



Observaciones fenológicas, características del aceite e isoterma de equilibrio de las semillas de *Myroxylon peruiferum* (Fabaceae)¹

Phenological observations, oil characteristics and equilibrium isotherm of *Myroxylon peruiferum* seeds (Fabaceae)

Diego Aguilar-Sandi², Guillermo Solano-Quesada³, Ester Vargas-Ramírez³, Andrés Antonio Monge-Vargas³,
Andrea Irías-Mata³, Luis Barboza-Barquero³

¹ Recepción: 22 de junio, 2022. Aceptación: 1 de noviembre, 2022. Este proyecto fue auspiciado por el Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica.

² Universidad de Costa Rica, Programa de Posgrado en Biología, 2060 Montes de Oca, San José, Costa Rica. diego.aguilarsandi@ucr.ac.cr (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-3909-5425>).

³ Universidad de Costa Rica, Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS), 2060 Montes de Oca, San José, Costa Rica. guillermo.solano@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0001-7687-5434>), ester.vargas15@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-7651-1961>), andresantonio.monge@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-4596-5637>), andrea.iriasmata@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-3789-3247>), luisorlando.barboza@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-4140-6598>).

Resumen

Introducción. La información fenológica sobre *Myroxylon peruiferum* en Costa Rica es escasa. Además, se desconocen las características del aceite y la isoterma de equilibrio de las semillas. El conocimiento generado en este campo permitirá realizar un adecuado manejo de las semillas; y generar opciones de prospección del aceite. **Objetivos.** (i) Documentar un evento de floración y fructificación de un árbol de *M. peruiferum*. (ii) Determinar las características del aceite del fruto y la semilla. (iii) Generar una isoterma de absorción/des-absorción de agua. **Materiales y métodos.** De marzo a mayo de 2021, se documentó la floración y fructificación de un árbol de *M. peruiferum* en Montes de Oca, San José, Costa Rica. Los frutos maduros se recolectaron entre junio y julio. Se caracterizó el contenido de aceite de los frutos y de las semillas por separado. Se elaboró una isoterma de absorción/des-absorción de agua, con la que se probó el ajuste de la ecuación de Cromarty. **Resultados.** El periodo de floración, fructificación y dispersión duró cinco meses. Estas fenofases ocurrieron simultáneamente. El ácido oleico fue el principal ácido graso. Hubo una correlación significativa entre los porcentajes de ácidos grasos del aceite del fruto y el de la semilla, y entre los contenidos de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. El aceite es amarillo, medianamente intenso y luminoso. Al incrementar la humedad relativa, el contenido de humedad de las semillas aumentó. La relación lineal entre los valores reales y los obtenidos mediante la ecuación de Cromarty fue de $R^2 = 0,93$. **Conclusión.** La recolección de frutos maduros puede realizarse entre marzo y agosto, y destinarlos a estudios de germinación, propagación y prospección del aceite. Ya establecida la relación entre la humedad relativa y contenido de humedad de la semilla, se pueden desarrollar estudios sobre almacenamiento de semillas y pérdida de viabilidad.

Palabras clave: floración, fructificación, contenido de aceite, contenido de humedad, ecuación de Cromarty.



Abstract

Introduction. Phenological information on *Myroxylon peruiiferum* in Costa Rica is scarce. In addition, the characteristics of the oil and the equilibrium isotherm are unknown. The knowledge generated in this field will allow proper seed management and generate oil prospecting options. **Objectives.** (i) To document a flowering and fruiting event of a single *M. peruiiferum* tree. (ii) To determine the characteristics of the fruit and seed oil. (iii) To generate a water absorption/de-absorption isotherm. **Materials and methods.** From March to May 2021, the flowering and fruiting of *M. peruiiferum* tree was documented in Montes de Oca, San Jose, Costa Rica. Mature fruits were collected between June and July. The oil content of fruits and seeds was characterized separately. A water absorption/de-absorption isotherm was elaborated, with which the fit of the Cromarty equation was tested. **Results.** The flowering, fruiting, and dispersal period lasted five months. These phenophases occurred simultaneously. Oleic acid was the main fatty acid. There was a significant correlation between the percentages of fatty acid in the fruit and seed oil, and between the contents of saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids. The oil is yellow, moderately intense, and luminous. As relative humidity increased, seed moisture content also increased. The linear relationship between the actual values and those obtained using the Cromarty equation was $R^2= 0.93$. **Conclusion.** Mature fruit can be harvested between March and August, and be used for germination, propagation and oil prospecting studies. Once the relationship between relative humidity and seed moisture content is established, studies on seed storage and viability loss can be developed.

