad en las 2 condiciones de almacenamiento. Sin embargo, la temperatura favoreció la liberación de la latencia en las semillas de las 4 variedades. De igual forma,

algunas de las condiciones de almacenamiento evaluadas indujeron nuevamente la latencia después de un determinado periodo de tiempo de conservación. Estos resultados coinciden con lo reportado por Crawford *et al.* (2007), Perez *et al.* (2009) González-Benito *et al.* (2011) donde mencionan que la latencia de las semillas puede ser liberada o inducida durante el almacenamiento. Hay y Timple (2016) afirman que cualquier tipo de latencia que se presenta en las semillas al momento de la cosecha puede perderse durante el secado. Los resultados obtenidos con la semilla de las 4 variedades de guayaba no coinciden con los encontrados por (2013) en estudios similares con semillas de *Carica papaya*.

La latencia en la semilla de *Psidium guajava* pudo ser liberada durante el secado de las semillas y después de un periodo determinado de tiempo de almacenamiento. Por otro lado, las temperaturas que favorecieron la liberación de la latencia, durante el periodo de conservación, fueron relacionadas con el contenido de humedad con el que la semilla es almacenada y el genotipo (interacción genotipo\*temperatura\* contenido de humedad). En este sentido, Baradwaj *et al.* (2016) mencionan que el almacenamiento en seco favorece la liberación de la latencia fisiológica no profunda presente en semillas de algunas especies. De igual forma, Zhou *et al.* (2015) exponen, que en seco por 6 meses seguido de una estratificación fría, favorece la liberación de latencia fisiológica intermedia en semillas.

Las semillas de las 4 variedades de guayaba toleran la deshidratación hasta bajos contenidos de humedad, lo cual está, probablemente relacionado con la presencia de algunos compuestos que evitan interacciones moleculares adversas durante la desecación; prolina, glutamato, glicina, manitol, sorbitol, fructanos, trehalosa y sacarosa (Hoekstra *et al.* 2001); sin embargo, el almacenamiento a bajas temperaturas ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) durante los 12 meses de conservación afectó de manera negativa la conservación de la calidad fisiológica (viabilidad, germinación y vigor) de las semillas de las 4 variedades de *Psidium guajava*. Por

otra parte, las condiciones a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  conservaron la calidad fisiológica de las semillas de las 4 variedades de guayaba. Hong y Ellis (1996) mencionan que los contenidos de humedad crítico de las semillas intermedias por debajo de los cuales ocurre la pérdida de la viabilidad, durante el almacenamiento hermético, varía considerablemente con la especie, grado de madurez y/o manejo después de la recolección. En general, las semillas extraídas de los frutos al momento de la madurez toleraron la deshidratación hasta 7-10%, una característica más de las semillas intermedias de origen tropical. Por otro lado, la longevidad de las semillas intermedias almacenadas con un contenido de humedad del 7 a 10% se reduce cuando se almacenan a temperaturas inferiores de  $10^{\circ}\text{C}$ .

Las semillas de las 4 variedades de guayaba presentan un comportamiento intermedio en el almacenamiento, sin embargo, el contenido de humedad con el cual las semillas conservan su calidad fisiológica (viabilidad, germinación y vigor) cambia de acuerdo con la variedad. Este comportamiento está relacionado probablemente con el origen de cada una de las variedades estudiadas. Algunos estudios mencionan que las condiciones edafoclimáticas afectan de manera negativa algunos procesos fisiológicos de algunos genotipos de este cultivo, lo cual se puede relacionar con la deficiente acumulación de algunos metabolitos secundarios, los cuales juegan un papel muy importante en la conservación de la calidad fisiológica de la semilla.

### CONCLUSIONES

La liberación de la latencia durante el secado y el almacenamiento varía de acuerdo con la variedad, lo que indica que existen diferencias genéticas entre los materiales estudiados.

