

CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE GUAJE Y CRATYLIA

PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF LEAD TREE AND CRATYLIA SEED

Raúl Plascencia-Jiménez¹, Adrián Raymundo Quero-Carrillo^{1*},
Mario Antonio Vega-Loera² y Adrián Hernández-Livera¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Sitio Experimental Costa de Jalisco, La Huerta, Jalisco, México.

*Autor de correspondencia (queroadrian@colpos.mx)

RESUMEN

La baja disponibilidad de semilla y tecnología para un buen establecimiento de praderas de arbustivas limita su adopción, de manera que cuando existen programas se utiliza semilla importada o de traspatio, ambas con calidad desconocida; por tanto, es importante establecer parámetros que definan calidad física y fisiológica, para discriminar entre lotes y planear el manejo adecuado para una siembra exitosa. Con esta finalidad, se evaluó la calidad física (CalFis) y la calidad fisiológica (CalFisio) en semilla de cratylia (*Cratylia argentea*) y guaje (*Leucaena leucocephala*). Para CalFis se determinó el contenido de humedad (CH), pureza física (PF), peso volumétrico (PVol) y peso de 1000 semillas (P1000s). Para CalFisio se realizaron pruebas de germinación (Ge) [a 7 (Ge7) y 14 días (dds; Ge14)] postsiembra, prueba de frío (PFr) y envejecimiento acelerado (EA), además de una prueba con estimulantes de germinación; para ello, se establecieron dos experimentos, el primero bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 × 3 (dos especies × tres pruebas de CalFisio), y el segundo con diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 × 4 [dos especies × tres estimulantes de germinación (EGe) consistentes en agua caliente (AC: 80 °C por 3 min), KNO₃, AG₃ y el testigo]. Las variables respuesta incluyeron Ge7, Ge14, plántulas anormales (PA), propágulos muertos (SM), semillas duras (SD), índice de germinación (IGe) y de velocidad de germinación (IVGe7 e IVGe14). Los datos se transformaron con arcoseno. Ambas especies mostraron valores iguales de CH y PF (P ≥ 0.05). Guaje mostró mayor PVol con respecto a cratylia (P ≤ 0.05); el P1000s fue de 240 vs. 53 g para cratylia y guaje (P ≤ 0.05). En el primer experimento, cratylia superó a guaje en todas las variables, excepto en SD. En CalFisio, la Ge fue mayor en Ge7, IGe e IVGe7, mientras que PFr fue mayor en PA; el EA incrementó Ge14 e IVGe14. En el segundo experimento, cratylia superó a guaje en todas las variables, excepto en SD e IGe. Para EGe, AC fue mayor en Ge7, SM, IGe e IVGe7. El tratamiento de AG₃ fue superior en Ge14 y IVGe14. *Leucaena* presentó 85 % de latencia en la semilla debido a testa dura, lo que impide el paso del agua y oxígeno al interior de la semilla. La semilla de cratylia recién cosechada no presentó latencia. Determinar la calidad de semilla es un factor clave para lograr un establecimiento exitoso de praderas.

Palabras clave: Germinación, escarificación de semilla, vigor de semilla.

SUMMARY

The low availability of seed and technology for good shrubby grassland establishment limits their adoption, so that, where programs exist, imported

or backyard seeds are used, both with unknown quality; therefore, it is important to establish parameters that define physical and physiological quality, to discriminate between lots and plan the appropriate management for a successful planting. For this purpose, the physical quality (CalFis) and physiological quality (CalFisio) were evaluated in cratylia (*Cratylia argentea*) and lead tree (*Leucaena leucocephala*) seeds. For CalFis, the moisture content (CH), physical purity (PF), volumetric weight (PVol) and weight of 1000 seeds (P1000s) were determined. For CalFisio, germination tests (Ge) [to 7 (Ge7) and 14 days (dds; Ge14)] were carried out after sowing, cold test (PFr) and accelerated aging (EA), in addition to a test with germination stimulants; the first one under a completely randomized experimental design with factorial arrangement 2 × 3 (two species × three CalFisio tests), and the second under a completely randomized experimental design with factorial arrangement 2 × 4 [two species × three germination stimulants (EGe) consisting of hot water (HW: 80 °C for 3 min), KNO₃, AG₃ and control]. Response variables included Ge7, Ge14, abnormal seedlings (PA), hard seeds (SD), germination index (IGe), and germination speed index (IVGe7 and IVGe14). Data were transformed to arcsin. Both species showed equal values for CH and PF (P ≥ 0.05). Lead tree showed higher PVol value in relation to cratylia (P ≤ 0.05); P1000s was 240 vs. 53 g for cratylia, and lead tree (P ≤ 0.05). In the first experiment, cratylia outperformed lead tree in all variables, except SD. In CalFisio, Ge was higher in Ge7, IGe and IVGe7, while PFr was higher in PA; EA increased Ge14 and IVGe14. In the second experiment, cratylia outperformed lead tree except for SD and IGe. For EGe, AC was higher in Ge7, SM, IGe and IVGe7. Treatment of AG₃ conditioning was superior in both Ge14 and IVGe14. Lead tree presented 85 % seed dormancy due to hard coat which prevents the passage of water and oxygen inside the seed. Recently harvested seed of cratylia showed no dormancy. Determining seed quality is a key factor for successful prairie establishment.

Index words: Germination, seed scarification, seed vigor.