Keywords: flowering, fruiting, oil content, moisture content, Cromarty equation.

Introducción

Myroxylon L. f. es un género de árboles de la familia Fabaceae al que pertenecen dos especies, *Myroxylon balsamum* (L.) Harms y *Myroxylon peruiiferum* L. f. (Bagnatori Sartori et al., 2015). En Costa Rica, es posible encontrar poblaciones naturales de ambas, así como individuos cultivados en sitios urbanos (Aguilar-Sandí, 2020). La presencia de *M. peruiiferum* en el país se confirmó en 2019. Antes de ese año lo usual era confundir los árboles de esta especie con los de *M. balsamum* (Aguilar-Sandí, 2019).

Dicha confusión taxonómica queda atestiguada en dos estudios pioneros realizados en el país. El primero corresponde a una tesis de licenciatura en la que se investigó el potencial de la resina obtenida de *M. peruiiferum* para producir benceno y estireno; no obstante, la resina provenía de árboles de *M. balsamum* (Quirós Madriz, 1984). El segundo es una nota técnica en la que se evaluó la germinación de semillas de *M. balsamum*, pero el material vegetal utilizado pertenecía a *M. peruiiferum* (Rojas-Rodríguez & Torres-Córdoba, 2014).

Los frutos de *M. peruiiferum* son sámaras con el ala en posición proximal y la cámara seminífera en posición distal (Bagnatori Sartori et al., 2015; Nunes Vidal, 1978). Cada fruto puede tener una o dos semillas, las cuales son reniformes, tienen la testa rugosa y están recubiertas de resina (Aguilar-Sandí, 2019; 2020). Las propiedades medicinales de la corteza, frutos y resina de esta especie se conocen desde el siglo XVIII (Maldonado & Esposto, 1920). En un estudio reciente se determinó que los aceites esenciales aislados de *M. peruiiferum* son efectivos contra la leishmaniasis (Andrade et al., 2016). Con lo cual, esta especie posee atributos que pueden beneficiar al ser humano. Además, su madera se ha utilizado en construcción y mueblería (Galíndez et al., 2015).

Se conoce poco sobre el periodo de floración y fructificación de *M. peruiiferum* en Costa Rica. Además, todavía no se han determinado las características del aceite ni la isoterma de equilibrio de las semillas. El conocimiento que se pueda generar en este campo permitirá realizar un adecuado manejo, recolección y almacenamiento de las semillas, acciones que contribuirán con la conservación de esta especie. Asimismo, se genera información de utilidad para la prospección del aceite obtenido del fruto y de la semilla.

Uno de los factores determinantes en el almacenamiento de semillas es el contenido de humedad, el cual se puede estimar con la ecuación de Cromarty (Cromarty et al., 1982), mediante la relación que se establece entre el contenido de humedad de la semilla y la humedad relativa de equilibrio a una temperatura constante, factor conocido como isoterma (Bradford et al., 2016). Sin embargo, para aplicar esta ecuación es necesario conocer el contenido de aceite de la semilla (Cromarty et al., 1982), aspecto que aún no está disponible en la literatura para *M. peruiiferum*.

Con base en lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron (i) documentar un evento de floración y fructificación de un árbol de *M. peruiiferum*, (ii) determinar las características del aceite del fruto y la semilla, y (iii) generar una isoterma de absorción/des-absorción de agua.

Materiales y métodos

Observaciones fenológicas y recolecta de frutos

De marzo a mayo de 2021, se observó y documentó el proceso de floración y fructificación de un árbol de *M. peruiiferum* ubicado en el campus de la Universidad de Costa Rica (UCR) en Montes de Oca, San José, Costa Rica (1200 m s.n.m., 09°56'22,4"N, 84°02'53,1"O). Luego, entre junio y julio de ese mismo año, se procedió a recolectar frutos maduros directamente del suelo, ya que los frutos al madurar se desprenden del árbol de forma natural.

En el herbario Luis A. Fournier Origgi (USJ) se encuentra depositada una muestra herborizada procedente de este árbol, la cual fue recolectada en febrero de 2019 (Ejemplar *Aguilar-Sandí 6*).

Determinación del contenido de aceite y caracterización

El contenido de aceite se determinó en el Centro para Investigaciones en Granos y Semillas de la Universidad de Costa Rica (CIGRAS-UCR). La medición del color se realizó en la Escuela de Tecnología de Alimentos (UCR). El perfil de ácidos grasos se contrató al Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA-UCR).

