









Fitomejoramiento

Artículos de investigación científica y tecnológica

Efecto de ácido salicílico, ácido β aminobutírico, periodos de calentamiento e imbibición sobre la germinación de la semilla de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Ecuador

Effect of Salicylic Acid, β -Aminobutyric Acid, heating and imbibition on the germination of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seeds in Ecuador

 Silvia Madelein Zambrano-Marcillo^{1*}  Dígner Santiago Ortega Cedillo¹  Mercedes Elizabeth Navarrete-Párraga¹
 Martha Alicia Romero-Pizarro¹  Elisa Quijala-Mendoza²  Walter Ramón Zambrano-Sabando¹  Víctor
Javier Cevallos-Sandoval¹  Caridad Antonio Torres García³

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria (INIAP) Estación experimental Santo Domingo. La Concordia, Ecuador.
silvia.zambrano@iniap.gob.ec, digner.ortega@iniap.gob.ec, mercedes.navarrete@iniap.gob.ec, alicia.romero@iniap.gob.ec,
Walter.zambrano@iniap.gob.ec, victor.cevallos@iniap.gob.ec

² Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria (INIAP). Estación Experimental Litoral Sur. Yaguachi, Ecuador.
elisa.quiala@iniap.gob.ec

³ Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. catorres@utm.edu.ec

*Autor de correspondencia: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria INIAP. Km. 38 vía Santo Domingo-Quinindé, Cantón La Concordia, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. La Concordia, Ecuador
silvia.zambrano@iniap.gob.ec

Recibido: 20 de mayo de 2020
Aprobado: 29 de marzo de 2022
Publicado: 15 de junio de 2022

Editor temático: Rafael Reyes Cuesta, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]

Para citar este artículo: Zambrano-Marcillo, S. M., Ortega Cedillo, D. S., Navarrete-Párraga, M. E., Romero-Pizarro, M. A., Quijala-Mendoza, E., Zambrano-Sabando, W. R., Cevallos-Sandoval, V. J., & Torres-García, C. A. (2022). Efecto de ácido salicílico, ácido β aminobutírico, periodos de calentamiento e imbibición sobre la germinación de la semilla de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2), e2001.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2001

Resumen: La producción comercial de semillas germinadas de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq) tarda 150 días, dando lugar al desarrollo de infecciones causadas por patógenos. Con el objetivo de disminuir el tiempo de producción de semillas germinadas de palma aceitera africana y preservar su estado fitosanitario, se evaluaron cuatro factores: i) tres niveles de imbibición antes de ingresar a calentamiento, ii) dos periodos de calentamiento, iii) dos niveles de imbibición antes de ingresar a cuartos de germinación y iv) dos inductores: ácido salicílico (AS) y ácido β aminobutírico (BABA) en dosis de 1 mM y 2,5 mM, respectivamente; como resultado se obtuvo un total de 24 tratamientos más un testigo. Se evaluaron 30 semillas por tratamiento y por repetición procedentes de un mismo racimo tipo Dura, con cero días de almacenamiento. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial +1, asistido por la prueba de Tukey al 5 %. Los resultados mostraron que las semillas que estuvieron durante la primera imbibición 6 días en agua y 2 días en BABA o en AS, más 20 días de calentamiento, presentaron en 82 días el mayor porcentaje de germinación óptima (34,44 % y 23,89 %, respectivamente), y el tratamiento que estuvo durante la primera imbibición 6 días en agua y 2 días en BABA, más 20 días de calentamiento, logró el mayor porcentaje de germinación óptima (40 %). El testigo presentó mayor incidencia de enfermedades (79 %) con respecto a los factores (16 %). Los hallazgos del estudio podrían usarse para disminuir el tiempo de germinación de semillas y los daños provocados por patógenos.

Palabras clave: alternancia de temperatura, capacidad germinativa, dormancia de semillas, estimulantes químicos de crecimiento vegetal, germinabilidad de las semillas, hidratación de las semillas.

Abstract: The commercial production of germinated of African oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) seeds, it takes 150 days, giving place to the development of infections caused by pathogens. With the aim of reducing the production time of germinated seeds of African oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and preserve their phytosanitary status, four factors were evaluated: three levels of imbibition before taking the seeds to heating, two periods of heating, two levels of imbibition before entering the germination rooms, and two inductors: Salicylic Acid (SA) and β -aminobutyric Acid (BABA) in doses of 1 mM and 2.5 mM respectively. This results in a total of 24 treatments in addition of the control. A total of 30 seeds were evaluated per treatment and per repetition from the same Dura type bunch, with zero days of storage. A completely random design with factorial arrangement +1 was used, assisted by Tukey's test at 5 %. The results showed that the seeds that stayed during the first imbibition for 6 days in water, 2 days in GABA or in AS before entering heating, and with 20 days of heating, presented in 82 days the highest percentage of optimal germination (34.44 % and 23.89 %, respectively). and the treatment that was during the first imbibition 6 days in water and 2 days in GABA, and 20 days of heating, achieved the highest percentage of optimal germination (40 %). The control showed higher incidence of diseases (79 %) with respect to the other factors (16 %). Study findings could be used to decrease seed germination time and damage caused by pathogens.

Keywords: alternating temperature, chemical plant growth stimulants, germinative capacity, seed dormancy, seed germinability, seminal hydration



Introducción

A nivel mundial, existen dos especies de palma aceitera de gran importancia económica para la agroindustria: *Elaeis guineensis* Jacq. y *Elaeis oleifera* (HBK) Cortés. La primera especie es originaria del centro y occidente de África, mientras que la segunda, del norte de Sudamérica y Centroamérica; sin embargo, la mayoría de las plantaciones comerciales en el mundo están sembradas con material africano *E. guineensis* (Rey et al., 2004). Malasia e Indonesia son los mayores productores de palma aceitera y aportan entre el 80 % y el 86 % de la producción mundial del aceite crudo de palma (Mesa, 2018).

La industria de palma aceitera se desarrolló gracias a la utilización del híbrido Ténera de palma africana como principal material de siembra, proveniente del cruzamiento de los tipos Dura y Pisifera (Rajanaidu, 2017). En 1936 se inició una distribución de material genético desde el jardín botánico de Lacentilla, Honduras, para los países de América Tropical (Richardson, 1995). Los programas de mejoramiento Malaysian Palm Board (MPOB), el Instituto Francés IRHO/CIRAD y la empresa ASD Costa Rica, así como Indonesia, Colombia y Ecuador han realizado significativas colectas de germoplasma de palma africana y palma americana para la selección de nuevas variedades (Rajanaidu, 2017).

La semilla de palma aceitera es la nuez que queda después de la extracción del mesocarpio aceitoso y suave del fruto, y está conformada por cuesco o endocarpio y por una, dos o tres almendras (Hartley, 1983). Ellis et al. (1991) clasificaron las semillas de *E. guineensis* como categoría intermedia entre recalcitrante y ortodoxa, después de observar que, al almacenar las semillas de esta especie a temperaturas entre 0 °C y -20 °C, disminuyó su viabilidad, pero con un bajo contenido de humedad conservaron su viabilidad.

