

Relación del tamaño de la sámara con la dispersión de *Gallesia integrifolia* (Phytolaccaceae) en un bosque seco tropical

Relationship of samara size with dispersal of *Gallesia integrifolia* (Phytolaccaceae) in a tropical dry forest

José Miguel Romero-Saritama ^{a*}, Karla Minga ^b, Ángel Benítez ^{a,c}

*Autor de correspondencia: ^a Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, San Cayetano alto s/n, Loja, Ecuador, tel.: +593 07 370 1444, jmromero@utpl.edu.ec

^b Universidad Técnica Particular de Loja, Maestría en Biología de la Conservación y Ecología Tropical, Loja, Ecuador.

^c Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Herbario HUTPL, Biodiversidad de Ecosistemas Tropicales - BIETROP, San Cayetano, Loja, Ecuador.

SUMMARY

Dispersion is a key element in plant life, allowing them to colonize and establish in new environments. The morphological traits involved in structures specialized in species dispersal play an important role in this process. In this work, the relationship between samara size and the distance and dispersion speed of *Gallesia integrifolia* in an enclosed environment and one with the presence of wind, at two experimental heights, was analyzed and compared. Results showed high variation and correlation among the morphological samara traits. Positive and significant relationships between the samaras dimensions were evident with the distance and speed of flight at one and two meters high in the open environment. On the other hand, a defined pattern for the enclosed environment was not found, resulting in negative relationships in the size of samaras with the distance and speed of flight at the height of one meter. Knowing the effect of morphological traits on dispersal contributes to a better understanding of seed ecology based on the morphological traits of samaras, understanding current species dispersal and distribution processes, and knowing the ability of forest plants to cope with potential future climate change scenarios in dry forests.

Keywords: wind dispersal, dry forest, dispersal distance, intra-specific variation, dispersion speed.

RESUMEN

La dispersión es un elemento ecológico clave que posibilita a las plantas colonizar nuevos ambientes, existiendo varios componentes morfológicos en las semillas que tienen incidencia en los patrones de dispersión. En el presente estudio se analizó la relación del tamaño de la sámara en el comportamiento de dispersión de *Gallesia integrifolia*, distribuida en un bosque seco. Se midió diferentes rasgos morfológicos en las sámaras y se las liberó desde dos alturas experimentales *ex situ* dentro de un ambiente con presencia de viento y en otro sin viento, procediendo a medir la velocidad de descenso y distancia de dispersión. Los resultados mostraron alta variación morfológica de la sámara, encontrando correlaciones significativas entre el tamaño de la sámara con la distancia y velocidad de dispersión. En condiciones de viento, las sámaras más grandes se dispersaron a mayor distancia en las dos alturas de liberación. En cambio, en el ambiente sin viento se encontró una correlación negativa cuando fueron expuestas a menor altura. La velocidad de caída de las sámaras fue más lenta cuando se liberó la sámara a una mayor altura en los dos tipos de ambiente. Conocer el efecto de la morfología en la dispersión, contribuye a comprender mejor la ecología de semillas basado en rasgos morfológicos y a entender los procesos actuales de dispersión y distribución de las especies vegetales.

Palabras clave: anemocoría, bosque seco, distancia de dispersión, variación intraespecífica, velocidad de dispersión.

INTRODUCCIÓN

Las semillas, son el componente más complejo y el método exitoso de la reproducción sexual en plantas vasculares. Presentan alta diversidad morfológica en sus atributos cuantitativos y cualitativos; determinados por diferentes componentes genéticos, condiciones ambientales y por los recursos que la planta madre asigna para la producción de

las semillas (Leishman *et al.* 2000). La variabilidad de los rasgos morfológicos presente en las semillas ha tenido un efecto en la germinación, establecimiento de plántulas y en las estrategias que usan las plantas para su dispersión en tiempo y distancia.

Las especies dispersadas por el viento han desarrollado estructuras morfológicas que ayudan a reducir la velocidad de descenso de las semillas y viajar por corrientes de

aire por un determinado tiempo. Entre estas estructuras constan; la presencia de pelos y sámaras, que permiten a las plantas mejorar su capacidad de dispersión y colonización de nuevos sitios, reducir la presión por competencia y alcanzar nichos que favorezcan la regeneración (Wenny 2001), lo que, a su vez, permite dar forma a las comunidades, determinando patrones de distribución, configuración del paisaje, invasiones de plantas y procesos evolutivos (Howe y Miriti 2004, Planchuelo *et al.* 2016).