INTRODUCCIÓN

Las leguminosas arbóreas mejoran la productividad bajo pastoreo (Serrano *et al.*, 2025), ya que confieren estabilidad ecológica a las praderas a largo plazo, poseen mayor capacidad de soportar mal manejo del pastoreo (alta persistencia), sequías prolongadas, además de integrarse en arreglos topológicos diversos, tanto de estrato con especies trepadoras o rastreras, o de forma horizontal con pastos amacollados o decumbentes, arbóreas maderables,

frutales, etc. (Quero *et al.*, 2007).

Cratylia argentea (Desv.) Kuntze es una especie nativa de Brasil, Perú y Bolivia, crece 3 m de alto y posee raíces pivotantes de hasta 1.8 m de profundidad, muestra buena producción de forraje en suelos bien drenados y retiene la hoja durante la sequía, crece en ambientes con 1 a 4 m de precipitación anual, bien adaptada a suelos ácidos y altitudes de 0 a 1000 msnm y ofrece ventajas de producción en pastoreo (Lascano y Schultze-Kraft, 2024). Posee semilla sin latencia al momento de cosecha y con problemas para su conservación viable en almacenamiento (Mattar *et al.*, 2022).

Por su parte, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Witt., conocida como guaje, es nativa de México, posee ventajas para su uso en pastoreo ampliamente reconocidas y documentadas (Sánchez-Gómez *et al.*, 2018; Shelton *et al.*, 2021). Se desarrolla en suelos bien drenados, produce forraje de buena calidad y apetencia, soporta suelos someros y sequías intensas, produce hasta 1.0 t de semilla por hectárea (Quero *et al.*, 2007), la cual, conserva su calidad hasta por 18 meses en el trópico (González *et al.*, 2012; Wencomo *et al.*, 2017). Guaje ha demostrado ser altamente valiosa para condiciones de trópico seco de México y el mundo.

La baja disponibilidad oportuna de semilla y tecnología para buen manejo del establecimiento de praderas de arbustivas limita su adopción. No existe en México planeación de demanda de semilla de arbustivas forrajeras, además de políticas consistentes, ni planes para ofrecer abasto justo en calidad, precio y cantidad; por tanto, cuando existen programas se utiliza semilla "de oportunidad" por demandas súbitas, importada o de traspatio, ambas con calidad desconocida al momento de siembra (Quero y Miranda, 2024). Semilla con testa dura y fuerte latencia predomina en muchas arbustivas y arbóreas (Harrison *et al.*, 2021); por tanto, es importante establecer parámetros que definen calidad física y fisiológica, para discriminar entre lotes (Kumar *et al.*, 2020) y planear el manejo adecuado para una siembra exitosa.

Guaje es una de las especies más estudiadas en calidad de semilla; sin embargo, existen aún aspectos clave a considerar para la discriminación y toma de decisiones sobre lotes y manejo de semilla en esta especie. En regiones tropicales, la calidad de semilla de especies forrajeras es variable, de acuerdo con las condiciones de cosecha y almacenamiento; por tanto, se debe verificar su calidad genética, fisiológica, física, sanitaria y visual-comercial. La máxima calidad de semilla se alcanza en la madurez fisiológica y, posteriormente, inicia su disminución inexorable (Corbineau, 2024). La capacidad de emergencia,

específicamente bajo condiciones desafiantes de siembra, está muy relacionada con la calidad fisiológica de la semilla; sin embargo, la capacidad de germinación y vigor de la misma se pierden con el envejecimiento, en función del genotipo y ambiente (Dhanda y Chauhan, 2022). Tratamientos como hidratación-deshidratación contribuyen a revigorizar, acelerar y uniformizar la germinación en condiciones diversas, a eliminar latencia y estimular enzimáticamente las membranas celulares (Corbineau, 2024). La escarificación estimula la imbibición y aumenta el vigor de la semilla durante su emergencia (Rusdy, 2017). La calidad fisiológica no es visible al consumidor; por tanto, el objetivo del presente estudio fue establecer procesos de determinación asertiva de la calidad de semilla para dos especies arbóreas forrajeras y su respuesta a alternativas de manejo de la semilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético y manejo de la semilla

Se utilizó semilla de *Cratylia argentea* (Desv.) Kuntze cv. Veranera (*cratylia*) y *Leucaena leucocephala* Lam. de Witt., cv. Peruana (guaje), cuya cosecha se realizó manualmente en febrero de 2021 en el Sitio Experimental Costa de Jalisco (SECJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en las coordenadas 19° 31' 15" N y 104° 32' 00" O, a 298 msnm, con clima Aw₁, cálido subhúmedo, lluvias en verano, precipitación anual de 1452 mm y suelo Feozem háplico con pH de 6.1 (Nájera *et al.*, 2020; Ruiz *et al.*, 2003). La semilla se secó inmediatamente a la sombra y se almacenó en sacos de manta en la bodega del SECJ a la sombra y 40 % HR.

Pruebas de calidad fisiológica

La calidad fisiológica de semilla se determinó en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Posgraduados, Texcoco, Edo. de México (COLPOS) en marzo y abril del mismo año. La semilla se desinfectó en hipoclorito de sodio 10 % por 1 min y se enjuagó en agua destilada en tres ocasiones, por 3 min cada una.