Después de madurar en el interior del fruto, las semillas generalmente entran en latencia, la misma que se rompe cuando se exponen las semillas a periodos prolongados de calor, humedad, oxígeno, escarificación, entre otros (Taiz & Zeiger, 2007). En África Occidental, la semilla de palma aceitera en condiciones naturales germina esporádicamente en varios años. Sin embargo, bajo un tratamiento térmico continuo con temperaturas entre 38 °C y 40 °C, la germinación tiene lugar en pocos meses (Hussey, 1958). Existen dos técnicas utilizadas comercialmente para la germinación de semillas de palma aceitera (*E. guineensis*): el método de calor seco y el de calor húmedo, siendo el primero el más usado a nivel comercial (Corley & Tinker, 2016). El calentamiento es el tratamiento común para debilitar el opérculo y permitir el inicio de la germinación (Kelanaputra et al., 2018). Con el método de calor seco, las semillas se exponen a dos imbibiciones y a un calentamiento a temperaturas entre 37 °C y 39 °C por 50 días (Mok, 1966, citado por Corley & Tinker, 2016). El método de calor seco tiene como ventaja que el contenido de humedad no es tan crítico como en el método de calor húmedo, ya que con una humedad relativa del 14-21 % se puede lograr una germinación superior al 85 % (Rees, 1962, citado por Corley & Tinker, 2016).

La función del ácido salicílico (AS) en la germinación de las semillas es controversial, ya que a veces induce la germinación y otras veces la inhibe, dependiendo de la dosis, la especie y el cultivar utilizado (Rodríguez-Larramendi et al., 2017). En maíz el AS estimula la germinación con dosis de 0,5-1,5 mM y la impide con dosis de 3-5 mM (Guan & Scandalios, 1995). Por otro

lado, Fontana et al. (2017) informaron que, en semillas de *Cichorium endivia* L. (Asteraceae), el AS en concentraciones de 0,15-0,2 mM inhibe totalmente la germinación, mientras que con dosis menores el porcentaje de germinación es inferior al testigo. En semillas de *Dracocephalum moldavica* L. (Lamiaceae), una concentración de AS de 2 mM aumentó la germinación en condiciones de salinidad (Shaikh-Abol-Hasani, & Roshandel, 2019). Deenamo et al. (2018) observaron una reducción del 41 % de afección por *Phytophthora palmivora* al realizar una aplicación exógena de AS en el follaje de plantas de caucho *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. (Euphorbiaceae). Dzib et al. (2021) concluyeron que la imbibición por 24 h de las semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Solanaceae) en AS, utilizando dosis de 1 mM, 0,1 mM y 0,001 mM, no inhibe la germinación, favoreciendo las dosis más elevadas al crecimiento radicular en las plantas. Según Castillo.Méndez (2019), el AS estimula la germinación en *Annona Muricata* L. y ayuda a obtener plántulas más vigorosas.

El efecto protector en las plantas al estrés biótico y abiótico del aminoácido no proteico, ácido β -aminobutírico (BABA), se debe a la potenciación de mecanismos de defensa natural (Jakab et al., 2001). Al tratar las semillas de arroz *Oryza sativa* L. (Poaceae) con BABA, se observó en las plantas una reducción del estrés a la sequía y salinidad, lo que mejoró la actividad mitocondrial y fotosintética (Jisha & Puthur, 2016b). En otro estudio, estos mismos autores tuvieron resultados similares cuando trataron las semillas de *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek (Fabaceae) con BABA (Jisha & Puthur, 2016a). Por otro lado, en *Solanum betaceum* Cav. (Solanaceae), el BABA redujo la lesión ocasionada por *Phytophthora infestans* (Castaño et al., 2015). Según Gur et al. (2021), el BABA induce resistencia contra *Alternaria alternata* f. sp. mali en frutos de manzana (*Malus domestica* Borkh).

La revisión de literatura científica demuestra la necesidad de evaluar la influencia de inductores de resistencia en la germinación de semillas de palma africana, con el propósito de encontrar alternativas que lleven a reducir el tiempo de germinación de semillas de palma aceitera africana y contrarrestar el daño ocasionado por patógenos durante el proceso de germinación.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Santo Domingo (EESD) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, ubicada en las coordenadas X: -0,26608 y Y: -79,3802. Se utilizaron cuartos climatizados con temperatura y humedad relativa controlada para los tratamientos térmicos y la germinación. Los cuartos de calentamiento se programaron con una temperatura mínima de 38 °C y máxima de 40 °C, con una humedad relativa entre 35 % y 45 %. Los cuartos de germinación se programaron con temperatura entre 26 °C y 28 °C, y humedad relativa entre 45 % a 65 %. Se utilizaron semillas de tipo Dura, porque el grosor del cuesco de las semillas resultantes del cruzamiento Dura \times Pisifera (Ténera) es similar al del parental femenino. El despulpado del fruto se realizó mecánicamente con un bingo despulpador; luego, las semillas fueron colocadas en zarandas bajo sombra a temperatura ambiente hasta alcanzar 15 % de humedad. Se seleccionaron 30 semillas al azar por repetición y por cada tratamiento. Las semillas

utilizadas tuvieron cero días de almacenamiento y no se utilizó fungicida para su preservación. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial + 1, combinando cuatro factores: i) imbibición 1 (0, 2 y 6 días en agua + 2 días en inductor), ii) calentamiento (20 y 40 días), iii) imbibición 2 (0 y 2 días en agua + 2 días en inductor), y iv) inductores como AS y BABA en dosis de 1 mM y 2,5 mM, respectivamente. Esta combinación dio un total de 24 tratamientos más el testigo, que permaneció ocho y cuatro días en agua destilada durante la primera y segunda imbibición, respectivamente, y 80 días en calentamiento (tabla 1). Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5 %.

Tabla 1. Descripción de tratamientos mediante diferentes periodos de imbibición, calentamiento e inductores sobre la germinación de la semilla de palma aceitera *E. guineensis* Jacq.