Por su parte, las sámaras son unos frutos típicos estructuralmente adaptado a la dispersión anemócora, caracterizados por una gran variabilidad morfológica que influye en los patrones de dispersión de las diferentes especies; encontrándose presentes en 25 órdenes, 45 familias y 140 géneros de angiospermas (Der Weduwen y Ruxton 2019). En este contexto, algunos estudios han documentado que no hay una relación entre el tamaño de la sámara y procesos de dispersión (Delgado *et al.* 2009, Augspurger *et al.* 2016), mientras que, otros estudios mencionan que hay un efecto positivo en la velocidad de descenso con las estructuras dispersadas por el viento, incluidas las sámaras (Sipe y Linnerooth 1995, Planchuelo *et al.* 2016). Un ejemplo de esto se da en la especie *Ailanthus altissima* (Miller) Swingle, donde las variables morfológicas tienen un efecto significativo en la determinación de las capacidades de vuelo de la sámara (Planchuelo *et al.* 2016). Siguiendo este mismo patrón, Vander (2003) identifica en semillas aladas de pinos que el tamaño grande disminuye la dispersión por el viento. Por lo tanto, una mejor comprensión de los rasgos de las sámaras de las especies forestales es esencial para poder predecir el destino de la semilla (Der Weduwen y Ruxton 2019), conocer su capacidad de adaptarse, recuperarse y recolonizarse después de eventos climáticos cambiantes o desfavorables (Der Weduwen y Ruxton 2019), especialmente en zonas áridas donde las condiciones de estrés ambiental pueden jugar un rol importante en el establecimiento de las especies vegetales.

Gallesia integrifolia (Spreng.) Harms (Phytolaccaeae), es un árbol caducifolio de 18 a 20 m de altura, con frutos tipo sámara de aproximadamente 3 cm y con una sola semilla en su interior (Rajput *et al.* 2012, Romero-Saritamá y Draper 2017). No obstante, en el presente estudio se encontró sámaras de uno a más de tres cm de largo. La sámara de *G. integrifolia* posee glándulas productoras de esencias con olor característico similar al ajo que puede percibirse a varios metros de distancia. El aceite esencial de los frutos tiene un excelente desempeño en el control fungistático y fungicida de varios hongos, considerándose una alternativa potencial para reducir el uso de fungicidas sintéticos (Raimundo *et al.* 2018). En cambio, la especie tiene un alto potencial forestal y su madera es duradera (Carvalho 1994), siendo utilizada en carpintería, construcciones y leña, las hojas son buen forraje para el ganado (Aguirre 2012). En zonas degradadas ayuda a la regeneración natural debido a la intensa producción y dispersión de frutos anemocóricos (Barbosa y Pizo 2006).

En Ecuador, *G. integrifolia* se encuentra distribuida en los bosques secos de las provincias de Loja, El Oro y Guayas entre 0 y 1.000 m s.n.m. (Aguirre 2012). Estos bosques han sido altamente intervenidos y fragmentados debido a presiones antrópicas (Romero-Saritamá y Pérez Ruiz 2016). Estudios sobre la dispersión anemócora de especies forestales presentes en el país han sido escasos. El conocimiento de cómo la estructura y tamaño de la sámara influye en la dispersión de la especie, mejoraría enormemente nuestra comprensión sobre el potencial de dispersión, la dinámica de la población, los cambios en el rango geográfico, las invasiones y las respuestas de la especie a los cambios en el hábitat y el clima (Horn *et al.* 2001). Además, dado el futuro incierto de cambios climáticos globales, se hace necesario acelerar estudios sobre la ecología de la dispersión de las especies vegetales forestales en ambientes de estrés ambiental. No obstante, estudios controlados con sámaras en ambientes naturales han resultado difíciles de realizar (Nathan *et al.* 2008), ya sea por la presencia de turbulencia de viento (Ladera y Pineda 2009), altura de las plantas o vegetación circundante. Si bien, se han realizado esfuerzos para medir directamente la dispersión a través de experimentos de campo marcando las diásporas con pintura (Von der Lippe *et al.* 2013, Cabra-Rivas *et al.* 2014) o utilizando trampas a distintas distancias del árbol parental (Bullock y Clarke 2000), los propios autores mencionan que, los experimentos de campo han presentado variables difíciles de controlar.

