



Interciencia

ISSN: 0378-1844

ISSN: 2244-7776

interciencia@gmail.com

Asociación Interciencia

Venezuela

Gutiérrez-Hernández, Germán Fernando; Ortiz-Hernández,
Yolanda Donají; Corzo-Ríos, Luis Jorge; Aquino-Bolaños, Teodulfo
COMPOSICIÓN QUÍMICA Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE TOBALÁ (*Agave potatorum*)
Interciencia, vol. 45, núm. 5, 2020, Mayo, pp. 223-228
Asociación Interciencia
Venezuela

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33963402007>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

LUEN redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE TOBALÁ (*Agave potatorum*)

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández, Yolanda Donaji Ortiz-Hernández, Luis Jorge Corzo-Ríos y Teodulfo Aquino-Bolaños

RESUMEN

Agave potatorum (tobalá) es una especie silvestre que se reproduce solo por semilla. La planta se recolecta antes de florecer para producir mezcal, lo que impide la formación de semillas y reduce la diversidad de la especie. El objetivo del estudio fue conocer la composición química parcial y la germinación de semillas de agave tobalá colectadas en años distintos, y establecer los elementos esenciales de este proceso. Las semillas de tobalá se recolectaron en Oaxaca, México, en 2017 (Colecta I), 2018 (Colecta II) y 2019 (Colecta III). Las evaluaciones se hicieron de agosto a diciembre del 2019. Se determinó la composición química, el volumen (VOL) de las semillas, la formación de plántulas (PNOR) y el peso fresco de radícula

(PFR), plúmula (PFP) y total (PFT). El diseño experimental fue completamente al azar. Los datos se analizaron con ANDEVA, comparación de medias, componentes principales (ACP) y regresión. En promedio, las semillas tuvieron 38, 22, 16, 15, 5 y 4% de proteínas, fibra bruta, lípidos, extracto libre de nitrógeno, humedad y cenizas, respectivamente. Entre colectas, las semillas fueron diferentes ($P \leq 0,05$) en lípidos, proteínas, VOL, PNOR, PFR, PFP y PFT. El contenido de lípidos y la germinación (PNOR) disminuyeron significativamente al aumentar el tiempo de recolecta. El ACP y la regresión evidenciaron que la producción de PNOR dependió esencialmente de los lípidos. Las semillas de tobalá fueron oleoproteaginosas y recalcitrantes.

Introducción

México es centro de origen y diversidad de los agaves, tiene el 75% de las especies de este género, de las cuales el 57% son endémicas; son plantas perennes, monocárpicas, alcanzan la madurez sexual a partir de entre cinco y veinticinco años o más, dependiendo de la especie y del ambiente en el que vive

(Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017) y se reproducen sexualmente una vez en su vida (García-Mendoza, 2010, Ramírez-Tobías *et al.*, 2012). Sus semillas son lacrimiformes, planas y de color negro brillante (Vázquez *et al.*, 2011); son viables, sin latencia y germinan rápida y uniformemente (Peña-Valdivia *et al.*, 2006). Los agaves también se reproducen asexualmente y este

medio es el más frecuente y exitoso (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017).

Se estima que la destilación intensiva de mezcal (bebida alcohólica) inició a mediados del siglo pasado (Plascencia y Peralta, 2018). Se requieren de 6 hasta 20kg de agave ('piña' tallo y base de hojas de la planta adulta) por litro de mezcal producido (Palma *et al.*, 2016),

lo que confirma la necesidad de desarrollar programas de manejo integral de este recurso (SEMARNAT, 2002) derivados de su conocimiento básico.

En Oaxaca, México, se recolectan varias especies de agave silvestre para destilar mezcal, actividad económica importante que repercute en erosión edáfica y genética. Esto se agudiza con el *Agave potatorum*

PALABRAS CLAVE / Agave Silvestre / Análisis de Componentes Principales / Asparagaceae /

Recibido: 01/04/2020. Modificado: 08/05/2020. Aceptado: 11/05/2020.

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández. Doctor en Ciencias en Genética Vegetal, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México. Profesor-Investigador, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI), Instituto Politécnico Nacional, México.

Yolanda Donaji Ortiz-Hernández. Autora de correspondencia. Doctora en Ciencias en Fisiología Vegetal, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, México. Profesora-Investigadora, Instituto Politécnico Nacional. Dirección: Centro Interdisciplinario de Investigación para el

Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR Oaxaca), IPN. Hornos 1003. Santa Cruz Xoxocotlán. C.P. 71230. Oaxaca, México. e-mail: yortiz@ipn.mx

Luis Jorge Corzo-Ríos. Doctor en Ciencias Químicas y Bioquímicas, Universidad Autónoma de Yucatán. México. Profesor-

Investigador, UPIBI-Instituto Politécnico Nacional, México.