La semilla de las 4 variedades de *Psidium guajava* toleró la deshidratación hasta 5% de contenido de humedad y almacenamiento a  $-20^{\circ}\text{C}$  durante 3 meses. Sin embargo, no fue suficiente para determinar el comportamiento fisiológico de

la semilla. El estudio de conservación por un año, con 4 variedades con diferentes contenidos de humedad y bajas temperaturas, fue determinante para proponer la clasificación intermedia para las semillas de *Psidium guajava*.

El contenido de humedad con el cual las semillas de *Psidium guajava* conservan su calidad fisiológica (viabilidad, germinación y vigor) en condiciones controladas de temperatura ( $7\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) varía de acuerdo con la variedad, lo que indica que existen diferencias genéticas entre los materiales valorados.

### RECOMENDACIONES

Para la conservación de la calidad fisiológica de las semillas de guayaba se recomienda conservar las semillas de variedad Palmira ICA I con un contenido de humedad del 5% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$ , Cimpa Pulpa Roja con un contenido de humedad del 10% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$ , Manzana con un contenido de humedad del 7,5% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$  CI-0440 con un contenido de humedad del 10% a  $7\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

### LITERATURA CITADA

- AOSA. 2009. Seed vigor testing handbook. *In* Riad, B; Sabry, E; Julio, M-F; Miller B, M (eds.). NY 14850, USA, s.e. p. 349.
- Baradwaj, RG; Rao, MV; Baskin, CC; Kumar, TS. 2016. Non-deep simple morphophysiological dormancy in seeds of the rare *Alpinia galanga* : a first report for Zingiberaceae. *Seed Science Research* (March):1-6. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258516000039>
- Berjak, P; Pammenter, NW. 2013. Implications of the lack of desiccation tolerance in recalcitrant seeds. *Frontiers in plant science* 4:478. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00478>
- Crawford, AD; Steadman, KJ; Plummer, JA; Cochrane, A; Probert, RJ. 2007. Analysis of seed-bank data confirms suitability of international seed-storage standards for the Australian flora. *Australian Journal of Botany* 55(1):18. DOI: <https://doi.org/10.1071/BT06038>
- Crowe, JH; Carpenter, JF; Crowe, LM. 1998. The role of vitrification in anhydrobiosis. *Annual Review of Physiology* 60(1):73-103. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.60.1.73>