Tratamientos	Imbibición 1	Calentamiento	Imbibición 2	Inductor
1	6 días agua + 2 días inductor	20 días	2 días en agua + 2 días en inductor	AS
2	6 días agua + 2 días inductor	40 días	2 días en agua + 2 días en inductor	AS
3	2 días agua + 2 días inductor	20 días	2 días en agua + 2 días en inductor	AS
4	2 días agua + 2 días inductor	40 días	2 días en agua + 2 días en inductor	AS
5	0 días en agua + 2 días en inductor	20 días	2 días en agua + 2 días en inductor	AS
6	0 días en agua + 2 días en inductor	40 días	2 días en agua + 2 días en inductor	AS
7	6 días agua + 2 días inductor	20 días	0 días en agua + 2 días en inductor	AS
8	6 días agua + 2 días inductor	40 días	0 días en agua + 2 días en inductor	AS
9	2 días agua + 2 días inductor	20 días	0 días en agua + 2 días en inductor	AS
10	2 días agua + 2 días inductor	40 días	0 días en agua + 2 días en inductor	AS
11	0 días en agua + 2 días en inductor	20 días	0 días en agua + 2 días en inductor	AS
12	0 días en agua + 2 días en inductor	40 días	0 días en agua + 2 días en inductor	AS
13	6 días agua + 2 días inductor	20 días	2 días en agua + 2 días en inductor	BABA
14	6 días agua + 2 días inductor	40 días	2 días en agua + 2 días en inductor	BABA
15	2 días agua + 2 días inductor	20 días	2 días en agua + 2 días en inductor	BABA
16	2 días agua + 2 días inductor	40 días	2 días en agua + 2 días en inductor	BABA
17	0 días en agua + 2 días en inductor	20 días	2 días en agua + 2 días en inductor	BABA
18	0 días en agua + 2 días en inductor	40 días	2 días en agua + 2 días en inductor	BABA
19	6 días agua + 2 días inductor	20 días	0 días en agua + 2 días en inductor	BABA
20	6 días agua + 2 días inductor	40 días	0 días en agua + 2 días en inductor	BABA

21	2 días agua + 2 días inductor	20 días	0 días en agua + 2 días en inductor	BABA
22	2 días agua + 2 días inductor	40 días	0 días en agua + 2 días en inductor	BABA
23	0 días en agua + 2 días en inductor	20 días	0 días en agua + 2 días en inductor	BABA
24	0 días en agua + 2 días en inductor	40 días	0 días en agua + 2 días en inductor	BABA
25 (Testigo)	8 días en agua	80 días	4 días en agua	

Fuente: Elaboración propia

Durante la primera imbibición, las semillas permanecieron cero, dos y seis días en agua destilada, para luego entrar dos días en solución de 1 mM de AS o 2,5 mM de BABA, de acuerdo con lo estipulado en la descripción de los tratamientos (tabla 1). Las semillas fueron secadas por 24 h a temperatura ambiente y, posteriormente, entraron a cuarto caliente por 20 y 40 días, respectivamente. Una vez extraídas las semillas del cuarto caliente, fueron llevadas a una segunda imbibición por cero y dos días en agua destilada, y dos días más en inductor, en dosis de 1 mM de AS y 2,5 mM de BABA. Las semillas entraron a un segundo secamiento por seis horas, para luego ingresar a cuartos de germinación. Con respecto al testigo, se utilizó la metodología aplicada por el INIAP para la producción de semillas de palma *E. guineensis* Jacq.

Después de 15 días de que las semillas entraron en cuarto de germinación, se evaluó cada semana el número de semillas germinadas, observando en la semilla el llamado punto blanco o inicio de germinación. Transcurrido 30 días de permanencia de las semillas en el cuarto de germinación, durante cuatro semanas consecutivas se identificaron las semillas germinadas con estándar óptimo, es decir, aquellas semillas cuyo embrión se desarrolló lo suficiente para identificar con facilidad la plúmula (longitud igual o superior a los 5 mm) y la radícula (longitud igual o superior a 10 mm), medición que se llevó a cabo con un calibrador y, al final del experimento, se contabilizaron las semillas germinadas de manera atípica o deforme en cada uno de los tratamientos.

En esta investigación se realizó un análisis estadístico de tipo descriptivo, haciendo uso del *software* Infostat para realizar el análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés), análisis de media de todos los niveles de los factores y de sus interacciones, de interés para los investigadores, convirtiéndolo en un modelo con efecto fijo y con igual número de observaciones. Para la comparación de medias, se utilizó la prueba de Tukey al 5 %. Además, se calcularon valores mínimos, máximos y desviación estándar en cada una de las variables, lo que sirvió para determinar el error estándar de las medias.

Resultados y discusión

Germinación de semillas

En el análisis estadístico para porcentaje de germinación de semillas, se encontró diferencia significativa entre los tratamientos y para el factor imbibición 1 (tabla 2).

Tabla 2. Valores significativos del ANOVA para germinación de semillas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Total	323,77	74			
Tratamientos	204,99	24	8,54	3,6	0,0001**
Imbibición 1	152,96	2	76,48	32,13	0,000000001**
Error	118,78	50	2,38		

**Altamente significativo

Fuente: Elaboración propia

Al realizar las comparaciones de medias para imbibición 1, resultó que las semillas sometidas a ocho y seis días a remojo en esta fase fueron estadísticamente iguales entre sí y diferentes de aquellas que solo estuvieron dos días en remojo; la primera alcanzó 26,81 % de semillas germinadas y la última 3,89 % (figura 1). Azcón-Bieto y Talón (2008) informaron que la germinación es el proceso que se inicia con la toma de agua por la semilla seca. Por otra parte, Bewley y Black (2012) informaron que los procesos metabólicos de germinación temprana inician durante el remojo y que con el secado este proceso solo se detiene, pero no se revierte. Corrado y Wuidart (1990) recomendaron un remojo o imbibición por cinco días antes de que la semilla de *E. guineensis* Jacq. entre a calentamiento en el proceso de germinación.

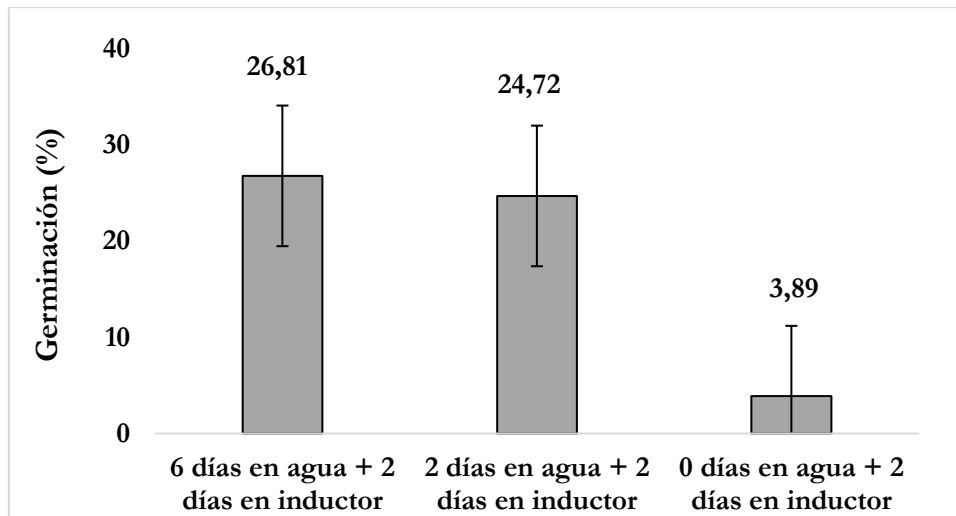


Figura 1. Comparación de medias y error estándar de porcentaje de germinación de imbibición 1 para el total de semillas germinadas

Fuente: Elaboración propia

Cuando se realizó la comparación de medias, resultó que los tratamientos 13 y 9 fueron los que tuvieron mayor porcentaje de germinación con 41 % y 39 %, respectivamente, resultando estadísticamente iguales al testigo con una germinación de 26 %. Nandeeshkumar et al. (2009) reportaron resultados similares en semillas de girasol, en donde los tratamientos con concentraciones de BABA de 10-50 mM) aumentaron la germinación y el vigor de las plántulas. Ambos tratamientos —13 y 9— tuvieron el mismo periodo de calentamiento y más de cuatro días de imbibición 1 (figura 2).