En tal virtud, esta investigación explora *ex situ*, los efectos del tamaño de la sámara de *Gallesia integrifolia* sobre la dispersión en dos escenarios experimentales, con presencia y ausencia de viento y en dos alturas de liberación. Proponiendo las siguientes preguntas; a) ¿Las sámaras de mayor tamaño favorecen a una mayor distancia de dispersión con una tasa de descenso menor? b) ¿Existe un efecto de la altura de lanzamiento y la presencia de viento sobre la distancia y velocidad de dispersión en función del tamaño de las sámaras? En este marco, nuestra hipótesis está enmarcada en que las sámaras de mayor tamaño tendrán mayor superficie de contacto con el aire circundante permitiéndoles permanecer más tiempo suspendidas, lo que provocaría una mayor distancia de dispersión a una velocidad más lenta, posibilitando que la sámara se aleje más de la planta madre en condiciones de viento.

MÉTODOS

Recolección de sámaras. Durante julio de 2019 se recolectaron al azar aproximadamente 2.000 sámaras maduras (en procesos de dispersión) de 10 individuos distribuidos en un remanente de bosque seco al sur occidente de la provincia de Loja – Ecuador (4° 2' 12,2" S, 79° 46' 2,3" E). El área presenta una temperatura media anual de 20 a 26 °C, se caracteriza por una estación lluviosa desde diciembre a abril y una estación seca de mayo a noviembre, con una precipitación media anual de 500 mm (Espinosa *et al.* 2011). Las sámaras, luego de su recolección se mezclaron

para formar un solo lote que, posteriormente, se almacenó en recipientes herméticos a temperatura ambiente hasta su uso. Los frutos dañados fueron descartados en el estudio.

Tamaño de sámara. Del total de lote recolectado se utilizó una muestra al azar de 200 sámaras y se las separó individualmente en recipientes herméticos. Las sámaras fueron fotografiadas frontalmente y se usó una regla como escala para la referencia del tamaño. Posteriormente, mediante el programa de acceso libre ImageJ del Instituto de Salud Nacional de EE. UU. (NIH 2021), se procedió a medir el tamaño que incluyó; largo total de la sámara (parte alada más estructura correspondiente a la semilla - Lt), largo (La) y ancho de la parte alada (Aa), largo (Ls) y ancho de la estructura considerada semilla (As) (figura 1). Adicionalmente, se calculó el área (A) y determinó el peso (P) de la sámara mediante una balanza de precisión (marca Sartorius de cinco dígitos). Todos los ensayos fueron realizados en el laboratorio de Botánica de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Ensayo de dispersión. Primeramente, se seleccionaron dos escenarios experimentales *ex situ*; A) un ambiente cerrado (AC) en ausencia de viento y B) un ambiente abierto (AA) con influencia de viento. Los ensayos en ambiente cerrado se realizaron en el laboratorio de Botánica de la Universidad Técnica Particular de Loja - Ecuador, donde se evitó la presencia de corrientes de aire. El ambiente abierto consis-

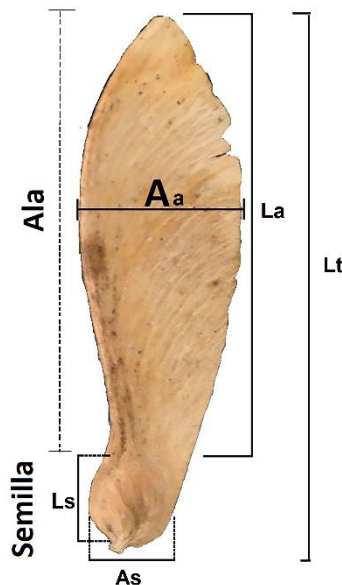


Figura 1. Vista de la estructura, forma y variables medidas en la sámara de *G. integrifolia*. Lt= Largo total de la sámara (parte alada + estructura correspondiente a la semilla). Aa = Ancho del ala, La = Largo ala, Ls = Largo semilla y As = Ancho semilla.