Teodulfo Aquino-Bolaños. Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba. Profesor-Investigador, CIIDIR Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, México.

CHEMICAL COMPOSITION AND GERMINATION OF TOBALA SEEDS (*Agave potatorum*)

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández, Yolanda Donají Ortiz-Hernández, Luis Jorge Corzo-Ríos and Teodulfo Aquino-Bolaños

SUMMARY

Agave potatorum (tobala) is a wild species that reproduces only by seed. The plant is collected before flowering to produce mescal, which prevents the formation of seeds and reduces the diversity of the species. The objective of the study was to know the partial chemical composition and the germination of tobala agave seeds collected in different years, and to establish the essential elements of this process. Tobala seeds were collected in Oaxaca, Mexico, in 2017 (Collection I), 2018 (Collection II), and 2019 (Collection III). The evaluations were made from August through December 2019. The chemical composition, volume of the seeds (VOL), seedlings formation (PNOR), and the fresh weight of

radicle (PFR), plumule (PFP), and total (PFT) were determined. The experimental design was completely random. Data were analyzed with ANDEVA, comparison of means, principal components (ACP), and regression. On average, the seeds had 38, 22, 16, 15, 5, and 4% of protein, crude fiber, lipids, nitrogen-free extract, moisture, and ash, respectively. Between collections, the seeds were different ($P \leq 0.05$) in lipids, proteins, VOL, PNOR, PFR, PFP, and PFT. Lipids content and germination (PNOR) significantly decreased as collection time increased. ACP and regression showed that PNOR production was essentially lipid dependent. Tobala seeds were oleoproteaginous and recalcitrant.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE TOBALÁ (*Agave potatorum*)

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández, Yolanda Donají Ortiz-Hernández, Luis Jorge Corzo-Ríos e Teodulfo Aquino-Bolaños

RESUMO

Agave potatorum (tobalá) é uma espécie selvagem que se reproduz apenas por sementes. A planta é coletada antes da floração para produzir mezcal, o que evita a formação de sementes e reduz a diversidade das espécies. O objetivo do estudo foi conhecer a composição química parcial e a germinação de sementes de agave tobalá coletadas em diferentes anos, e estabelecer os elementos essenciais desse processo. As sementes de tobalá foram coletadas em Oaxaca, México, em 2017 (Colecção I), 2018 (Colecção II) e 2019 (Colecção III). As avaliações foram realizadas de agosto a dezembro de 2019. Foram determinadas a composição química, o volume (VOL) das sementes, a formação de mudas (PNOR) e o peso fresco da radícula (PFR),

plumule (PFP) e total (PFT). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Os dados foram analisados com ANDEVA, comparação de médias, componentes principais (ACP) e regressão. Em média, as sementes tinham 38, 22, 16, 15, 5 e 4% de proteína, fibra bruta, lipídios, extrato livre de nitrogênio, umidade e cinza, respectivamente. Entre as coletas, as sementes foram diferentes ($P \leq 0,05$) em lipídios, proteínas, VOL, PNOR, PFR, PFP e PFT. O conteúdo lipídico e a germinação (PNOR) diminuíram significativamente com o tempo de coleta. A ACP e a regressão mostraram que a produção de PNOR era essencialmente dependente de lipídios. As sementes de tobala eram oleoproteaginosas e recalcitrantes.

(tobalá), porque a diferencia de la mayoría de los agaves, su propagación asexual es casi nula y depende de las semillas para sobrevivir (García-Mendoza, 2010; Aguirre-Dugua y Eguiarte, 2013; Delgado-Lemus *et al.*, 2014).

A. potatorum es endémico de las zonas semiáridas de Puebla y Oaxaca, México, y se distribuye en altitudes de 1240 a 2400m. Sus poblaciones están dispersas (García-Mendoza, 2010; Delgado-Lemus *et al.*, 2014), son cada vez más reducidas (Rangel-Landa *et al.*, 2015) y se van relegando a los ambientes menos favorables. Además, carece de manejo sustentable (Torres *et al.*, 2014).

La germinación *sensu stricto* tiene inicio con la rehidratación de la semilla y culmina con la protrusión radicular (Bewley *et al.*, 2013). Para

asegurar el establecimiento del cultivo, los analistas de semillas (ISTA, 2015) las evalúan hasta la formación de plántulas normales (completas y sanas) con potencial para desarrollar y perpetuar la especie (Figura 1).