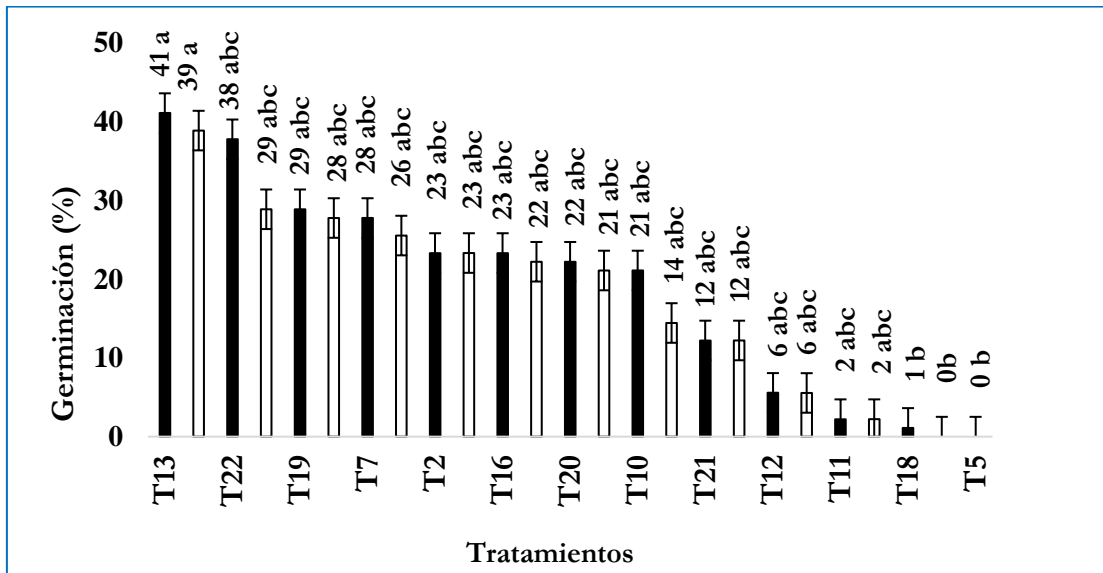


Figura 2. Comparación de medias de porcentaje de germinación y error estándar de los tratamientos para el total de semillas germinadas. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de germinación de los tratamientos y el testigo es inferior al promedio obtenido por grupo (20 racimos) en el INIAP. Sin embargo, dentro de los grupos procesados se han observado racimos con germinaciones óptimas inferiores a 50 % y superiores a 90 % (INIAP, 2018), lo que concuerda con Meerow y Broschat (1991), quienes informaron que la viabilidad de las semillas de palma puede variar entre plantas de la misma especie, incluso entre años en el mismo árbol. Las semillas utilizadas en esta investigación provienen de un racimo de polinización libre y de una planta con alta carga productiva, lo que coincide con Herrera y Alvarado (2012), quienes postulan que las semillas provenientes de plantas con alta carga productiva presentan menor porcentaje de germinación que aquellas que tienen menor carga productiva.

En la tabla 3 se indican los valores medios, mínimos, máximos y la desviación estándar (DE) de los tratamientos que presentaron diferencias estadísticas, además del testigo. Los tratamientos 9 y 13 presentaron un máximo de germinación de 47 % y un mínimo de 23 % y 33 %, respectivamente; por otra parte, los tratamientos 5, 6 y 18 no superaron el 4 % de germinación mínima y máxima, mientras que el testigo presentó un porcentaje de germinación mínimo de 20 % y máximo de 33 %.

Tabla 3. Valores medios, mínimos, máximos y desviación estándar de los tratamientos que presentaron diferencias estadísticas para germinación de semillas

Tratamientos	Media (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	Desviación estándar
9	39 a	23	47	13
13	41 a	33	47	7
18	1 b	0	3	2
Testigo	26 ab	20	33	7

Fuente: Elaboración propia

Todos los tratamientos que permanecieron seis días en agua, más dos días en inductor durante la primera imbibición, con 20 días de calentamiento utilizando AS o BABA, iniciaron su germinación 47 días después de iniciado el proceso de germinación. Asimismo, a los 54 días de iniciado el proceso de germinación, todos los tratamientos que se sometieron en la primera imbibición a cuatro y seis días en agua más dos días de inductor mostraron germinación. Los tratamientos expresaron su mayor porcentaje de germinación a los 61 días de iniciado el proceso de germinación. La culminación de la germinación en casi todos los tratamientos que estuvieron 20 días de calentamiento se dio a los 75 días después de iniciado el proceso; es decir, la germinación se dio en un tiempo máximo de cuatro semanas (figura 3), a diferencia de lo reportado por Herrera et al. (1998), en donde la germinación se extendió por seis semanas con el uso de cianamida hidrogenada.