Calidad física

Para calidad física se determinó el contenido de humedad (CH), mediante secado en estufa de flujo forzado de aire. Cuatro repeticiones de 100 semillas por especie se depositaron a 103 °C durante 1 h. Los resultados se expresaron en porcentaje (Sena *et al.*, 2017). También se determinó la pureza física (PFis) donde 1.0 kg de semilla de muestra compuesta y por especie vegetal se dividió en cinco submuestras (repeticiones) y se determinó la proporción de semilla pura y material inerte (semilla rota y

residuos vegetales); para peso de 1000 semillas (P1000s) se contaron y pesaron ocho repeticiones de 100 semillas por especie, hasta que el coeficiente de variación (CV %) fue menor de 4 %; para peso volumétrico (PVol), muestras de 50 g de semilla por especie se depositaron en una probeta de 100 mL, determinando volumen desplazado por la masa de semillas y se tomó como base para cálculos, con la siguiente fórmula:

$$PV \text{ (kg/hL)} = \frac{\text{peso de la semilla}}{\text{volumen desplazado}} \times 100$$

Calidad fisiológica (CalFisio) de semilla

Se realizaron dos experimentos. Para el primero, sobre vigor, se realizaron pruebas de germinación con tres metodologías: 1) Germinación estándar (GE); 2) prueba de frío (Fr), con subsecuente prueba de GE; y 3) envejecimiento acelerado con GE (EA), como se describe en seguida.

Germinación estándar (GE)

A partir de cuatro repeticiones de 100 semillas seleccionadas al azar (ISTA, 2018), se colocaron 50 semillas en ocho sub-repeticiones para guaje y, para cratylia, 25 semillas en 16 sub-repeticiones, éstas se depositaron en toallas de papel sobre superficie plana de dos toallas previamente humedecidas con agua destilada y acomodadas por especie y repetición; posteriormente, se cubrieron con otras dos toallas húmedas, se enrollaron en forma de taco y se colocaron verticalmente dentro de bolsas plásticas transparentes, en cámara de ambiente controlado, con temperatura constante a 25 ± 1 °C.

Prueba de frío (PFR)

La semilla se preparó con la misma metodología que para GE, pero se colocaron previamente en refrigerador calibrado a 10 °C, durante siete días (Fenollosa *et al.*, 2020); posteriormente, se realizó la prueba de GE (ISTA, 2018).

Envejecimiento acelerado (EA)

En cajas plásticas (12 × 7 × 3 cm), se agregaron 80 mL de agua destilada y se colocó malla de alambre a 1.5 cm por encima del nivel del agua, sobre la cual se distribuyeron 100 semillas para cada una de cuatro repeticiones (Rincón y Molina, 1990). Las cajas se sellaron con cinta adhesiva para evitar evaporación y se colocaron en cámara germinadora (Modelo PR306066, Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, EUA) a 40 ± 2 °C con 100 % HR, durante 72 h utilizando un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 2 × 3 (dos especies × tres métodos para vigor). La semilla se sometió a GE (ISTA,

2018), se revisó la humedad del sustrato y, en su caso, se aplicó agua, según necesidades, por unidad experimental. El conteo de plántulas se realizó diariamente y se registró como porcentaje siete días después de siembra (dds; Ge7) y acumulada a 14 dds (Ge14). Se registraron plántulas normales (PN; consideradas como Ge14) considerando aquellas sanas y libres de malformaciones, tanto en raíz como plúmula, plántulas anormales (PA), propágulos muertos (SM) y semillas duras (SD).

Tratamientos para romper latencia

En un segundo experimento se evaluaron tres tratamientos más el testigo para romper latencia: 1) testigo, agua destilada más semilla, solo GE; 2) agua caliente (AC), con ocho repeticiones de 100 semillas por especie, en vaso de precipitados con 250 mL de agua destilada y 80 °C de temperatura constante, se sumergió la semilla por 3 min; posteriormente, se depositó en cajas Petri, las cuales se colocaron en cámara de germinación; 3) aplicación de KNO₃ 0.2 %, se disolvieron 2 g de KNO₃ en 1000 mL de agua destilada y se aplicaron 20 mL de solución por caja Petri, con 100 semillas por especie y ocho repeticiones, manteniéndolas en cámara de germinación, y 4) aplicación de AG₃ 0.1 %, se disolvió 1 g de AG₃ en 1000 mL de agua destilada y se aplicaron 20 mL de la solución preparada a 100 semillas por especie y caja Petri, se evaluaron ocho repeticiones; posteriormente, se colocaron bajo condiciones de GE bajo diseño completamente azar y arreglo factorial 2 × 4 (dos especies × tres métodos para romper latencia, más testigo).

Se realizaron conteos hasta 21 dds. El conteo de plántulas germinadas se realizó cuantificando el porcentaje de germinación a los 7dds (Ge7) y acumulada a 14dds (Ge14). Se registraron plántulas normales (PN), anormales (PA), semillas duras (SD) y propágulos muertos (SM). Para cuantificar los resultados se evaluó la viabilidad de las semillas (VT) en ocho repeticiones de 100 semillas; la semilla se lijó con lija # 220 al lado opuesto del embrión para adelgazar la testa, se colocó en imbibición 24 h en agua destilada y temperatura ambiente; transcurrido este tiempo, se eliminó la testa. Las semillas se colocaron en vasos de precipitados, depositando una solución de cloruro-2,3,5-trifenil tetrazolio en intervalo de 0.1 a 1 % p/v (Maia *et al.*, 2024), de tal forma que cubriera completamente a éstas. Los vasos de precipitados conteniendo semilla y solución, se colocaron en estufa (Modelo PR306066, Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, EUA) a 35 °C, en oscuridad, por 5 h; transcurrido este tiempo, la semilla se enjuagó y depositó en caja Petri con agua destilada para realizar lectura de tinción del embrión y diferenciar semillas viables. Las lecturas se realizaron en estructuras embrionarias y cotiledones, con apoyo de un microscopio estereoscópico

(Modelo 475022-Zeizz Oberkochen, Alemania).