- Cruz, ED; Cicero, SM. 2008. Sensitivity of seed to desiccation in cupuassu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum. - Sterculiaceae. *Scientia Agricola* 65(5):557-560. DOI: <https://doi.org/Doi.10.1590/S0103-90162008000500017>
- Ellis, RH; Hong, TD. 2006. Temperature sensitivity of the low-moisture-content limit to negative seed longevity-moisture content relationships in hermetic storage. *Annals of Botany* 97(5):785-791. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcl035>
- Farrant, JM; Pammenter, NW; Berjak, P; Walters, C. 1997. Subcellular organization and metabolic activity during the development of seeds that attain different levels of desiccation tolerance. *Seed Science Research* 7(02):135-144. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258500003470>
- Farrant, JM; Walters, C. 1998. Ultrastructural and biophysical changes in developing embryos of *Aesculus hippocastanum* in relation to the acquisition of tolerance to drying. *Physiologia Plantarum* 104(4):513-524. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1040401.x>
- Fiona, H; Stephen, T. 2016. The longevity of desorbing and adsorbing rice seeds. *Seed Science Research* 26(4):306-316. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258516000222>
- González-Benito, ME; Pérez-García, F; Tejada, G; Gómez-Campo, C. 2011. Effect of the gaseous environment and water content on seed viability of four Brassicaceae species after 36 years storage. *Seed Science and Technology* 39(2):443-451. DOI: <https://doi.org/10.15258/sst.2011.39.2.16>
- Hay, RF; Timple, S. 2016. The longevity of desorbing and adsorbing rice seeds. *Seed Science Research* 26(4):306-316. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258516000222>
- Hoekstra, FA; Golovina, EA; Buitink, J. 2001. Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends in Plant Science* 6(9):431-438. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(01\)02052-0](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(01)02052-0)
- Hong, T; Ellis, R. 1996. Protocolo para determinar el comportamiento del almacenamiento de semillas. Roma, Italia, s.e. 85 p.
- Martínez Maldonado, FE. 2012. Caracterización morfoanatómica de semillas de anón (*Annona squamosa* L.) y evaluación de algunos parámetros fisiológicos del proceso de germinación y latencia. Bogotá, Colombia, s.e. p. 136.
- McDonald, MB; Nelson, CJ; Roos, EE. 1986. Precepts of Successful Seed Storage. *Physiology of Seed Deterioration*:1-25. DOI: <https://doi.org/10.2135/cssaspecpub11.c1>
- Nagel, M; Vogel, H; Landjeva, S; Buck-Sorlin, G; Lohwasser, U; Scholz, U; Börner, A. 2009. Seed conservation in ex situ genebanks—genetic studies on longevity in barley. *Euphytica* 170(1-2):5-14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-009-9975-7>
- Perez Garcia, F; Gomez Campo, C; Ellis, R. 2009. Successful long-term ultra dry storage of seed of 15 species of Brassicaceae in a genebank: Variation in ability to germinate over 40 years and dormancy. *Seed Science and Technology* 37(3):640-649. DOI: <https://doi.org/10.15258/sst.2009.37.3.12>
- Pérez, HE; Hill, LM; Walters, C. 2012. An analysis of embryo development in palm: interactions between dry matter accumulation and water relations in *Pritchardia remota* (Arecaceae). *Seed Science Research* 22(02):97-111. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258511000523>
- Pukacka, S; Czubak, A. 2014. The effect of desiccation on viability and membrane lipid composition of *Acer pseudoplatanus* seeds. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 67(3-4):249-252. DOI: <https://doi.org/10.5586/asbp.1998.031>
- Roberts, EH. 1972. Storage Environment and the Control of Viability. s.l., s.e. p. 14-58 DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-009-5685-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-009-5685-8_2)
- Roberts, EH; Christensen, CM. 1972. Viability of seeds. s.l., s.e. 448 p.
- Rojas-Garbanzo, C; Zimmermann, BF; Schulze-Kaysers, N; Schieber, A. 2016. Characterization of phenolic and other polar compounds in peel and flesh of pink guava (*Psidium guajava* L. cv. 'Criolla') by ultra-high performance liquid chromatography with diode array and mass spectrometric detection. *Food Research International*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.004>
- Sharma, RK; Sharma, S. 2016. Seed longevity, germination and seedling vigour of *Rheum australe* D. Don: A step towards conservation and cultivation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*: 6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.10.004>
- Tompsett, PB; Pritchard, HW. 1998. The Effect of Chilling and Moisture Status on the Germination, Desiccation Tolerance and Longevity of *Aesculus hippocastanum* L. *Seed. Annals of Botany* 82(2):249-261. DOI: <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0676>
- Uzzo, RP; Modolo, VA; Matthes, LAF; Carvalho, AC. 2013. Desiccation effects on germination and vigor of hyophorbe palm. *Acta Horticulturae* 1003:227-232. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362003000100019>
- Walters, C. 2015. Orthodoxy, recalcitrance and in-between: describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. *Planta* 242(2):397-406. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2312-6>
- Zhou, YM; Lu, JJ; Tan, DY; Baskin, CC; Baskin, JM. 2015. Seed germination ecology of the cold desert

annual isatis violascens (brassicaceae): Two levels of physiological dormancy and role of the pericarp. PLoS ONE 10(10):1-16. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140983>

Zulhisyam A, KAK; Zakaria, NA; Shazani, S; Jamaludin, MH Bin. 2013. Effect of storage temperature and seed moisture contents on papaya (*Carica papaya* L.) seed viability and germination. Journal of Sustainability Science and Management 8(1):87-92.



Todos los derechos reservados. Universidad de Costa Rica. Este artículo se encuentra licenciado con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a [rac.cia@ucr.ac.cr](mailto:rac.cia@ucr.ac.cr)