Se trabajó con el fruto completo (pericarpo + semilla) y con la semilla separada del pericarpo. Ambas partes se secaron a 70 °C durante 4 h, posteriormente se trituraron en nitrógeno líquido con ayuda de un mortero y pistilo. Para lograr un menor tamaño de partícula, se molieron y homogeneizaron con un procesador de alimentos.

Para determinar el contenido de aceite se realizó una extracción con disolvente (hexano) a pequeña escala. Se realizaron cuatro repeticiones de la extracción, para lo cual se usó una muestra compuesta por varios frutos y semillas, por separado, previamente procesados. Se pesaron 0,5 g de muestra y se mezclaron con 5 mL de hexano en un baño ultrasónico durante 1 h a 50 °C y a máxima potencia de ultrasonido. Posterior a la extracción, se centrifugó el extracto por 10 min a 4000 rpm y 15 °C, y se decantó el sobrenadante a otro tubo de centrifuga. Se repitió la centrifugación para purificar el sobrenadante de partículas remanentes, la capa orgánica se trasvasó a un tubo de vidrio previamente pesado. El extracto se secó en una centrifuga con evaporación al vacío por 30 min. Los tubos de vidrio con el aceite se pesaron para determinar la masa por diferencia. El porcentaje de aceite se calculó como la relación porcentual entre la masa de aceite y la masa de muestra molida en base seca.

Se midió por cuadruplicado el color del aceite con un colorímetro ColorflexEZ (Hunter Lab), operado con el software SpectraManager. Se midió el color con la escala CIE-L*C*h°, se utilizó un ángulo de observador de 10 ° y un iluminante D65. La muestra de aceite se colocó en una cubeta de vidrio recubierta en el exterior con un anillo negro aislante de luz y se cubrió con una tapa metálica. Se registraron los parámetros de luminosidad (L*), saturación de color (C*) y tono (h°). Un valor de L* mayor que 50 y cercano a 100 indica mayor claridad del color. Los valores de C* van de 0 a 100 y son indicativos de la intensidad del color. Mientras que valores de h° entre 80 y 100 se asocian a tonos amarillo-naranja.

El perfil de ácidos grasos para el fruto y la semilla se determinó por medio de cromatografía de gases con detección de ionización de llama (GC-FID), basado en los métodos AOAC 996.06 y AOCS Ce 1e-91. El método consiste en la extracción y esterificación del aceite utilizando éter de petróleo y trifluoruro de boro, respectivamente. El extracto resultante compuesto por ésteres metílicos de los ácidos grasos se analizó por GC-FID para su identificación y cuantificación.

Elaboración de la isoterma de absorción/des-absorción de agua

Se extrajeron semillas de los frutos maduros y se incubaron en frascos de vidrio herméticos (diez semillas por frasco), a los cuales se les reguló la humedad con soluciones de cloruro de litio (Hay et al., 2008), esto para el intervalo de humedades entre 50 y 87 %. Para las humedades entre 1,6 y 29 % se utilizó zeolita dosificada a la humedad deseada (Bradford et al., 2018). Las semillas se incubaron de dos a tres semanas hasta alcanzar la humedad de equilibrio.

El monitoreo de las semillas se hizo con un registrador de datos inalámbrico (Hobo MX2301), que se colocó dentro de los frascos junto con las semillas, el cual registró datos de humedad y temperatura cada 30 s. Todos los frascos estuvieron en una cámara de germinación a una temperatura constante de $30,7 \pm 0,1$ °C.

Una vez alcanzada la humedad de equilibrio, se procedió a sacar las semillas de los frascos y a calcular su contenido de humedad. Esto se hizo colocando las muestras (por triplicado) en un horno de convección interna durante 24 h a 103 °C (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009). Para estimar el contenido de humedad en equilibrio de las semillas, se utilizó la ecuación de Cromarty (Cromarty et al., 1982) (ecuación 1).

$$M_e = \{(1 - D_0) \times \sqrt{[-440 \times \ln(1 - R)]}\} / [1,1 + (T/90)] \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde, M_e es el contenido de humedad de equilibrio (con base en peso seco), D_0 es el contenido de aceite de la semilla (en fracción de peso seco), R es la humedad relativa (en fracción), y T es la temperatura (en °C). Todo el procedimiento se realizó en el CIGRAS-UCR.

Análisis estadístico

El promedio, la desviación estándar, las pruebas de t de Student, las correlaciones de Pearson y el modelado de la ecuación de Cromarty, se realizaron con el software RStudio versión 1.2.5033 (RStudio Team, 2019).