Se determinó el índice de germinación (IGe), definido como el porcentaje de germinación obtenido a Ge7, en relación con Ge14. Se obtuvo el índice de velocidad de germinación (IVGe), mediante la fórmula de Maguire (1962):

$$IVG = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N_i}$$

Donde: X_i es el número de plántulas emergidas por día, N_i es el número de días después de la siembra y n el número de conteos. Los conteos se modificaron para realizar las evaluaciones en Ge7 y Ge14.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza empleando el procedimiento GLM de SAS ver. 9.4, y prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), para comparar medias entre tratamientos e interacciones; previamente, los datos se transformaron con la función arco seno (SAS Institute, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas

No se encontraron diferencias para CH ($P \geq 0.05$), ambas especies presentaron menos de 6 % de CH (Cuadro 1). Para PFis, se obtuvo 1.2 y 0.3 % de material inerte para cratylia y guaje, respectivamente y no se observó semilla de maleza (Cuadro 1); lo anterior, indicativo de altos niveles de pureza, posibles de exigir en estas especies. Para PVol, guaje mostró mayor valor respecto a cratylia (Cuadro 1; $P \leq 0.05$); por tanto, cratylia requiere mucho más espacio de almacenamiento. Para P1000s, se observaron diferencias ($P \leq 0.01$): cratylia contiene 4167 kg^{-1} y guaje, 18 868 semillas kg^{-1} (Cuadro 1). Lo anterior es importante para estimar densidad de siembra. Los resultados definen la cantidad de semilla viable a usar y su respuesta al manejo, conservación, empaque y métodos de siembra.

Calidad fisiológica

No fue posible ajustar los datos de germinación (Ge) a 100 % de semilla viable en ambas especies, debido a que las concentraciones evaluadas de tetrazolio no tiñeron al embrión, y aún semilla no teñida germinó; por tanto, es necesario mejorar la prueba de viabilidad en guaje y cratylia. En GE, a Ge7 y Ge14 se observaron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 2), siendo 4.7 y 4.1 respectivamente, la germinación de cratylia respecto a la de guaje. Se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 2) para PA y SM, siendo superior cratylia a guaje. Respecto a SD, guaje presentó 80 % de latencia. Con relación a IGe, cratylia mostró 80 % del total en Ge7. Para índice de velocidad de germinación a 7 dds (IVGe7), germinaron 9.4 plantas d^{-1} y para IVGe a 14 dds (IVG14) 5.9 plantas d^{-1} para cratylia. Para vigor, se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 2) a Ge7, siendo GE y EA superior en 1.4 y 1.1 magnitudes a PFr, respectivamente. Para Ge14, se observaron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 2), EA y GE superan en 1.3 y 1.2 magnitudes, respectivamente a PFr. Para PA se obtuvieron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 2), PFr superó a GE y EA; por tanto, PFr afecta la calidad de semilla debido a su menor porcentaje de germinación y la mayor presencia de plántulas anormales, además de sus índices de velocidad de germinación a siete y 14 días (Cuadro 2). Para SM no se encontraron diferencias ($P \geq 0.05$; Cuadro 2) entre pruebas. Para SD, las pruebas GE y PFr superaron en 1.2 magnitudes a EA; por tanto, el EA es buena opción para evaluar vigor de semilla en estas especies. Para IGe, la prueba de GE superó en 1.2 magnitudes ($P \leq 0.01$; Cuadro 2) a PFr y EA. Para IVGe7, GE fue superior ($P \leq 0.01$; Cuadro 2) en 1.4 y 1.3 magnitudes a PFr y EA, respectivamente. Para IVGe14, el EA superó ($P \leq 0.01$; Cuadro 2) en 1.1 y 1.3 magnitudes a GE y PFr, respectivamente. La interacción especie \times prueba de vigor a Ge7 mostró diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 2), cratylia solo con la GE, obtuvo mejor germinación respecto a otras interacciones; lo anterior indica menor latencia post-cosecha de cratylia. En cratylia, PFr y EA redujeron la germinación; por tanto, estas pruebas pueden utilizarse para determinar vigor de semilla en esta especie; sin embargo, será necesario evaluar tanto tiempo y temperaturas óptimas y definir la metodología más

Cuadro 1. Pruebas físicas evaluadas en semilla de dos leguminosas forrajeras arbóreas.

Especie	CH	PFis	PVol	P1000S
	(%)	(%)	(Kg hL^{-1})	(g)
Cratylia	5.4 ^{NS}	98.8 ^{NS}	75 ^b	240 ^a
Guaje	5.7	99.7	82 ^a	53 ^b

CH: contenido de humedad, PFis: pureza física, PVol: peso volumétrico, P1000s: peso de 1000 semillas. ^{NS}Diferencia no significativa ($P > 0.05$). Literales diferentes en columna indican diferencia estadística ($P \leq 0.01$).

eficiente. Para Ge14, la mejor interacción ($P \leq 0.01$) fue cratylia con GE (Cuadro 2) e indica que cratylia no necesita escarificación, dado el elevado porcentaje de germinación observado por lo que la semilla de esta especie puede utilizarse inmediatamente después de la cosecha. Para PA, se observaron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 2), la interacción cratylia \times PFr presentó mayor número de PA comparado con otras interacciones; por tanto, la semilla de cratylia se deteriora rápidamente. En guaje no se observaron PA en ninguna prueba. La interacción Cratylia \times EA mostró los mayores porcentajes de SM ($P \leq 0.01$; Cuadro 2) respecto a otras interacciones, lo que indica que la temperatura daña al embrión en esta especie.