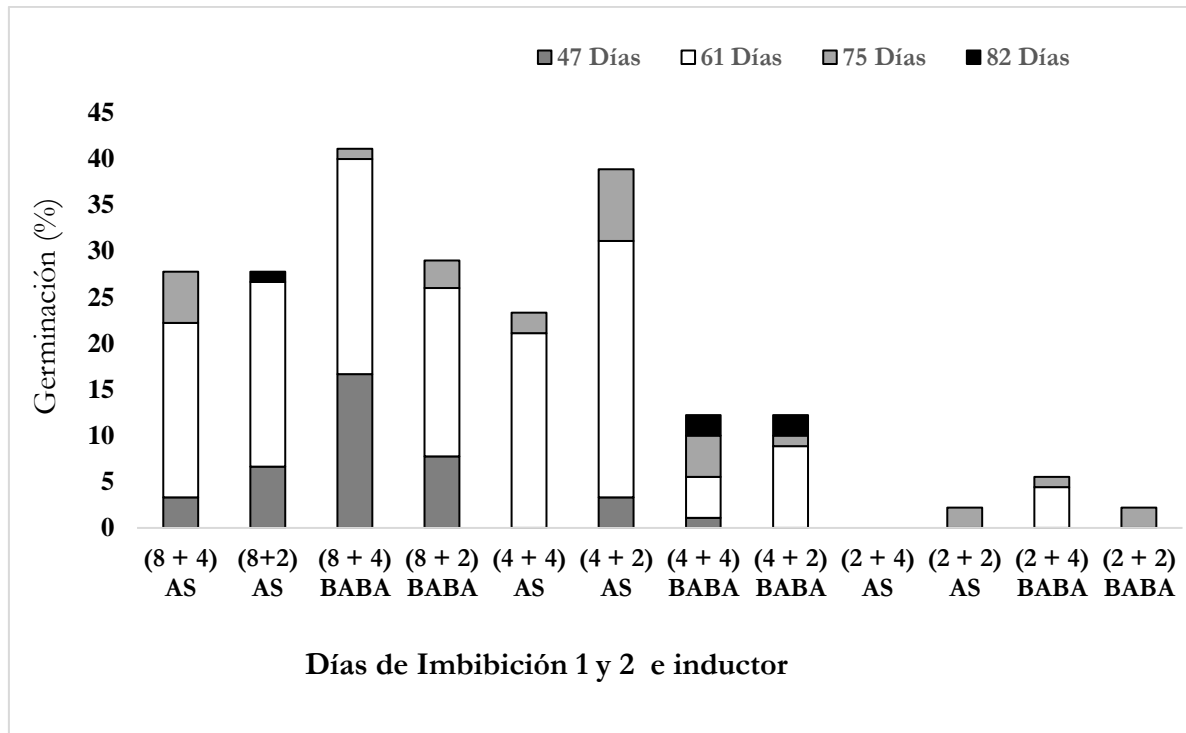


Figura 3. Germinación de semillas de palma africana en el tiempo (47, 61, 75 y 82 días después de iniciado el proceso de germinación), de acuerdo con la combinación del total de días en imbibición 1 (8, 4 y 2 días) más el total de días en imbibición 2 (4 y 2 días) con inductor (AS o BABA), con un periodo de calentamiento de 20 días

Fuente: Elaboración propia

Semillas germinadas dentro del estándar óptimo

Esta variable se definió seleccionando las semillas germinadas diferenciadas con plúmula y radícula bien desarrollada, con una longitud mínima de 0,5 cm de plúmula y de 1 cm de radícula; Kelanaputra et al. (2018) informaron que las longitudes máximas de radícula y plúmula aceptables para la venta son 2,0 cm y 1,5 cm, respectivamente. El análisis estadístico presentó valores altamente significativos para los tratamientos y valores significativos para la interacción imbibición 1 × calentamiento y para los factores vs. testigo (tabla 4).

Tabla 4. Valores significativos del ANOVA para porcentaje de semillas germinadas óptimas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Total	259,99	74			
Tratamientos	160,73	24	6,7	3,37	0,0001**
Imbibición 1 \times calentamiento	16,93	2	8,47	4,26	0,0196*
Factores vs. testigo	8,78	1	8,78	4,42	0,0405*
Error	99,26	50	1,99		

*Significativo

**Altamente significativo

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los inductores por separado en la interacción calentamiento \times imbibición 1, se observó que para los tratamientos con AS y BABA el porcentaje medio de germinación óptima en esta misma interacción fue de 23,89 % y 34,44 %, respectivamente (figura 4), coincidiendo con lo expresado por Bermúdez-Ruiz et al. (2017) quienes, al someter las semillas de *Bactris guineensis* (L.) H.E. Moore (Arecaceae) a cinco días de imbibición, determinaron que estas alcanzaron la humedad suficiente para promover la germinación. Zambrano (1991) logró germinaciones de semillas de palma *E. guineensis* Jacq. superiores al 60 %, con ocho días de imbibición antes de ingresar a calentamiento, y determinó que los periodos de calentamiento no deberían ser menores a 40 días, ni superiores a 80 días para obtener mayor porcentaje de germinación. Green et al. (2013) obtuvieron resultados diferentes a los presentados en esta investigación, concluyendo que el porcentaje de germinación máximo, dependiendo de los cultivares, se obtienen con periodos de calentamiento entre 45 y 80 días. Asimismo, Fondom et al. (2010) y Martine et al. (2009) coinciden en que 60 días de calentamiento de las semillas de palma es óptimo para la germinación.

Al realizar una prueba de comparación de medias para los tratamientos, al igual que en la variable de porcentaje de semillas germinadas, resultó que el tratamiento 13 es el que presenta mayor porcentaje de semillas germinadas diferenciadas dentro del estándar óptimo (40 %), siendo este resultado menor en comparación con el 85 % obtenido por Rees (1962, citado por Corley y Tinker, 2016) y Kelanaputra et al. (2018) en la producción comercial de semillas de palma, mediante el método de calor seco y con el uso de fungicidas para el control de patógenos; sin embargo, el tratamiento 13 es estadísticamente diferente a los tratamientos 5, 6, 11, 12, 17, 18, 20, 23 y al testigo (figura 5). Estos resultados coinciden con Nandeeshkumar et al. (2009), quienes observaron resultados similares en semillas de girasol, en donde los tratamientos con concentraciones de 10-50 mM de BABA aumentaron la germinación y el vigor de las plántulas. Por otra parte, Rajjou et al. (2006), en semillas de *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. (Brassicaceae), observaron que el AS en concentraciones inferiores a 1 mM mejora la germinación en esta especie. Soare et al. (2018) reportaron que la tasa de germinación del cultivar AS de trigo mejoró al pretratar las semillas con concentraciones de 0,75 mM del inductor.

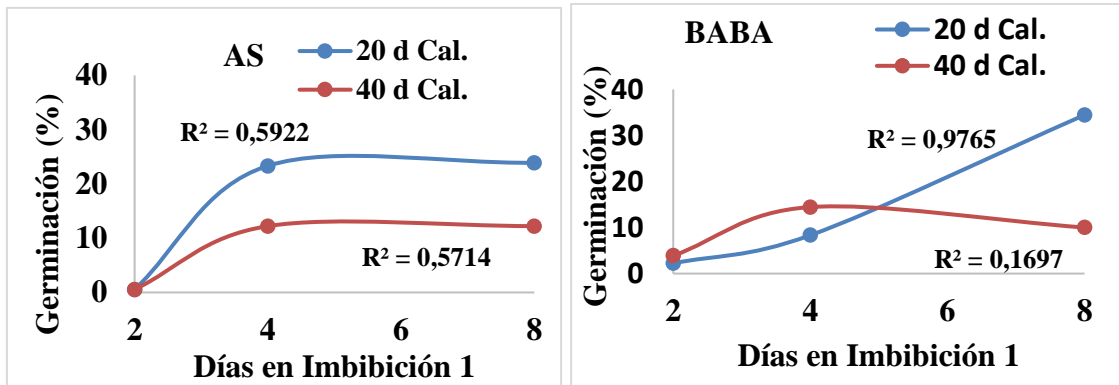


Figura 4. Efecto del AS y BABA para la combinación de imbibición 1 (0, 2 y 6 días en agua más dos días en AS o BABA) × 20 y 40 días de calentamiento en la germinación de semillas germinadas óptimas, mediante líneas de tendencias calculadas en Excel.