En muchas especies cultivadas existe controversia sobre la importancia del tamaño y el peso de la semilla en la germinación y la formación de plántulas, lo cual también ocurre con las plantas silvestres como los agaves (Vázquez *et al.*, 2011).

Por su tolerancia a la deshidratación, las semillas se clasifican en ortodoxas, intermedias y recalcitrantes (Magnitskiy y Plaza, 2007); las primeras almacenan carbohidratos y son más longevas, en tanto que las últimas poseen contenido alto de lípidos y longevidad reducida (Berjak y Pammenter, 2010). El deterioro de las



Figura 1. Germinación de semillas de *A. potatorum*: A) protrusión radicular (izq.), plúmula y radícula elongadas (der.); B) plántulas normales con la testa de la semilla en el ápice de la plúmula (Fotografías: Yolanda D. Ortiz-Hernández).

semillas recalcitrantes se inicia con la degradación de los ácidos grasos saturados durante el almacenamiento (Pukacka y Ratajczak, 2006).

El objetivo del presente estudio fue conocer la composición química parcial y la germinación de semillas de *A. potatorum* colectadas en años distintos,

y establecer los factores esenciales de este proceso. El conocimiento de las características químicas de las semillas de *A. potatorum* (tobalá) y de su efecto sobre la germinación (formación de plántulas normales), contribuye a conocer su recalcitrancia y a diseñar estrategias para preservar y aprovechar la

variabilidad genética de esta especie amenazada de alto valor biológico, cultural y económico.

Materiales y métodos

Material genético

Se recolectaron cápsulas maduras de plantas silvestres de *A. potatorum* (tobalá) en la Sierra Sur, la zona Mixteca y los Valles Centrales del estado de Oaxaca, México, en tres años consecutivos: Colecta I (2017), Colecta II (2018) y Colecta III (2019). Las semillas se secaron bajo sombra (21 días) y se guardaron sin control de temperatura ni humedad. Al momento de realizar los experimentos, las colectas tuvieron un almacenamiento de 29, 17 y 6 meses, respectivamente. Los análisis se efectuaron de agosto a diciembre del 2019 en el laboratorio de Biotecnología Molecular de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional.

Composición química parcial

Las semillas completas se molieron en equipo tipo ciclónico (Tekator) hasta lograr un tamaño de partícula que atravesó un tamiz con malla N° 100; se utilizó la harina integral y se procesó de acuerdo a las normas oficiales (AOAC, 2005). Las determinaciones se expresaron como porcentaje en base seca. La humedad (HUM) se determinó gravimétricamente en horno de secado (Felisa, México). En el residuo anterior se cuantificaron las cenizas (CEN) por calcinación en mufla de terrígeno (Novatech, México). Los lípidos (LIP) se extrajeron con éter de petróleo en sistema Soxhlet (Soxtec, EEUU). Una porción del remanente sin grasa se utilizó para cuantificar la fibra bruta total (FBT) por digestión ácida (HCL 6N) y alcalina (NAOH 6N) en un digestor (Ankom, EEUU); y otra para calcular el N₂ total en sistema Kjeldahl (Labconco, EEUU), el cual se transformó a proteína (PRO) con el factor 6,25 (Galicía *et al.*, 2009). El extracto libre de N₂ (ELN) se calculó por la

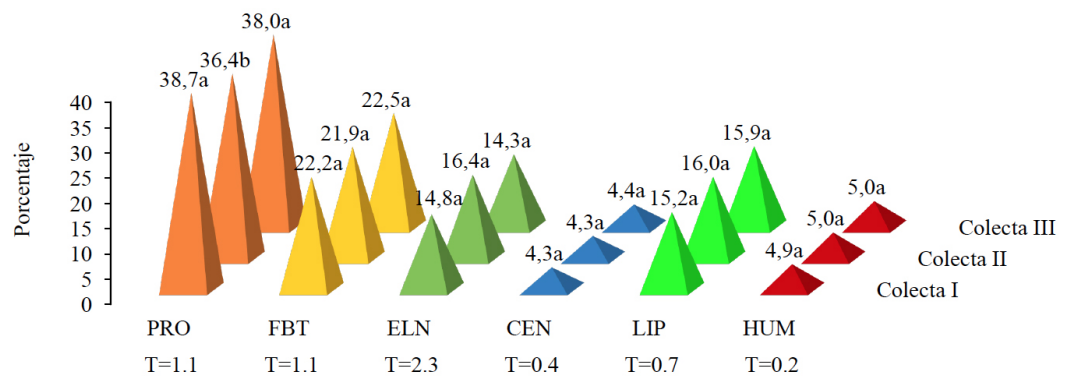


Figura 2. Comparación de medias (Tukey, $P \leq 0,05$) de la composición química parcial (% en base seca) de las semillas de tobalá (*A. potatorum*) en las tres colectas realizadas. PRO: proteínas, FBT: fibra bruta total, ELN: extracto libre de N₂, CEN: cenizas, LIP: lípidos, HUM: humedad, T: diferencia significativa honesta. Letras distintas entre colectas indicaron diferencias significativas.

diferencia al 100% del total de los componentes anteriores.