Para SD, guaje presentó elevada latencia y el tratamiento con AC redujo la misma ($P \leq 0.01$; Cuadro 2), los mayores porcentajes de SD se presentaron en guaje con PFr y GE; por tanto, EA se puede utilizar para revigorar guaje. Para IGe, el mayor valor se registró en cratylia \times GE. Para IVGe7 e IVGe14, los mayores valores GE por día fueron para la interacción cratylia con GE respecto a otras interacciones.

Tratamientos para romper latencia

Cratylia superó a guaje en 2.1 y 2.4 magnitudes para Ge7 y Ge14 ($P \leq 0.01$; Cuadro 3). Para PA no hubo diferencias ($P \geq 0.05$; Cuadro 3). Para SM se observaron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 3), 27 magnitudes más para cratylia. Respecto a SD hubo diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 3), cratylia no mostró SD y guaje mostró 70 magnitudes más SD. Respecto a IGe, se observaron valores de 29 y 33 % en Ge7 respecto al total germinado para cratylia y guaje. Para IVGe7 e IVGe14, cratylia fue 2 y 2.5 magnitudes mayor que guaje.

Para escarificación se observaron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 3) en Ge7, siendo AC superior en 6, 3 y 3.3 magnitudes en relación con T, KNO_3 y AG_3 ; por el contrario, para Ge14 AC mostró la menor germinación ($P \leq 0.01$; Cuadro 3) comparado con otros tratamientos; AG_3 registró el mayor valor. En ninguna prueba de escarificación se obtuvieron PA ($P \geq 0.05$; Cuadro 3). Respecto a SM, hubo diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 3) en AC, la mitad de semillas evaluadas mostró más SM respecto a otros métodos. Para SD se observaron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 3), los

Cuadro 2. Calidad fisiológica y vigor en semilla de cratylia y guaje.

Especie	Porcentaje					IG	IVGe7 [†]	IVGe14 [†]	
	Ge7	Ge14	PA	SM	SD				
Cratylia	66 ^{a**}	82 ^{a**}	5 ^{a**}	11 ^{a**}	2 ^b	80	9.4	5.9	
Guaje	14 ^b	20 ^b	0 ^b	0 ^b	80 ^{a**}	70	2	1.4	
Prueba de Vigor		Porcentaje					IG	IVGe7 [†]	IVGe14 [†]
		Ge7	Ge14	PA	SM	SD			
GE		49 ^{a**}	52 ^a	2 ^b	2 ^{NS}	44 ^{a**}	94	7	3.7
PFr		34 ^b	44 ^b	5 ^{a**}	7	44 ^a	77	4.9	3.1
EA		39 ^{ab}	56 ^{a**}	0 ^b	9	36 ^b	70	5.6	4
Interacción		Porcentaje					IG	IVGe7 [†]	IVGe14 [†]
		Ge7	Ge14	PA	SM	SD			
Cratylia	GE	87 ^a	92 ^a	4 ^b	13 ^{bc}	2 ^c	95	12.4	6.6
Cratylia	PFr	62 ^b	76 ^a	10 ^a	14 ^{ab}	0 ^c	82	8.9	5.4
Cratylia	EA	50 ^b	78 ^a	0 ^c	17 ^a	5 ^c	64	7.1	5.6
Guaje	GE	9 ^d	13 ^c	0 ^c	1 ^c	86 ^a	69	1.3	0.9
Guaje	PFr	6 ^d	13 ^c	0 ^c	0 ^c	87 ^a	46	0.9	0.9
Guaje	EA	28 ^c	34 ^b	0 ^c	0 ^c	67 ^b	82	4	2.4

GE: germinación estándar, PFr: prueba de frío, EA: envejecimiento acelerado, Ge7 y Ge14: GE a 7 y 14 dds. [†]Plantas normales, PA: plántulas anormales, SM: propágulo muerto, SD: semillas duras, IG: índice de Ge (Ge7/Ge14 \times 100), IVGe7 e IVGe14: índice de velocidad de germinación a 7 y 14 dds, NS: diferencia no significativa ($P > 0.05$). Literales diferentes dentro de columna, indican diferencias ($P \leq 0.01$).

menores promedios se presentaron en AC, lo que indica que el AC mejora la germinación; por tanto, es recomendable evaluar temperaturas conservadoras o tiempos cortos de inmersión con promotores de germinación (total o velocidad), así como temperaturas alternas para estas especies. Para IGe en AC se observó la mayor germinación ($P \leq 0.01$; Cuadro 3), cratylia germinó al 90 % en Ge7, siendo esta prueba 8.2, 4.1 y 4.5 magnitudes mayor respecto al T, KNO_3 y AG_3 . Para IVeG7 se obtuvieron 5.1 plántulas d^{-1} en AC, superior respecto a otros métodos; por el contrario, para IVGe14 se observaron las mayores germinaciones d^{-1} en AG_3 , donde AC mostró menores promedios. Para interacción entre especies, tres pruebas de escarificación y T, para Ge7 se observaron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 3), siendo Guaje \times AC, aquella que mostró mayores valores.

Los resultados muestran que el uso de AC reduce latencia en guaje; así mismo, es un método eficiente e incrementa la velocidad de germinación, indicativo de mayor potencial de establecimiento en menor tiempo. Por el contrario, en el mismo muestreo en cratylia no se observó germinación con AC, por lo que este método de escarificación no es adecuado para esta especie. Para Ge14, se observaron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 3), los mayores promedios de germinación se encontraron con cratylia respecto a guaje, siendo cratylia con AG_3 el de mayores promedios, seguido de cratylia con KNO_3 y T; lo anterior indica que cratylia recién cosechada no presenta latencia y los métodos promotores de germinación KNO_3 y AG_3 son efectivos; por tanto, es recomendable su estudio a diferente exposición, concentración y su combinación. El uso de AC no es recomendable en cratylia debido a su testa delgada. Porcentajes inferiores de germinación a los obtenidos en el presente estudio se reportaron en cratylia con 10 % de humedad y 86 % de germinación a 15 dds (Mattar *et al.*, 2022). Guaje con AC incrementó su germinación respecto al T; por tanto, el AC es un método eficiente para su germinación. Utilizar AC incrementó la germinación en semilla de guaje recién cosechada y almacenada, se han reportado porcentajes 10 % mayores a los descritos en el presente estudio (Dhanda y Chauhan, 2022).