Para las pruebas t de Student, se utilizaron tres grados de libertad ($n - 1$; para $n=4$) y un valor de significancia de 95 % ($\alpha < 0,05$), donde la hipótesis nula es que no hay diferencias en el promedio del contenido de aceite y la hipótesis alternativa es que sí existen diferencias. Para las correlaciones de Pearson, se probó la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilks, y al ser los datos normales, se aplicó la prueba con un nivel de significancia de 95 % ($P < 0,05$).

El ajuste de la ecuación de Cromarty se corroboró mediante una regresión lineal. La normalidad de los residuos se verificó con un gráfico Q-Q y la homocedasticidad mediante un diagrama de dispersión.

Resultados

Observaciones fenológicas

Las observaciones iniciaron el 05 de marzo de 2021. En ese momento, el árbol presentaba abundante follaje e inflorescencias con botones florales, flores en antesis y frutos en sus primeras etapas de desarrollo (Figuras 1A,

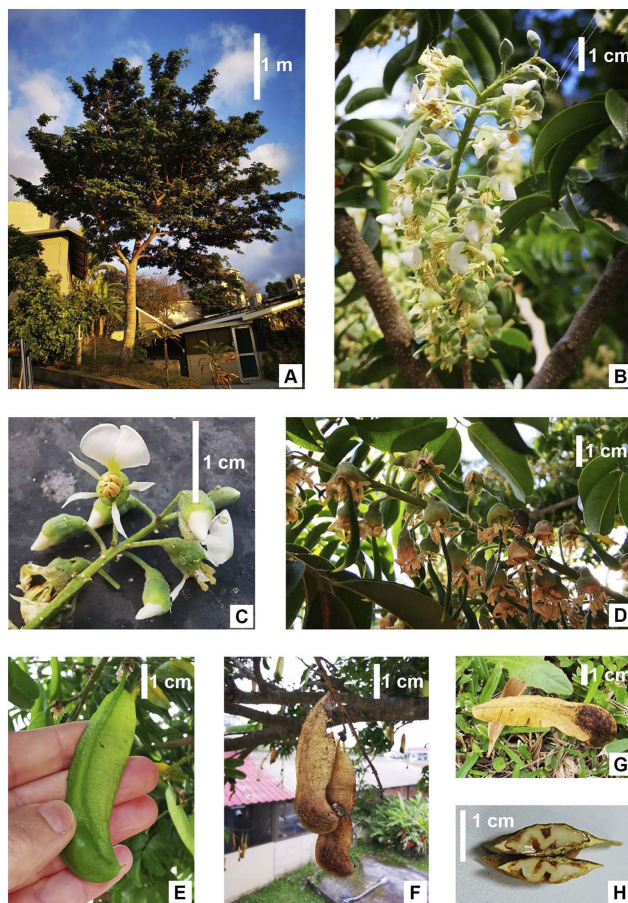


Figura 1. Fases fenológicas de un árbol de *Myroxylon peruiiferum*. (A) Fuste y copa del árbol (05 marzo 2021), (B) botones florales, flores en antesis e inicio del desarrollo de los frutos (05 marzo 2021), (C) detalle de la sección apical de una inflorescencia, botones florales y flores en antesis (05 marzo 2021), (D) cálices, corolas y androceos marchitos, gineceos alargados (12 marzo 2021), (E) fruto inmaduro, cámara seminífera globosa, restos del androceo y del cáliz (05 abril 2021), (F) frutos maduros, cámara seminífera aplanada, restos del cáliz y del pedicelo (31 mayo 2021), (G) abscisión y dispersión del fruto maduro (31 mayo 2021), (H) corte transversal de la cámara seminífera. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2022.

Figure 1. Phenological phases of a *Myroxylon peruiiferum* tree. (A) Trunk and crown of the tree (March 05, 2021), (B) Flower buds, flowers in anthesis, and beginning of fruit development (March 05, 2021), (C) Detail of the apical section of an inflorescence, flower buds, and flowers in anthesis (March 05, 2021), (D) Withered calyces, corollas and androecium, elongated gynoecium (March 12, 2021), (E) Immature fruit, globose seed-chamber, remains of the androecium and calyx (05 April 2021), (F) Mature fruits, flattened seed-chamber, remains of calyx and pedicel (May 31, 2021), (G) Abscission and dispersion of the mature fruit (May 31, 2021), (H) Cross section of the seed-chamber. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2022.