Fuente: Elaboración propia

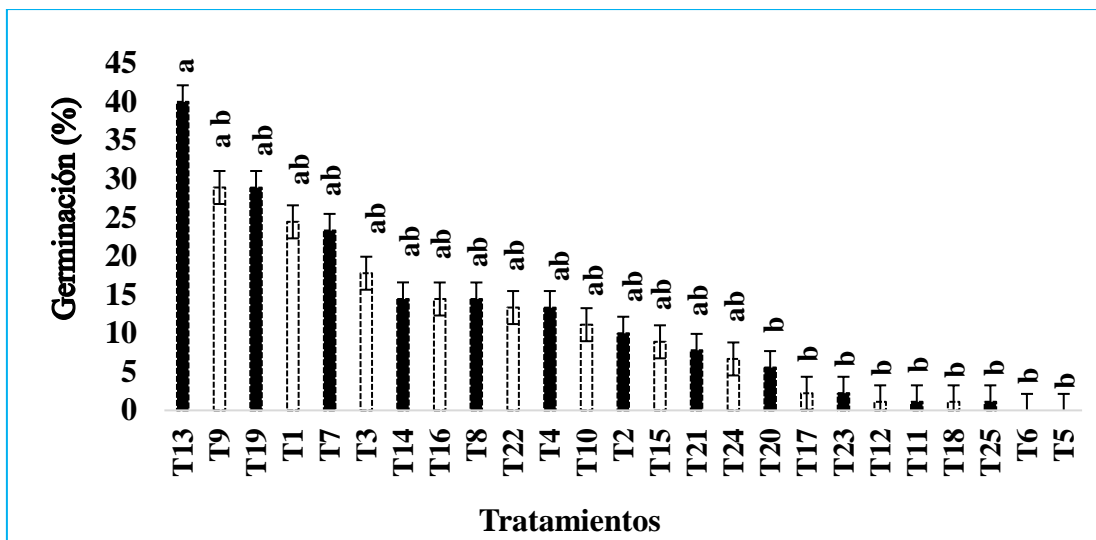


Figura 5. Comparación de medias y error estándar de los tratamientos para germinación de semillas óptimas. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se observa que el tratamiento 13 presentó valores mínimos y máximos de germinación con estándar óptimo, superiores al resto de los tratamientos con los que tuvo diferencias estadísticas, incluido el testigo, y con una media de 40 % ($\pm 5,77$).

Tabla 5. Valores de media, mínimo, máximo y desviación estándar para los tratamientos que presentaron diferencias estadísticas para germinación de semillas con estándar óptimo

TRATAMIENTOS	Media (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	Desviación estándar
13	40 a	33	43	6
3	18 b	0	40	20
4	13 b	0	20	12
20	6 b	3	10	4
17	2 b	0	3	2
23	2 b	0	3	2
11	1 b	0	3	2
18	1 b	0	3	2
Testigo	1 b	0	3	2

Fuente: Elaboración propia

La comparación de medias de los factores vs. testigo determinó que, en la variable de porcentaje de semillas germinadas óptimas, los factores superaron al testigo (figura 6). El testigo resultó tener mayor porcentaje de incidencia de enfermedades (79 %) con respecto a los factores que tuvieron una media de incidencia de 16 % (figura 7), presentando en su mayoría contaminación con hongos. Carrillo et al. (2015) informaron que la germinación de las semillas de palma de aceite se ve afectada por una enfermedad denominada germen pardo, que puede ser causada por hongos de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*, que a su vez pueden actuar solos o en asociación entre ellos. Los resultados de la investigación concuerdan con lo informado por Jakab et al. (2001), quienes indican que BABA es un aminoácido no proteico, considerado un inductor abiótico, capaz de inducir resistencia a diversos patógenos en diferentes especies vegetales, y con Gurgel et al. (2005), quienes encontraron que, con aplicaciones foliares de BABA en tomate, se controlan problemas de *Fusarium*. Entretanto, el BABA aumentó la actividad enzimática en plantas de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.), logrando que esta especie presente mayor resistencia a la mancha foliar (*Pestalotiopsis microspora*) (Yi-Lan et al., 2021). Durner et al. (1997) informaron que el ácido salicílico está involucrado tanto en las reacciones de defensa local en los sitios de infección, como en la reducción de resistencia sistémica, y que su síntesis y acumulación son importantes en la respuesta de defensa de las plantas. Farahani y Taghavi (2017) encontraron que el BABA en pimienta induce resistencia a *Xanthomonas euvesicatoria*.

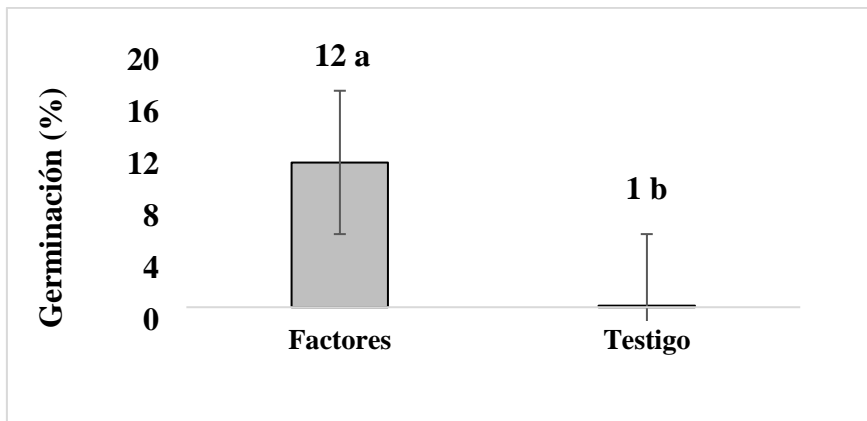


Figura 6. Comparación de medias y error estándar de porcentaje de germinación de factores vs. testigo para semillas germinadas óptimas. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

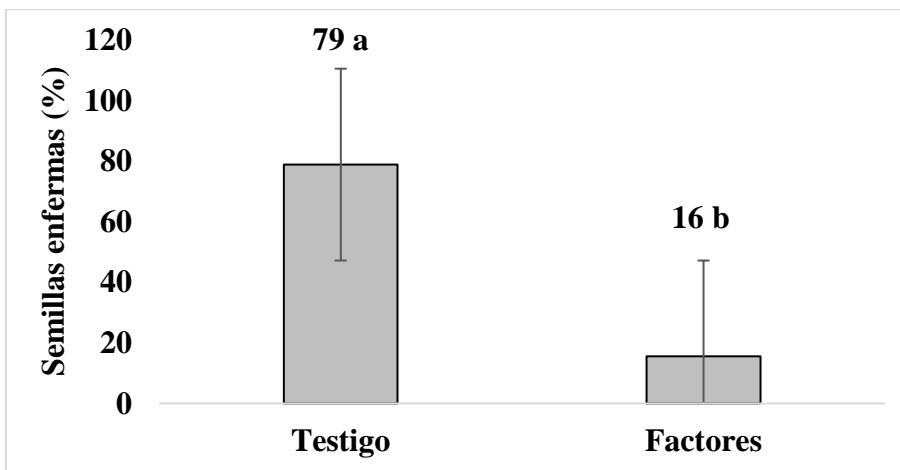


Figura 7. Prueba de Tukey 5 % para comparación de medias de Factores vs. Testigo para incidencia de enfermedades. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Semillas germinadas atípicas o deformes