Los valores anteriores indican la importancia de escarificar, lo cual mejora la germinación de la semilla viable, reemplazando largos periodos de almacenamiento, riesgos y costos; aunado a esto, se reportaron valores de germinación de 4.8 % en guaje sin escarificación y con escarificación en agua caliente a 80 °C por 10 min, de 91.5 % (Dhanda y Chauhan, 2022); por tanto, es importante determinar si se incrementa la germinación con tratamientos de AG_3 y KNO_3 en semillas escarificadas con AC y si este manejo resulta viable en costo y operación. Sánchez-Cárdenas *et al.* (2023) observaron 88 % de

germinación (8 % mayor al presente estudio) en semilla de guaje escarificada con AC por 2 min; similarmente, los autores reportaron un IVGe de 2.2 plántulas d^{-1} , valores inferiores a los del presente estudio (5.7 plántulas d^{-1}). En otro estudio en semilla de guaje, Sánchez-Gómez *et al.* (2018) indicaron que la escarificación por inmersión en agua a 24 °C (12 h) y AC a 80 °C (3 min) favoreció tanto la velocidad como la germinación total con 3.5 plántulas d^{-1} y 45 a 55 %, respectivamente, a 14 dds; valores inferiores en 25 % y 2.2 plántulas d^{-1} respecto al presente estudio. Por otra parte, González *et al.* (2012) evaluaron el comportamiento de semillas de guaje con diferente escarificación e indicaron promedios de 82 %, valores semejantes a los encontrados en este estudio y con el mismo periodo de almacenamiento. González *et al.* (2009) observaron 80 % de latencia en diferentes accesiones y años de cosecha de guaje; así mismo, obtuvieron 75 % de germinación cuando cortaron la testa de semilla y 65 % de germinación con AC por 2 min para las mismas accesiones. Sánchez y Ramírez-Villalobos (2006) observaron 92 % de germinación en semilla de guaje escarificada a 80 °C por 10 min, a 32 dds, e indicaron que la temperatura favoreció la eliminación de la impermeabilidad de testa, ocasionando mayor intercambio hídrico y gaseoso; por tanto, mayor emergencia de plántulas. En leguminosas no domesticadas, una germinación total inferior a 60 % en semillas escarificadas es frecuente debido a que la latencia actúa como mecanismo evolutivo para supervivencia de la progenie (Corbineau, 2024).

La mayor viabilidad de semilla se obtiene al momento de madurez fisiológica; por tanto, el manejo de cosecha y almacenamiento son determinantes. A pesar de un buen manejo, la viabilidad disminuye de manera natural con el almacenamiento, y es necesario evaluarlas al momento de la siembra (Lezcano *et al.*, 2007). Es recomendable realizar experimentos en cratylia para determinar la temperatura, tiempo e intervalos de inmersión en AC, para mejor su germinación, a fin de alcanzar la germinación deseada o conocer la condición de lotes comerciales de semilla; para esto, se debe explorar el efecto de temperaturas conservadoras o tiempos muy cortos de inmersión, o la aplicación de promotores de la germinación.

Resulta relevante determinar las pruebas que contribuyen a obtener mejores resultados en calidad fisiológica de semilla en estas especies y describir la metodología de cada prueba de forma específica. Respecto a PA, no se observaron diferencias ($P \geq 0.05$; Cuadro 3) entre interacciones. Para SM se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$; Cuadro 3), siendo cratylia con AC la que mostró 100 % de SM, lo que comprueba que el nivel de AC evaluado no es recomendable, indicando que la testa de semilla de cratylia no es dura y que el AC aplicada reblandece

Cuadro 3. Tratamientos de escarificación para reducir latencia en semilla de cratylia y guaje.

Especie	Ge7	Ge14	PA	SM	SD	IGe	IVGe7 [†]	IVGe14 [†]
	Porcentaje							
Cratylia	21 ^{a**}	73 ^{a**}	0	27 ^{a**}	0 ^b	29	3	5.2
Guaje	10 ^b	30 ^b	0	0 ^b	70 ^{a**}	33	1.4	2.1
Escarificación			Porcentaje					
T	6 ^b	55 ^a	0 ^{NS}	3 ^b	43 ^{a**}	11	0.9	3.9
AC	36 ^{a**}	40 ^b	0	50 ^{a**}	10 ^b	90	5.1	2.9
KNO ₃	12 ^b	55 ^a	0	1 ^b	43 ^a	22	1.7	3.9
AG ₃	11 ^b	56 ^{a**}	0	1 ^b	43 ^a	20	1.6	4
Interacción			Porcentaje					
Cratylia × T	8 ^{bc}	95 ^a	0 ^{NS}	5 ^b	0 ^c	8	1.1	6.8
Cratylia × AC	0 ^c	0 ^d	0	100 ^a	0 ^c	0	0	0
Cratylia × KNO ₃	15 ^b	97 ^a	0	3 ^b	0 ^c	16	2.1	6.9
Cratylia × AG ₃	16 ^b	99 ^a	0	1 ^b	0 ^c	16	2.3	7.1
Guaje × T	3 ^{bc}	14 ^c	0	0 ^b	86 ^a	21	0.4	1
Guaje × AC	65 ^a	80 ^b	0	0 ^b	20 ^b	81	9.3	5.7
Guaje × KNO ₃	9 ^{bc}	14 ^c	0	0 ^b	86 ^a	64	1.3	1
Guaje × AG ₃	6 ^{bc}	13 ^c	0	1 ^b	86 ^a	46	0.9	0.9