B y C). Una semana después, predominaban inflorescencias de flores con cálices, corolas y androceos marchitos, y gineceos alargados (Figura 1D). Transcurrido un mes, los gineceos se habían transformado en frutos inmaduros, los cuales mostraban un color verde brillante y cámaras seminíferas globosas (Figura 1E).

Los frutos maduros se caracterizan por tener una coloración café-amarillenta y cámaras seminíferas aplanadas (Figura 1F). Luego de dos meses, el árbol presentaba tanto frutos en proceso de maduración como frutos completamente maduros unidos a las ramas (Apéndice S1), así como abscisión y dispersión de estos (Figura 1G). Al hacer un corte transversal de la cámara seminífera de un fruto maduro, se observó la rugosidad de la testa de la semilla y la resina que la recubre (Figura 1H). El aspecto general de semilla se muestra en la Figura 2A.

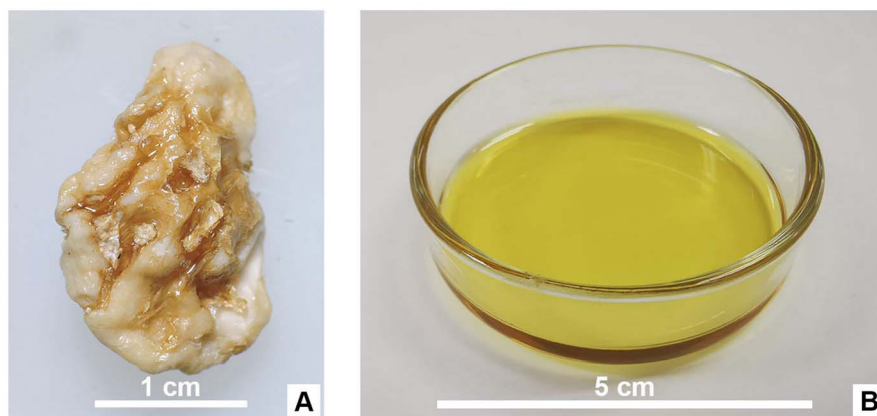


Figura 2. Aspecto general de una semilla de *Myroxylon peruiiferum* (A) y del aceite obtenido (B). Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2022.

Figure 2. General appearance of a *Myroxylon peruiiferum* seed (A) and of the oil obtained (B). Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2022.

En ningún momento se observó caída evidente de follaje. Tampoco hubo una transición marcada entre fases fenológicas, sino que estas se dieron de forma simultánea. La maduración de los frutos y su abscisión cesó a finales de julio e inicios de agosto de 2021. Con lo cual, el ciclo de floración, fructificación y dispersión tuvo una duración de cinco meses.

Determinación del contenido de aceite y caracterización

El contenido total de aceite fue mayor en el fruto completo ($23,6 \pm 1,3$ %) que en la semilla ($18,6 \pm 0,9$ %) ($t=6,30$; g.l. = 3, $P<0,05$); aunque el aceite proveniente de la semilla representó el 79 % del contenido total del fruto. El ácido oleico en el fruto (46,7 %) y en la semilla (63 %), fue el principal ácido graso, seguido por el ácido linoleico (17,9 y 9,2 %) y el palmítico (11,3 y 16,1 %) (Cuadro 1).

Se encontró una correlación significativa entre los porcentajes de ácidos grasos del aceite del fruto y el de la semilla ($r=0,9665$, $P<0,05$). Además, en el aceite de la semilla se detectaron trece ácidos grasos en pequeñas cantidades que no se encontraron en el fruto completo, los cuales representan un 13 % del contenido total de ácidos grasos del aceite.

También se encontró una correlación significativa entre los contenidos relativos de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados entre el aceite del fruto y el de la semilla ($r=0,9996$, $P<0,05$). Los porcentajes de cada tipo de ácido graso se muestran en el Cuadro 2. Esto indica que la diferencia entre el contenido de aceite entre ambas estructuras no influyó en el perfil de ácidos grasos y, por lo tanto, en la composición del aceite.

Los parámetros de color obtenidos fueron $L^*= 67,68 \pm 0,00$, $C^*= 47,62 \pm 0,03$ y $h^\circ= 91,17 \pm 0,01$. Estos valores describen un aceite de color amarillo, medianamente intenso y luminoso (Figura 2B), que coincide con lo observado mediante inspección visual. En relación con el perfil de ácidos grasos, donde predominan los monoinsaturados, la textura del aceite es fluida a temperatura ambiente.

Cuadro 1. Perfil de ácidos grasos del fruto completo y de la semilla de *Myroxylon peruiiferum*. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2022*.