Volumen de semilla, plántulas normales y peso fresco

El volumen de las semillas (VOL) se obtuvo multiplicando su longitud, anchura y espesor, los cuales se midieron (mm) con vernier digital (Mitutoyo CD-6 CSX, Japan) (Ramírez *et al.*, 2013). Se consideró como germinación (ISTA, 2015) a la formación de plántulas normales (PNOR) (Figura 1). A fin de obtenerlas, las semillas fueron desinfectadas (alcohol 70% e hipoclorito de sodio 3%), colocadas entre toallas de papel absorbente humedecido a saturación (ISTA, 2015) e incubadas (Mediatech MTAC26, EEUU) durante 15 días a 25°C. Se contaron (%) las plántulas producidas y se pesó (mg) la radícula (PFR), la plúmula (PFP) y la plántula completa (PFT) en balanza analítica (AE Adam PW 184, EEUU, precisión 1×10^{-4} g).

Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones de 100 semillas. Los datos se sometieron a ANDEVA y comparación de medias (Tukey, $P \leq 0,05$). Se realizó análisis de componentes principales para establecer la contribución relativa de las variables estudiadas al desarrollo de las semillas (los datos se ajustaron a media=0 y varianza=1; Baíllo y Grané, 2007) y solo se incluyeron las

variables significativas según el ANDEVA. Se probó ($P \leq 0,05$) el modelo de regresión múltiple: $PNOR = LIP \text{ PRO}$, donde PNOR fue la variable dependiente, y LIP y PRO las independientes.

Resultados

Las variables LIP, PRO, PNOR, VOL, PFR, PFP y PFT mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,01$) entre colectas. Todas ellas tuvieron coeficientes de variación reducidos y coeficientes de determinación elevados (54 a 94%).

Composición química parcial

En promedio, las colectas presentaron 38, 22, 16, 15, 5 y 4% de PRO, FBT, LIP, ELN, HUM y

CEN, respectivamente (Figura 2). En la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$), las colectas I y III tuvieron el contenido mayor de PRO y las colectas II y III el mayor nivel de LIP.

Volumen de semilla, plántulas normales y peso fresco

Las colectas II y III alcanzaron la proporción más alta ($P \leq 0,05$) de PNOR y de peso fresco de radícula (PFR), plúmula (PFP) y el total (PFT); mientras que la colecta III tuvo las semillas más grandes (VOL) (Figuras 3 y 4).

Análisis de componentes principales

Los valores propios de la matriz de correlación indicaron

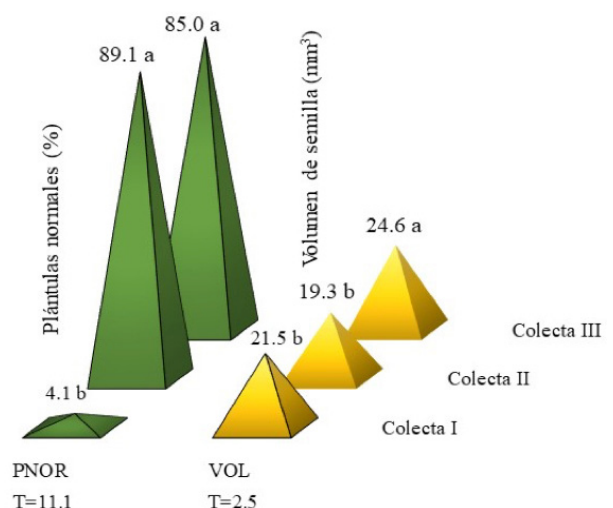


Figura 3. Comparación de medias (Tukey, $P \leq 0,05$) de las plántulas normales (PNOR) y volumen (VOL) obtenidos de las semillas de tobalá (*A. potatorum*). T: diferencia significativa honesta. Letras distintas entre colectas indicaron diferencias significativas.