T: testigo sin escarificación, AC: agua caliente, AG₃: ácido giberélico, Ge7: germinación 7 días post-siembra (dds), G14: germinación a 14dds, †: número de plantas normales, PA: plántulas anormales, SM: propágulo muerto, SD: semillas duras, IGe: índice de germinación (Ge7/Ge14×100), IVGe7: índice de velocidad de germinación a 7dds, IVGe14: índice de velocidad de germinación a 14dds. NS: diferencia no significativa (P ≥ 0.05). Literales diferentes, dentro de columna, indican diferencias (P ≤ 0.01).

demasiado la testa y penetra rápidamente, promoviendo muerte del embrión. Para SD se observaron diferencias (P ≤ 0.01; Cuadro 3), los métodos de escarificación con cratylia no resultaron en SD; por el contrario, los mayores valores de SD para guaje se observaron en el Testigo, KNO₃ y AG₃. La semilla de guaje mostró alta latencia en semilla recién cosechada, su testa impide la imbibición e intercambio de gases; por tanto, es recomendable realizar pruebas de germinación para determinar el momento en que disminuye su latencia sin perder viabilidad. Para IGe se observó que Guaje con AC presentó mayores porcentajes a Ge7 respecto al total y comparado con otras interacciones. El IGe e IVGe7 son indicadores que muestran plántulas germinadas a corto plazo; por tanto, tienen potencial para incrementar plántulas establecidas en campo bajo condiciones de posibles desafíos ambientales a corto plazo. Para IVGe7 se registró el mayor número de plántulas germinadas por día en guaje con AC con relación con otras

interacciones. Para IVGe14, cratylia con AG₃ mostró el mayor número de plántulas, y es potencialmente valioso para obtener mayor número de plantas establecidas en campo a corto plazo.

Para determinar viabilidad, las concentraciones de cloruro de tetrazolio de 0.1 y 0.5 % (p/v), durante 24 h a 35 °C, no mostraron tejido embrionario teñido; por tanto, se realizó otro ensayo al 1 % (p/v) durante 5 h a 35 °C; transcurrido este tiempo, se realizó el conteo de la viabilidad y se encontró 53 y 50 % de viabilidad para cratylia y guaje, respectivamente. La viabilidad obtenida fue inferior a la germinación observada, a pesar de la elevada concentración de tetrazolio utilizada y resultado de una menor detección del tetrazolio de la oxidación celular del embrión; por tanto, es necesario realizar ensayos para determinar el procedimiento adecuado para ambas especies.

CONCLUSIONES

Guaje presentó valores superiores de 85% de latencia en semilla recién cosechada debido a su testa dura, que impide el paso de agua y oxígeno al interior de la misma, evitando la emergencia de plántulas. La semilla de cratylia recién cosechada no presentó latencia. La aplicación de KNO_3 y AG_3 en semilla de cratylia, afecta positivamente la germinación, lo cual se recomienda para esta especie; sin embargo, tratamientos con AC afectan negativamente la germinación en semillas de cratylia. En las pruebas de PFR y EA es necesario evaluar tiempos y temperaturas óptimas para cada especie, ya que cratylia posee tendencia a rápido deterioro y mostró diferencias altamente significativas respecto a guaje. Para un programa de establecimiento de praderas de leguminosas, la semilla de guaje posee mayor resiliencia respecto a la de cratylia, debido a menor P1000s, mayor peso hectolítrico, vigor de almacenamiento, facilidad de transporte, empaque y manejo, aspectos prácticos que determinan la factibilidad de programas de establecimiento, los cuales requieren semilla de calidad y resistente a manejo. Los parámetros evaluados permiten discriminar lotes de semilla, considerando el valor biológico de ésta, importante en la toma de decisiones al establecer praderas.