Table 1. Fatty acid profile of the whole fruits and seeds of *Myroxylon peruiiferum*. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2022*.

Perfil de ácidos grasos	Código	Fruto completo (%)	Semilla (%)
Ácido oleico	C18:1	46,7 ± 7,9	63,0 ± 11,0
Ácido linoleico	C18:2	17,9 ± 3,0	9,2 ± 1,6
Ácido palmítico	C16:0	11,3 ± 1,9	16,1 ± 2,7
Ácido tridecanoico	C13:0	6,5 ± 1,1	0,11 ± 0,02
Ácido alfa-linolénico	C18:3	2,8 ± 0,5	1,3 ± 0,2
Ácido esteárico	C18:0	2,7 ± 0,5	4,1 ± 0,7
Ácido araquídico	C20:0	1,7 ± 0,3	1,2 ± 0,2
Ácido cis-11-eicosenico	C20:1	1,5 ± 0,3	2,1 ± 0,4
Ácido láurico	C12:0	1,1 ± 0,2	0,038 ± 0,007
Ácido undecanoico	C11:0	0,8 ± 0,1	0,040 ± 0,007
Ácido margárico	C17:0	0,6 ± 0,1	0,21 ± 0,04
Ácido cáprico	C10:0	0,33 ± 0,06	0,024 ± 0,004

* Los valores corresponden a promedios ± desviación estándar (N=4). / The values correspond to means ± standard deviation (N=4).

Cuadro 2. Tipos de ácidos grasos del fruto completo y de la semilla de *Myroxylon peruiiferum*. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2022*.

Table 2. Types of fatty acids of the whole fruit and seed of *Myroxylon peruiiferum*. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2022*.

Tipo de ácidos grasos	Fruto completo (%)	Semilla (%)
Saturados	28,5 ± 2,7	23,6 ± 2,2
Monoinsaturados	48,2 ± 3,7	65,7 ± 5,0
Poliinsaturados	23,3 ± 2,2	10,7 ± 1,0

* Los valores corresponden a promedios ± desviación estándar (N=4). / The values correspond to means ± standard deviation (N=4).

Elaboración de la isoterma de absorción/des-absorción

Las semillas se incubaron a distintas humedades hasta alcanzar la humedad de equilibrio a una temperatura constante de 30 °C (Figura 3A). Se observó que, al incrementar la humedad relativa, el contenido de humedad de las semillas también aumentó (Figura 3B). Con los datos del contenido de aceite de las semillas, se procedió a estimar el contenido de humedad a partir de la humedad relativa, mediante la ecuación de Cromarty. La relación lineal entre los valores reales y los obtenidos fue de $R^2=0,93$ ($t=8,69$, $P=0,0001$, error estándar =0,17, RMSE=2,58).

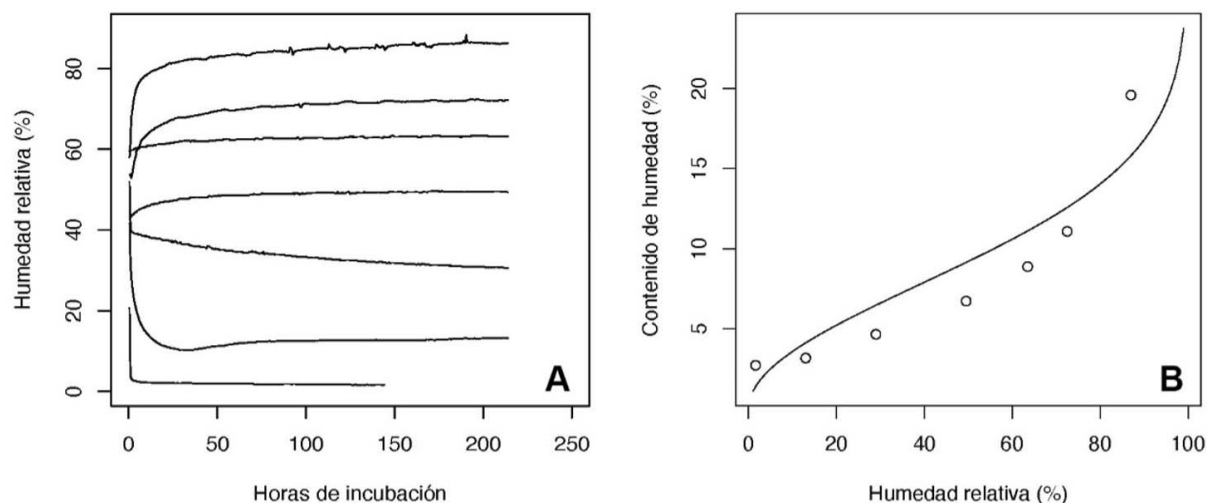


Figura 3. Humedad relativa del recipiente en que se incubaron las semillas de *Myroxylon peruiiferum* hasta llegar al equilibrio (A). Relación entre la humedad relativa con el contenido de humedad a una isoterma de 30 °C (B). Los puntos son los datos observados. La curva indica el ajuste de la ecuación de Cromarty a partir de la humedad de equilibrio. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2022.