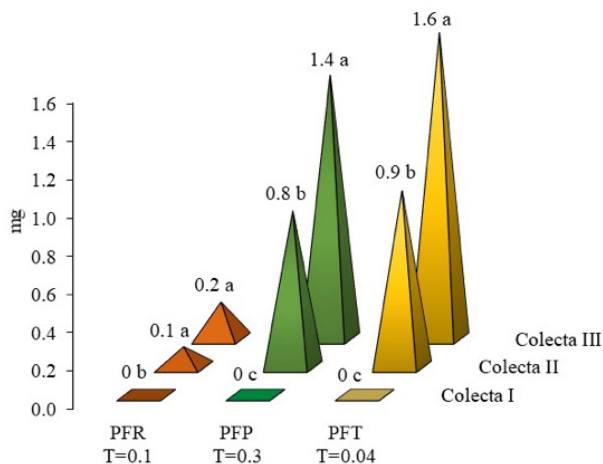


Figura 4. Comparación de medias (Tukey, $P \leq 0,05$) del peso fresco de radícula (PFR), peso fresco de plúmula (PFP) y peso fresco total (PFT) de las plántulas obtenidas de las semillas de tobalá (*A. potatorum*). T: diferencia significativa honesta. Letras distintas entre colectas indica diferencias significativas.

que los componentes principales 1 (CP 1) y 2 (CP 2) aglutinaron el 100% de la varianza experimental (73 y 27%, respectivamente); por tanto, el procedimiento fue robusto (Baíllo y Grané, 2007). En el CP 1, los vectores propios de las variables PNOR, LIP, PFR, PFP y PFT presentaron las magnitudes mayores y en el CP 2 los vectores propios mayores correspondieron a VOL y PRO (Tabla I). En la representación bidimensional de los componentes principales (Figura 5) se apreció que la colecta III se asoció positivamente con ambos, la colecta II positivamente con el CP 1 y negativamente con el CP 2, y en la colecta I la vinculación a los componentes fue opuesta a esta última.

Por la ubicación de los vectores propios de las variables en el plano cartesiano (Figura 5), el tamaño de la semilla (VOL) y el peso fresco de las plántulas (PFR, PFP y PFT) se asociaron positivamente con ambos componentes principales (cuadrante I), PNOR y LIP (cuadrante II) se relacionaron positivamente al primero y negativamente al segundo y las PRO (cuadrante III) se relacionaron de manera inversa a los componentes.

Análisis de regresión

El modelo $PNOR = LIP + PRO$ resultó significativo ($P \leq 0,05$),

explicó el 69% (R^2) de la variabilidad y develó al contenido de LIP como regresor significativo (Tabla II). Los coeficientes de regresión estandarizados, que estimaron la aportación de cada variable al modelo de regresión, fueron de -0,46 para PRO y de 0,49 para LIP.

Discusión

En promedio de colectas, la HUM fue del 5%, valor similar al 7% reportado para semillas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck (Peña-Valdivia *et al.*, 2006). Se obtuvo una proporción alta de lípidos (16%) y proteínas (38%); por tanto, las semillas fueron oleoproteaginosas, como girasol (*Helianthus annuus* L.), colza (*Brassica napus* L.), soya (*Glycine max*,

TABLA I
VECTORES PROPIOS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES 1 Y 2 DE LAS VARIABLES ANALIZADAS EN LAS SEMILLAS DE *A. potatorum*

Variable	Componente 1	Componente 2
PNOR	0,4308	-0,1627
PFR	0,4247	0,2016
PFP	0,4299	0,1687
PFT	0,4293	0,1727
VOL	0,1163	0,7038
LIP	0,4233	-0,2092
PRO	-0,2686	0,5793

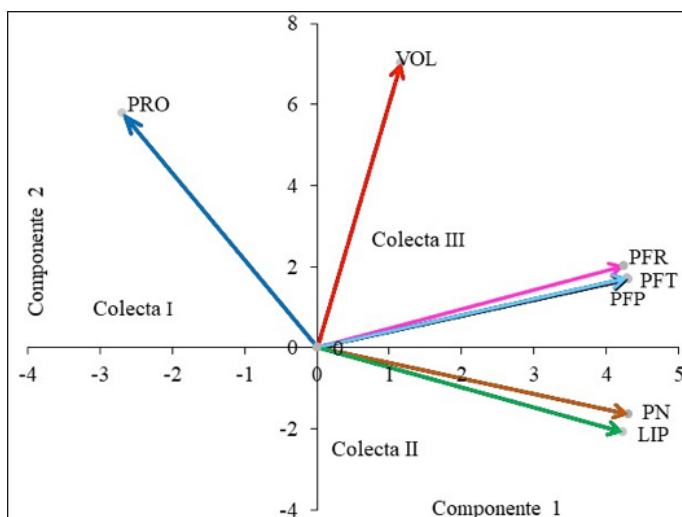


Figura 5. Representación bidimensional (colectas y variables) de los componentes principales 1 y 2 obtenidos para las semillas de tobalá (*A. potatorum*).

haba (*Vicia faba* L.), chícharo (*Pisum sativum* L.), veza (*Vicia sativa* L.), etc. (Jasinski *et al.*, 2018). También los contenidos (%) de HUM (5), CEN (4), LIP (16) y FIB (22) fueron análogos a los reportados para semillas (oleoproteaginosas) de tomate

de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) (Belén-Camacho *et al.*, 2004).