Al momento de realizar la selección de semillas germinadas para la comercialización, se descartan aquellas semillas que están fuera de tipo, siendo las más comunes semillas atrofiadas, con dos raíces y con raíz larga (Kelanaputra et al., 2018). El análisis estadístico no mostró diferencias estadísticas para los tratamientos ni para factores vs. testigo referente a esta variable. Esto coincide con Shailasree et al. (2001), quienes utilizaron concentraciones de 25 mM y 50 mM de

BABA en semillas de *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. (Poaceae) y reportaron que no hubo problemas en la germinación; en cambio, cuando usaron 75 mM y 100 mM de BABA, observaron inhibición en la germinación y en el vigor de las plántulas. Nandeeshkumar et al. (2009) observaron que concentraciones de BABA menores a 50 mM aumentó la germinación y el vigor de las plántulas. Entretanto, a concentraciones más altas hubo un efecto contrario. Finalmente, Rajjou et al. (2006) observaron que en semillas de *Arabidopsis thaliana* la germinación y el desarrollo de las plántulas se vieron afectados negativamente.

Conclusiones

Las semillas de palma aceitera (*E. guineensis* Jacq.) sometidas a ocho días en imbibición 1 (seis días en agua más dos días en BABA o en AS) antes de entrar a cuarto caliente, y a 20 días de calentamiento, presentaron en 82 días el mayor porcentaje medio de germinación óptima, alcanzando 34,44 %, cuando se utilizó BABA, y 23,89 %, cuando se usó AS, sin diferencia estadística entre los inductores. El tratamiento que presentó mayor porcentaje promedio (40 %) de semillas germinadas con estándar óptimo fue el que permaneció en imbibición 1, seis días en agua más dos días en BABA, y 20 días de calentamiento. Por otra parte, el testigo tuvo un promedio de semillas germinadas óptimas de 1,11 % en 150 días, presentando mayor incidencia de enfermedades (78,89 %) con respecto a los factores (15,62 %). Adicionalmente, con las dosis utilizadas de los inductores (2,5 mM BABA y 1 mM de AS), no se observaron daños o anomalías en las semillas germinadas. Los hallazgos de esta investigación contribuirán a disminuir el tiempo de la germinación de las semillas de palma aceitera y a reducir los daños causados por patógenos durante el proceso de germinación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) por su contribución con equipos, materiales y talento humano para el desarrollo del estudio. Agradecemos a la Dr. Estefanía Carrillo-Perdomo y a Ángel Aller-Estévez por su asesoramiento en el diseño del experimento, asistencia técnica y por revisar críticamente el manuscrito, así como al Dr. Edison Silva por su contribución en la revisión del análisis estadístico.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill Interamericana de España.
- Bermúdez-Ruiz, G., Alizaga-López, R., & Herrera-Quirós, J. (2017). Efecto de tratamientos físicos y químicos sobre la germinación y almacenamiento de semillas de *Bactris guineensis* (L.) H.E. Moore, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(35), 45-54. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i35.3152>
- Bewley, J. D., & Black, M. (2012). *Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination: viability, dormancy, and environmental control*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-68643-6>
- Carrillo, M., Cevallos, V., Cedeño, C., Gualoto, W., Mite, F., Navarrete, M., . . . Zambrano, W. (2015). Manual del Cultivo de la Palma Aceitera (INIAP Ed.).
- Castaño, J., Ramírez, J. G., Patiño, L. F., & Morales, J. G. (2015). Alternativa para el manejo de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en *Solanum betaceum* Cav. mediante inductores de resistencia. *Revista de Protección Vegetal*, 30(3), 204-212. <http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/608>
- Castillo-Méndez, E. (2019). Respuesta fisiológica del ácido salicílico en la germinación y crecimiento inicial de *Annona muricata* L. [Tesis de grado, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México]. Repositorio UNICACH. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/2329>
- Corley, R., & Tinker, P. (2016). *The oil palm*. Wiley Blackwell.
- Corrado, F., & Wuidart, W. (1990). Germination of oil palm (*E. guineensis*) seeds in polythene bags. The dry heat method. *Oleagineux (Paris)*, 45(11), 511-518.
- Deenamo, N., Kuyyogsuy, A., Khompatara, K., Chanwun, T., Ekchaweng, K., & Churngchow, N. (2018). Salicylic acid induces resistance in rubber tree against *Phytophthora palmivora*. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7), 1883. <https://doi.org/10.3390/ijms19071883>
- Dzib-Ek, G., Villanueva-Couoh, E., Garruña-Hernández, R., Yoisura, S. V., & Larqué-Saavedra, F. A. (2021). Efecto del ácido salicílico en la germinación y crecimiento radicular del tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 735-740. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v12n4/2007-0934-remexca-12-04-735.pdf>
- Durner, J., Shah, J., & Klessig, D. F. (1997). Salicylic acid and disease resistance in plants. *Trends in Plant Science*, 2(7), 266-274. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)86349-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)86349-2)
- Ellis, R. H., Hong, T. D., Roberts, E. H., & Soetisna, U. (1991). Seed storage behaviour in *Elaeis guineensis*. *Seed Science Research*, 1(2), 99-104. <https://doi.org/10.1017/S0960258500000726>
- Farahani, A. S., & Taghavi, S. M. (2017). Induction of resistance in pepper against *Xanthomonas euvesicatoria* by β -aminobutyric acid. *Australasian Plant Disease Notes*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s13314-016-0226-1>
- Fondom, N., Etta, E., & Mih, A. (2010). Breaking seed dormancy: revisiting heat-treatment duration on germination and subsequent seedling growth of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) progenies. *Journal of Agricultural Science*, 1, 51-58. <https://doi.org/10.5539/jas.v2n2p101>
- Fontana, D., Meira, D., Pollon Zanatta, T., Werner, C., Brezolin, P., & Kulczynski, S. (2017). Ácido salicílico: efecto sobre la calidad fisiológica de semillas de *Cichorium endivia* L. *Revista*

- Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 314-321.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7353>
- Green, M., Lima, W. A. A., Figueiredo, A. F. D., Atroch, A. L., Lopes, R., Cunha, R. N. V. D., & Teixeira, P. C. (2013). Heat-treatment and germination of oil palm seeds (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Journal of Seed Science*, 35(3), 296-301.
<https://www.scielo.br/j/jss/a/vpXRjtT3trVZ5VL648Tjpnq/?format=pdf&lang=en>
- Guan, L., & Scandalios, J. G. (1995). Developmentally related responses of maize catalase genes to salicylic acid. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92(13), 5930-5934.
<https://doi.org/10.1073/pnas.92.13.5930>
- Gur, L., Reuveni, M., & Cohen, Y. (2021). β -Aminobutyric Acid Induced Resistance against Alternaria Fruit Rot in Apple Fruits. *Journal of Fungi*, 7(7), 564.
<https://doi.org/10.3390/jof7070564>
- Gurgel, L., Oliveira, S., Coêlho, R. S., & da Silva, R. L. (2005). Proteção a murcha de fusário do tomateiro com Acibenzolar-S-Metil e Ácido Beta-Aminobutírico, em campo. *Fitopatologia Brasileira*, 30(6), 655-657. <https://doi.org/10.1590/S0100-41582005000600015>
- Hartley, C. W. S. (1983). *La Palma de Aceite* (Primera ed.). Compañía editorial continental, S.A. de C.V.
- Herrera, J., Alizaga, R., & Guevara, E. (1998). Inducción de la germinación en semillas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) utilizando tratamientos químicos. *ASD Oil Palm Papers*, 18(18), 1-16.
http://www.asd-cr.com/images/PDFs/OilPalmPapers/Germinacion_quimica_OPP_18.pdf
- Herrera, J., & Alvarado, A. (2012). Germinación de semillas de palma aceitera: estudios del efecto de la carga de racimos de la palma madre, la variedad y las condiciones (temperatura y oxígeno) durante el proceso de ruptura del reposo. *ASD Oil Palm Papers*, 37, 25-30.
<http://www.cigras.ucr.ac.cr/phocadownload/Semillas/Binder2.pdf>
- Hussey, G. (1958). An analysis of the factors controlling the germination of the seed of the oil palm, *Elaeis guineensis* (Jacq.). *Annals of Botany*, 22(2), 259-284.
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083610>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2018). *Estadística de producción comercial desde el 2007 al 2017*. Departamento de Producción y Servicios.
- Jakab, G., Cottier, V., Toquin, V., Rigoli, G., Zimmerli, L., Métraux, J. P., & Mauch-Mani, B. (2001). β -Aminobutyric acid-induced resistance in plants. *European Journal of Plant Pathology*, 107(1), 29-37. <https://doi.org/10.1023/A:1008730721037>
- Jisha, K. C., & Puthur, J. T. (2016a). Seed priming with BABA (β -amino butyric acid): a cost-effective method of abiotic stress tolerance in *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Protoplasma*, 253(2), 277-289. <https://doi.org/10.1007/s00709-015-0804-7>
- Jisha, K. C., & Puthur, J. T. (2016b). Seed priming with beta-amino butyric acid improves abiotic stress tolerance in rice seedlings. *Rice Science*, 23(5), 242-254.
<https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.08.002>
- Kelanaputra, E. S., Nelson, S. P., Setiawati, U., Sitepu, B., Nur, F., Forster, B. P., & Purba, A. R. (2018). *Seed Production in Oil Palm: A Manual*. CABI.
- Martine, B. M., Laurent, K. K., Pierre, B. J., Eugene, K. K., Hilaire, K. T., & Justin, K. Y. (2009). Effect of storage and heat treatments on the germination of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seed. *African Journal of Agricultural Research*, 4(10), 931-937.

- Meerow, A. W., & Broschat, T. K. (1991). *Palm seed germination*. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. <https://bit.ly/37IYqkr>
- Mesa, D. (2018). El mundo celebra cien años de producción comercial de palma de aceite, el referente de Malasia. *Revista Palmas*, 39(1), 6-9. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12409>
- Nandeeshkumar, P., Sarosh, B. R., Kini, K. R., Prakash, H. S., & Shetty, H. S. (2009). Elicitation of resistance and defense related proteins by β -amino butyric acid in sunflower against downy mildew pathogen *Plasmopara halstedii*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 42(11), 1020-1032. <https://doi.org/10.1080/03235400701544085>
- Rajanaidu, N. (2017). Una mirada al mejoramiento genético de la palma de aceite en los últimos cincuenta años: una aventura personal. *Revista Palmas*, 37, 190-202. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11903>
- Rajjou, L., Belghazi, M., Huguet, R., Robin, C., Moreau, A., Job, C., & Job, D. (2006). Proteomic investigation of the effect of salicylic acid on *Arabidopsis* seed germination and establishment of early defense mechanisms. *Plant Physiology*, 141(3), 910-923. <https://doi.org/10.1104/pp.106.082057>
- Rey, L., Gómez, P. L., Ayala, I. M., Delgado, W., & Rocha, P. J. (2004). Colecciones genéticas de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. y *Elaeis oleifera* (HBK) de Cenipalma: características de importancia para el sector palmicultor. *Revista Palmas*, 25(especial), 39-48. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1065>
- Richardson, D. L. (1995). La historia del mejoramiento genético de la palma aceitera en la compañía United Fruit en América. *ASD Oil Palm Papers*, 11, 1-22. http://www.asd-cr.com/images/PDFs/OilPalmPapers/Historia_UFCo_palma_OPP_11_1995.pdf
- Rodríguez-Larramendi, L. A., Ramírez, M. G., Gómez-Rincón, M. A., Guevara-Hernández, F., Salas-Marina, M. Á., & Gordillo-Curiel, A. (2017). Efectos del ácido salicílico en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 34, 253-269. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27236>
- Shailasree, S., Sarosh, B. R., Vasanthi, N. S., & Shetty, H. S. (2001). Seed treatment with β -aminobutyric acid protects *Pennisetum glaucum* systemically from *Sclerospora graminicola*. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 57(8), 721-728. <https://doi.org/10.1002/ps.346>
- Shaikh-Abol-hasani, F., & Roshandel, P. (2019). Effects of priming with salicylic acid on germination traits of *Dracocephalum moldavica* L. under salinity stress. *Plant Physiology*, 10(1), 3035-3045. <https://doi.org/10.22034/IJPP.2019.670789>
- Soare, M., Iancu, P., Bonciu, E., & Panita, O. (2018). The Effect of Salicylic Acid and Polyethylene Glycol on Wheat Germination. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 75(1), 38-43. <http://dx.doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:002617>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2007). *Fisiología vegetal*. Universitat Jaume I.D.L.
- Yi-Lan, J., Shi-Long, J., & Xuan-Li, J. (2021). Disease-resistant identification and analysis to transcriptome differences of blueberry leaf spot induced by beta-aminobutyric acid. *Archives of Microbiology*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02350-2>
- Zambrano, R. (1991). *Influencia de periodos de almacenamiento y calentamiento sobre la germinación de la semilla de palma africana (Elaeis guineensis. Jacq)* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador]. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3675>