Figure 3. Relative humidity of the container in which the *Myroxylon peruiiferum* seeds were incubated until reaching equilibrium (A). Relationship between relative humidity and moisture content at an isotherm of 30 °C (B). The dots are the observed data. The curve indicates the fit of the Cromarty equation from the equilibrium moisture. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 2022.

Discusión

En general, la floración de *M. peruiiferum* sucede de junio a septiembre y la fructificación de agosto a noviembre (Bagnatori Sartori et al., 2015). Sin embargo, dicha información se deriva de un gran número de ejemplares de herbario, recolectados a lo largo de la distribución geográfica de la especie (desde México hasta el norte de Argentina y sur de Brasil). En consecuencia, esa información no permite observar la variación de los patrones fenológicos en un país o región específica. Por ejemplo, se ha reportado que en Argentina los árboles de esta especie producen flores de agosto a octubre y frutos de octubre a diciembre (Galíndez et al., 2015).

Si bien no existe un estudio a largo plazo sobre la fenología de *M. peruiiferum* en Costa Rica, los datos obtenidos coinciden con los primeros reportes fenológicos generados en otras localidades del país (Aguilar-Sandí, 2020). De donde se deduce que la floración inicia en febrero y la fructificación se extiende hasta octubre. No obstante, esta es la primera vez que se documenta un evento de floración y fructificación completo de un árbol de *M. peruiiferum* en Costa Rica.

El contenido total de aceite, el perfil y la composición de ácidos grasos del fruto y la semilla de *M. peruiiferum*, no habían sido reportados previamente. En comparación con otros aceites comestibles, las semillas de esta especie poseen un contenido de aceite y una composición de ácidos grasos similar al del aceite de oliva (16,9–47,4 % de contenido de aceite), 15–21 % de ácidos grasos saturados, 64–76 % de ácidos grasos monoinsaturados y 9–16 % de ácidos grasos poliinsaturados, con el ácido oleico como principal ácido graso (61–75 % en el aceite de oliva) (Noorali et al., 2014; Samman et al., 2008). Con esto, se pueden desarrollar más estudios para evaluar el uso potencial del aceite de las semillas de *M. peruiiferum* como producto comestible.

La ecuación de Cromarty puede utilizarse para predecir de forma indirecta el contenido de humedad de las semillas de *M. peruiiferum*. Esta ecuación tiene una buena capacidad de predicción en un intervalo entre 20 y 70

% de humedad (Bradford et al., 2016), lo cual se ajusta a los resultados observados en este estudio. El uso de papeles indicadores de humedad es un método económico para saber la humedad a la que están almacenadas las semillas (Bradford et al., 2016). Un método que permita determinar el contenido de humedad de las semillas es una herramienta de gran utilidad para determinar las necesidades de secado que requiere un lote y preservar su calidad (Camacho Garcia et al., 2004). Como regla general, por cada reducción de un 1,0 % en la humedad de las semillas, su longevidad se verá duplicada durante el almacenamiento, además, se indica que esta respuesta también se puede esperar para cada reducción de 5 °C en la temperatura (McDonald, 2007). Esto resalta la importancia de conocer estos dos factores para la conservación adecuada de las semillas.

Conclusión

Este trabajo documentó un evento de floración y fructificación de un árbol de *M. peruiferum*. Esto permitió contar con frutos maduros para cuantificar el contenido de aceite y la isoterma de absorción/des-absorción de agua de las semillas, aspectos que no estaban reportados en la literatura.

Con la información generada se pueden planificar acciones dirigidas a la recolección de frutos maduros, entre marzo y agosto, y destinarlos a estudios de germinación, propagación y prospección de esta especie. Una vez establecida la relación entre la humedad relativa y contenido de humedad de la semilla, se pueden desarrollar estudios sobre almacenamiento de semillas y pérdida de viabilidad en el tiempo.