Entre colectas, las semillas fueron diferentes ($P \leq 0,05$) en contenido de LIP y PRO, tamaño (VOL), capacidad para formar plántulas completas

TABLA II
ANÁLISIS DE REGRESIÓN CONSIDERANDO LÍPIDOS (LIP) Y PROTEÍNAS (PRO) COMO DETERMINANTES DE LA FORMACIÓN DE PLÁNTULAS NORMALES (PNOR) EN LAS SEMILLAS *A. potatorum*

Variable	Coefficiente de regresión	Error estándar	P	Coefficiente de regresión estandarizado
LIP	41,03	18,10	*	0,49
PRO	-17,07	8,04	ns	-0,46
Intercepto	58,36			
Modelo	Cuadrados medios		**	CV (%)
PNOR = LIP + PRO	Modelo	6425,1		R ² (%)
	Error	645,5		42,8
				69

* Significativo ($P \leq 0,05$), ** Altamente significativo ($P \leq 0,01$), ns: no significativo, CV: coeficiente de variación y R^2 : coeficiente de determinación.

(PNOR) y en el peso fresco de éstas (PFR, PFP y PFT), lo que se atribuye a la variabilidad existente en el área muestreada (Pérez *et al.*, 2006) y es favorable para la supervivencia de la especie. Las diferencias en LIP y PRO serían debidas a la variación genética (Baud y Lepiniec, 2010; Jiménez *et al.*, 2013) y al ambiente de producción (Pérez *et al.*, 2006). Li *et al.* (2017) refieren que la radiación solar y la temperatura imperantes durante el llenado de grano actúan sobre la acumulación de lípidos.

Las colectas II y III, almacenadas respectivamente por 6 y 17 meses, mostraron una producción elevada de PNOR (87% en promedio), característica que se redujo significativamente en la colecta I (4%), con 29 meses desde la recolecta. Todas las semillas tuvieron contenido alto de LIP, bajo de HUM y se almacenaron bajo las mismas condiciones ambientales. La pérdida de viabilidad indicaría que fueron recalcitrantes (Magnitskiy y Plaza, 2007; Berjak y Pammenter, 2010).

Las CEN y la FBT son estructurales (minerales, celulosa, hemicelulosa y lignina), mientras que el ELN agrupa almidón, glucosa y sacarosa (Aceró, 2007), compuestos que aportarían energía a la germinación (Baud y Lepiniec, 2010); sin embargo, es más probable que los LIP, cuyo contenido se redujo junto con la capacidad germinativa, hayan sido la fuente energética para dicho proceso. Esto explicaría la germinación exigua de las semillas con mayor tiempo de recolecta (colecta I), porque se ha comprobado que los ácidos grasos constituyentes de la membrana celular se degradan en tiempos breves, por lo que la longevidad de las semillas oleaginosas es reducida (Zheng y Ma, 2014) y las plántulas provenientes de semillas envejecidas crecen poco y lentamente (Marcos-Filho, 2015).

Se ha establecido que las semillas con contenidos de humedad reducidos son más longevas (Magnitskiy y Plaza, 2007); sin embargo, la

disminución rápida de viabilidad de las semillas recolectadas sería atribuible a su contenido elevado de LIP y no a su contenido de humedad. Estos resultados coinciden con el argumento de que es complicado clasificar las semillas por su tolerancia al almacenamiento (Berjak y Pammenter, 2010), sobre todo en especies silvestres poco estudiadas y peculiares como el tobalá.

El tamaño de las semillas (VOL) varió significativamente entre colectas (Figura 3), aspecto reportado para distintas especies silvestres (Garrido *et al.*, 2005) y que denota también la variación de la especie. El tamaño de semilla se relaciona con la acumulación de nutrientes (Pérez *et al.*, 2006) que se emplean en la reactivación del crecimiento del embrión y el desarrollo de las plántulas. Las semillas más grandes y con menor tiempo de recolecta (colecta III) produjeron más plántulas con mayor peso fresco, lo que coincide con lo reportado por Pérez *et al.* (2006), quienes aducen que el tamaño de la semilla no determina su calidad biológica, pero sí influye en el desarrollo de las plántulas formadas, puesto que contienen más reservas.