AGRADECIMIENTOS

A la LGAC Innovación Tecnológica y Seguridad Alimentaria en Ganadería, por el valioso apoyo brindado para el desarrollo de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Corbineau F. (2024) The effects of storage conditions on seed deterioration and ageing: how to improve seed longevity. *Seeds* 3:56-75, <https://doi.org/10.3390/seeds3010005>
- Dhanda S. and B. S. Chauhan (2022) Seed germination ecology of leucaena (*Leucaena leucocephala*) as influenced by various environmental parameters. *Weed Science* 70:335-340, <https://doi.org/10.1017/wsc.2022.18>
- Fenollosa E., L. Jené and S Munné-Bosch (2020) A rapid and sensitive method to assess seed longevity through accelerated aging in an invasive plant species. *Plant Methods* 16:64. <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00607-3>
- González A. M., B. Valles M., M. A. Díaz, E. Castillo G., E. Ocaña Z. y J. Jarillo (2012) Effect of grazing *Cratylia argentea* associated with *Brachiaria brizantha*-Toledo on quality pasture and weight gain in Holstein x Zebu heifers. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15(Suppl2):S1-S11, <https://doi.org/10.56369/tsaes.1728>
- González Y., J. Reino y R. Machado (2009) Dormancia y tratamientos pregerminativos en las semillas de *Leucaena* spp. cosechadas en suelo ácido. *Pastos y Forrajes* 32:1-6.
- González Y., J. Reino, J. A. Sánchez y R. Machado (2012) Efecto del almacenamiento al ambiente en semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham sometidas a hidratación parcial. *Pastos y Forrajes* 35:393-400.
- Harrison R. J., T. J. Edwards, E. Steele, R. J. Yates, B. J. Nutt and J. G. Howieson (2021) Breaking hard seed dormancy in the perennial legume *Lebeckia ambigua* E. Mey. to enhance sustainable agricultural production. *Agronomy for Sustainable Development* 41:45, <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00704-0>
- ISTA, International Seed Testing Association (2018) International Rules for Seed Testing. Bassersdorf, Switzerland. 298 p.
- Kumar A., J. Hanson and A. Abdena (2020) Production of high-quality tropical forage legume seeds. In: *Advances in Seed Production and Management*. A. K. Tiwari (ed.). Springer. Singapore. pp:119-128, https://doi.org/10.1007/978-981-15-4198-8_6
- Lascano C. E and R. Schultze-Kraft (2024) *Cratylia argentea* – review of a tropical shrub legume: quality and utilization. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 12:73-91, [https://doi.org/10.17138/tgft\(12\)73-91](https://doi.org/10.17138/tgft(12)73-91)
- Lezcano J. C., M. Navarro, Y. González y O. Alonso (2007) Determinación de la calidad de las semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú, almacenadas al ambiente. *Pastos y Forrajes* 30:107-118.
- Maguire J. D. (1962) Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2:176-177, <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X00200020033x>
- Maia S. S., O. J. Smiderle, A. G. Souza, S. B. Torres y C. P. Benedito (2024) Uso de tetrazolio en la viabilidad de semillas y biorreguladores en la emergencia de plántulas de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh). *Cultivos Tropicales* 45:1-6, <https://cu-id.com/2050/v45n2e08>
- Mattar E. P. C. L., D. T. Piñeiro, W. D. Pereira, B. P. Brasileiro, W. J. R. Matrangolo, P. C. Hilst, ... and D. C. F. S. Dias (2022) Physiological, morphological, and biochemical characterization of *Cratylia argentea* (Desv.) Kuntze seeds. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 10:172-183, [https://doi.org/10.17138/TGFT\(10\)172-183](https://doi.org/10.17138/TGFT(10)172-183)
- Nájera G. A., F. M. Carrillo G., O. Nájera G. y R. M. Chávez D. (2020) Caracterización climática y variabilidad de temperatura superficial de la llanura costera de Nayarit y su teleconexión con ENSO y PDO. *Acta Universitaria* 30:e2651, <http://doi.org/10.15174/au.2020.2651>
- Quero C. A. R., J. F. Enríquez Q. y L. Miranda J. (2007) Evaluación de especies forrajeras en América tropical, avances o status quo. *Interciencia* 32:566-571.
- Quero C. A. R y L. Miranda (2024) Valor, Condición y Alternativas de Mejora de los Pastizales en México. Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 343 p.
- Rincón F. y J. Molina (1990) Efecto del método de envejecimiento artificial sobre la germinación de semillas de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 1:51-53. <https://doi.org/10.15517/am.v1i0.25325>
- Ruiz C. J. A., I. J. González A., J. R. Regalado R., J. Anguiano C., I. Vizcaino V. y D. R. González E. (2003) Recursos Edafo-climáticos para la Planeación de Sector Productivo en el Estado de Jalisco. Libro Técnico No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Guadalajara, Jalisco, México. 172 p.
- Rusdy M. (2017) Enhancement of seedling emergence and early growth of *Leucaena leucocephala* by hot water, mechanical and acid scarification pre-treatments. *International Journal of Applied Environmental Sciences* 12:857-863.
- Sánchez P. Y. y M. Ramírez-Villalobos (2006) Tratamientos pregerminativos en semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. *Revista de la Facultad de Agronomía* 23:257-272.
- Sánchez-Cárdenas S., J. Vázquez-Martínez, D. Domínguez-Ortega, I. Revueltas-Oramas y H. B. Wencomo-Cárdenas (2023) Efecto del IHPLUS®BF en la germinación de semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Witt cv. Cunningham. *Pastos y Forrajes* 46:e18.
- Sánchez-Gómez A., A. Rosendo-Ponce, J. M. Vargas-Romero, F. Rosales-Martínez, D. E. Platas-Rosado y C. M. Becerril-Pérez (2018) Energía germinativa en guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) con diferentes métodos de escarificación de la semilla. *Agrociencia* 52:863-874.
- SAS Institute (2010) Base SAS® 9.4. Foundation Guide: Statistical Procedures. Second edition. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 556 p.
- Sena D. V. A., E. U. Alves and D. S. de Medeiros (2017) Vigor tests to evaluate the physiological quality of corn seeds cv. 'Sertanejo'.

Ciencia Rural 17:e20150705, <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150705>

Serrano J. O. V., Z. M. de Souza, D. A. A. Esteban, L. P. Bezerra, E. M. Guimarães, R. P. de Lim, ... and R. B. da Silva (2025) Soil physical-hydraulic properties in different rotational silvopastoral systems: a short-term study. *Water* 17:1486, <https://doi.org/10.3390/w17101486>

Shelton M., S. Dalzell, N. Tomkins and S. R. Buck (2021) *Leucaena*. The

Productive and Sustainable Forage Legume. Second edition. Meat & Livestock Australia-The University of Queensland. Saint Lucia, Australia. 93 p.

Wencomo H. B., R. Ortíz y J. Cáceres (2017) Quality of seeds from *Leucaena* species stored under ambient conditions. *African Journal of Agricultural Research* 12:279-285, <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10604>