Material suplementario

El Apéndice S1 [Árbol de *Myroxylon peruiferum* (Fabaceae) en periodo de fructificación, video en formato mp4], se encuentra disponible en <https://doi.org/10.5281/zenodo.6359897>

Referencias

- Aguilar-Sandí, D. (2019). El árbol *Myroxylon peruiferum* (Fabaceae), nuevo registro en la flora de Costa Rica. *UNED Research Journal*, 11(3), 424–429. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i3.2722>
- Aguilar-Sandí, D. (2020). Sinopsis del género *Myroxylon* (Fabaceae) en Costa Rica. *Phytoneuron*, 2020-20, 1–10. <https://bit.ly/3bby6zi>
- Andrade, M. A., dos Santos Azevedo, C., Motta, F. N., dos Santos, M. L., Lasse Silva, C., Martins de Santana, J., & Bastos, I. M. D. (2016). Essential oils: *in vitro* activity against *Leishmania amazonensis*, cytotoxicity and chemical composition. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16, Article 444. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1401-9>
- Bagnatori Sartori, A. L., Lewis, G. P., de Freitas Mansano, V., & Goulart de Azevedo Tozzi, A. M. (2015). A revision of the genus *Myroxylon* (Leguminosae: Papilionoideae). *Kew Bulletin*, 70, Article 48. <https://doi.org/10.1007/s12225-015-9604-7>
- Bradford, K. J., Dahal, P., & Bello, P. (2016). Using relative humidity indicator paper to measure seed and commodity moisture contents. *Agricultural & Environmental Letters*, 1(1), Article 160018. <https://doi.org/10.2134/ael2016.04.0018>
- Bradford, K. J., Dahal, P., Van Asbrouck, J., Kunusoth, K., Bello, P., Thompson, J., & Wu, F. (2018). The dry chain: Reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.002>

- Camacho Garcia, D. C., Souza Albuquerque Barros, A. C., Teichert Peske, S., & Lemos de Menezes, N. (2004). A secagem de sementes. *Ciência Rural*, 34(2), 603–608. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000200045>
- Cromarty, A. S., Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1982). *The design of seed storage facilities for genetic conservation*. International Board for Plant Genetic Resources. <https://bit.ly/3OhrZZ3>
- Galíndez, G., Malagrina, G., Ceccato, D., Ledesma, L., Lindow-López, L., & Ortega Baes, P. (2015). Dormición física y conservación *ex situ* de semillas de *Amburana cearensis* y *Myroxylon peruiferum* (Fabaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 50(2), 153–161. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v50.n2.11660>
- Hay, F. R., Adams, J., Manger, K., & Probert, R. (2008). The use of non-saturated lithium chloride solutions for experimental control of seed water content. *Seed Science and Technology*, 36(3), 737–746. <https://doi.org/10.15258/sst.2008.36.3.23>
- Maldonado, A., & Esposto, N. (1920). Contribución al estudio del *Myroxylon peruiferum* Lin. fil. (Conclusión). *Anales de la Facultad de Medicina*, 6, 153–185. <https://doi.org/10.15381/anales.v6i0.10640>
- McDonald, M. B. (2007). Seed moisture and the equilibrium seed moisture content curve. *Seed Technology*, 29(1), 7–18. <https://www.jstor.org/stable/23433589>
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). Regras para análise de sementes. <https://bit.ly/3zU7Wvn>
- Noorali, M., Barzegar, M., & Sahari, M. A. (2014). Sterol and fatty acid compositions of Olive Oil as an indicator of cultivar and growing area. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(9), 1571–1581. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2497-z>
- Nunes Vidal, W. (1978). Considerações sobre as sâmaras que têm ala paranuclear. *Rodriguésia*, 30(47), 109–168. <https://www.jstor.org/stable/23493246>
- Quirós Madriz, R. A. (1984). *Potencial del bálsamo del Perú para la producción de aromáticos (Myroxylon peruiferum L. f.)* [Tesis de licenciatura, no publicada]. Universidad de Costa Rica.
- Rojas-Rodríguez, F., & Torres-Córdoba, G. (2014). Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción. Chirraca (*Myroxylon balsamum*). Nota Técnica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 11(27), 76–78. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v11i27.1783>
- RStudio Team. (2019). *RStudio: Integrated development environment for R*. RStudio. R Foundation. <http://www.rstudio.com>
- Samman, S., Chow, J. W. Y., Foster, M. J., Ahmad, Z. I., Phuyal, J. L., & Petocz, P. (2008). Fatty acid composition of edible oils derived from certified organic and conventional agricultural methods. *Food Chemistry*, 109(3), 670–674. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.067>