Los resultados evidenciaron que el tiempo transcurrido después de la recolecta incidió negativamente sobre el metabolismo germinativo. Al respecto, se ha documentado que el envejecimiento provoca reducciones en la viabilidad de las semillas y en el desarrollo de las plántulas, aunque se desconocen los cambios moleculares específicos (Radha *et al.*, 2014).

En el análisis de componentes principales, el CP 1 explicó el 73 % de la variación experimental; sus vectores propios importantes correspondieron a los LIP, PNOR y peso fresco de las plántulas, destacando que la contribución relativa de los LIP y de PNOR al desarrollo de las semillas fue semejante (Tabla I). En el CP 2 destacaron el tamaño de semilla (VOL) y el contenido de PRO. En la colecta III, que se ubicó en el cuadrante 1 (Figura 5) y

sobresalió la producción (PNOR) y crecimiento de plántulas (PFR, PFP y PFT); ambos componentes (positivos) se integraron favorablemente; esto es, en la capacidad fisiológica para formar plántulas y para que éstas incrementen su peso fresco, modelada por el CP 1, mientras que el tamaño de la semilla (VOL) y el contenido de PRO, representados en el CP 2, confluyeron favorablemente para el desarrollo de las semillas; en contraste, dicha integración fue deficiente en las colectas I y II, por lo que su desempeño metabólico fue reducido.

En el análisis de regresión (Tabla II), el regresor determinante ($P \leq 0,5$) de la formación de PNOR fue el contenido de LIP, hecho que confirmó la relevancia de este elemento para el desarrollo de las semillas, y también que las PRO fueron adversas para este proceso, puesto que su coeficiente de regresión estandarizado fue negativo. La competencia metabólica para acumular LIP o PRO en las semillas ha sido reportada para *Arabidopsis thaliana* (Jasinski *et al.*, 2018) y girasol (Li *et al.*, 2017).

Conclusiones

Las semillas de tobalá (*A. potatorum*) fueron oleoproteaginosas y recalcitrantes. El contenido de lípidos y la germinación disminuyeron con el tiempo de recolecta y la producción de plántulas dependió esencialmente de los lípidos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional las facilidades y el financiamiento otorgado (Proyecto SIP 20190198) para esta investigación. A la COFAA por el financiamiento para esta publicación.

REFERENCIAS

Aceró GMG (2007) *Manual de Prácticas de Bromatología*. Centro de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México. 88 pp.

Aguirre-Dugua X, Eguiarte LE (2013) Genetic diversity, conservation and sustainable use of wild *Agave cupreata* and *Agave potatorum* extracted for mescal production in Mexico. *J. Arid Environ.* 90: 36-44. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2012.10.018

AOAC (2005) *Official Methods of Analysis*. 18^a ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburgh, MD, EEUU.

Baíllo MA, Grané CA (2007) *100 Problemas Resueltos de Estadística Multivariante (Implementados en Matlab)*. Delta. Madrid, España. 193 pp.

Baud S, Lepiniec L (2010) Physiological and developmental regulation of seed oil production. *Prog. Lipid Res.* 49: 235-249. DOI: 10.1016/j.plipres.2010.01.001

Belén-Camacho DR, Sánchez ED, García D, Moreno-Álvarez MJ, Linares O (2004) Características fisicoquímicas y composición en ácidos grasos del aceite extraído de semillas de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) variedades roja y amarilla. *Grasas Aceites* 55: 428-433.

Berjak P, Pammenter NW (2010) Semillas ortodoxas y recalcitrantes. En *Manual de Semillas de Árboles Tropicales*. Universidad de Natal. Sudáfrica. pp. 143-155.

Bewley JD, Bradford K, Hilhorst H, Nonogaki H (2013) *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. 3^a ed. Springer. NewYork, NY, EEUU. 392 pp.

Colunga-GarcíaMarín P, Torres-García I, Casas A, Figueredo UCJ, Rangel-Landa S, Delgado-Lemus A, Vargas O, Cabrera-Toledo D, Zizumbo-Villarreal D, Aguirre-Dugua X, Eguiarte LE, Carrillo-Galván G (2017) Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. En Casas A, Torres-Guevara J, Parra-Rondinel F (Eds.) *Domesticación en el Continente Americano*. UNAM-UNALM. pp. 273-308.

Delgado-Lemus A, Casas A y Téllez O (2014) Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 10: 1-12.

Galicia L, Nurit E, Rosales A, Palacios RN (2009) *Laboratory Protocols: Maize Nutrition Quality and Plant Tissue Analysis Laboratory*. CIMMYT. El Batán, México. 42 pp.

García-Herrera EJ, Méndez-Gallegos SJ, Talavera-Magaña D (2010) El

- género *Agave* spp. en México: Principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Salud Públ. Nutr.* 5: 109-129.
- García-Mendoza AJ (2010) Revisión taxonómica del complejo *Agave potatorum* Zucc. (Agavaceae): nuevos taxa y neotipificación. *Acta Bot. Mex.* 91: 71-93.
- Garrido JL, Rey PJ, Herrera CM (2005) Fuentes de variación en el tamaño de la semilla de la herbácea perenne *Helleborus foetidus* L. (Ranunculaceae). *An. Jard. Bot. Madrid* 62: 115-125.
- ISTA (2015) *International Rules for Seed Testing*. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. 296 pp.
- Jasinski S, Chardon F, Nesi N, Lécureuil A, Guerche P (2018) Improving seed oil and protein content in Brassicaceae: some new genetic insights from *Arabidopsis thaliana*. *OCL* 25: D603.
- Jiménez PP, Masson SL, Quitral RV (2013) Composición química de semillas de chia, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Rev. Chil. Nutr.* 40: 155-160.
- Li WP, Shi HB, Zhu K, Zheng Q, Xu Z (2017) The quality of sunflower seed oil changes in response to nitrogen fertilizer. *Agron. J.* 109: 2499-2507. DOI: 10.2134/agronj2017.01.0046
- Magnitskiy SV, Plaza GA (2007) Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agron. Colomb.* 25: 96-103.
- Marcos-Filho J (2015) Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Sci. Agr.* 72: 363-374.
- Palma F, Pérez P, Meza V (2016) *Diagnóstico de la Cadena de Valor Mezcal en las Regiones de Oaxaca*. COPLADE - Gobierno del Estado de Oaxaca, México. <http://www.coplade.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2017/04/Perfiles/AnexosPerfiles/6.20CV%20MEZCAL.pdf> (Cons. 01/05/2020).
- Peña-Valdivia CB, Sánchez-Urdaneta AB, Aguirre RJR, Trejo C, Cárdenas E, Villegas MA (2006) Temperature and mechanical scarification on seed germination of "maguey" (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Sci. Technol.* 34: 47-56.
- Pérez MC, Hernández LA, González CFV, García de los SG, Carballo CA, Vázquez RTR, Tovar GMR (2006) Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agric. Téc. Mex.* 32: 341-352.
- Plascencia de la TMF, Peralta GLM (2018) Análisis histórico de los mezcales y su situación actual, desde una perspectiva ecomarxista. *Eutopia* 23: 23-42.
- Pukacka S, Ratajczak E (2006) Antioxidative response of ascorbate-glutathione pathway enzymes and metabolites to desiccation of recalcitrant *Acer saccharinum* seeds. *J. Plant Physiol.* 163: 1259-1266.
- Radha BN, Channakeshava BC, Bhanuprakash K, Panduranga GKT, Ramachandrapa BK, Munirajappa R (2014) DNA damage during seed ageing. *J. Agric. Vet. Sci.* 7: 34-39.
- Ramírez JA, García de los SG, Carballo CA, Castillo GFV, Serratos JA, Cadena ÍJ (2013) Caracterización morfológica de una muestra etnográfica de maíz (*Zea mays* L.) raza bolita de Oaxaca. *Rev. Mex. Cs. Agric.* 4: 895-907.
- Ramírez-Tobías HM, Niño VR, Aguirre RJR, Flores J, De-Nova VJA, Jarquín GR (2016) Seed viability and effect of temperature on germination of *Agave angustifolia* subsp. *tequilana* and *A. mapisaga*; two useful *Agave* species. *Genet. Resour. Crop Evol.* 63: 881-888.
- Ramírez-Tobías HM, Peña-Valdivia CB, Aguirre RRG, Reyes-Agüero JA, Sánchez-Urdaneta AB, Valle GS (2012) Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. *Plant Sp. Biol.* 27: 124-137.
- Rangel-Landa S, Casas A, Dávila P (2015) Facilitation of *Agave potatorum* Zucc.: An ecological approach for assisted population recovery. *Forest Ecol. Manag.* 347: 57-74.
- SEMARNAT (2002) *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. México, DF. 73 pp.
- Torres I, Casas A, Delgado LA, Rangel-Landa S (2014) Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, México: Aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable. *Zonas Áridas* 15: 92-109.
- Vázquez DE, García NJR, Peña VCB, Ramírez THM, Morales RV (2011) Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Rev. Fitotec. Mex.* 34: 167-173.
- Zheng YL, Ma HC (2014) Effects of seed aging on seed germination and seed reserve utilization in mumian. *HortTechnology* 24: 471-474.