View of the structure and asymmetrical samara shape. Morphological traits measured in the *Gallesia integrifolia* samara. LT = total samara length (winged part + structure corresponding to the seed). L = Length, A = wide of both wing and seed.

tió en un lugar con presencia de viento dentro del campus universitario donde se registraron velocidades de viento entre 3,2 y 4,2 m s⁻¹. durante el experimento. Posteriormente, se utilizaron dos alturas controladas de lanzamiento de las sámaras; a uno y dos metros (Moussa *et al.* 2014). Identificados los escenarios y las alturas correspondientes, se procedió a soltar cada sámara por dos ocasiones, procediendo a medir con un cronómetro el tiempo (segundos) de descenso (caída libre) de las sámaras hasta la llegada al suelo (Greene y Johnson 1993). Así mismo, se registró en metros, la distancia horizontal de recorrido desde el punto de lanzamiento hasta el punto de caída. Este proceso se lo realizó para toda la muestra de sámaras previamente medidas. El tiempo transcurrido entre el primer y segundo lanzamiento de la sámara varió entre 1,5 a 5 minutos.

Análisis de datos. Previo al modelo y correlación se verificó la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk ($P < 0,05$). En cuanto a la correlación, todas las variables independientes (Largo total (Lt), Largo del ala (La), Ancho del ala (Aa), Largo semilla (Ls), Ancho de semilla (As), Peso (P) y Área (A)) presentaron un coeficiente de correlación de Spearman alto y significativo ($\rho \geq 0,30$), por ello, se seleccionó la variable largo total de la sámara para ejecutar los modelos estadísticos. Para determinar los efectos de las variables independientes largo de la sámara, ambiente y altura sobre las variables dependientes velocidad y distancia de dispersión se realizó un Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM) de medidas repetidas (Pinheiro y Bates 2000, Norden *et al.* 2007) con la función “lme”, debido a que las semillas estuvieron anidadas a las variables altura y ambiente. En el modelo se incluyó velocidad / distancia en función de largo total, distancia y altura como factores fijos y semilla como factor aleatorio. El ajuste del modelo se realizó con máxima verosimilitud restringida (REML) y la selección del mejor modelo en base al criterio de información de Akaikei (AIC). Finalmente, se realizó una prueba de comparaciones múltiple entre pares de ambientes y alturas relacionadas con la distancia y velocidad utilizando la función “lsmeans” del paquete estadístico “lsmeans”. Todos los análisis se realizaron con el entorno de programación R Project (R Development Core Team 2011).

RESULTADOS

Las sámaras de *G. integrifolia* presentaron un rango de variación de 11,4 a 30,9 mm de largo con 3,41 a 12,1 mm de ancho, siendo el largo total (Lt), largo (La) y ancho del ala (Aa) y área, los rasgos que presentaron mayor variación ($> 23\%$) (cuadro 1). En cambio, dentro de las variables de dispersión, los valores en la distancia a uno y dos metros en un ambiente cerrado mostraron altas variaciones (cuadro 2).

Los análisis mostraron que existe correlaciones significativas ($P < 0,005$) entre el tamaño de las sámaras y la distancia de dispersión (figura 2). En el ambiente con presencia de viento (AA), las sámaras más grandes se dispersan

Cuadro 1. Media \pm desviación estándar y coeficiente de variación de los diferentes rasgos morfológicos estudiados. n = 200.
 Average \pm standard deviation and coefficient of variation of morphological traits recorded in samaras. n = 200.

Variable	Media y desviación estándar	Coefficiente de variación %
Largo total (mm)	21,22 \pm 5,60	26,41
Largo ala (mm)	16,31 \pm 5,19	31,80
Largo semilla (mm)	4,90 \pm 0,75	15,32
Ancho ala (mm)	7,32 \pm 1,69	23,13
Ancho semilla (mm)	4,88 \pm 0,63	12,83
Área (mm ²)	101,36 \pm 47,80	47,15
Peso (g)	0,04 \pm 0,01	21,75

Cuadro 2. Media \pm desviación estándar (coeficiente de variación - %) de los parámetros de dispersión estudiados en los dos ambientes experimentales. n = 200.

Average \pm standard deviation (coefficient of variation - %) of the studied dispersion parameters in both experimental environments. n = 200.

	Altura	Distancia (m)		Velocidad (m/s)	
		1 m	2 m	1 m	2 m
Ambiente	Cerrado	0,34 \pm 0,31 (90,60)	0,27 \pm 0,25 (92,09)	0,60 \pm 0,08 (13,96)	1,21 \pm 0,19 (16,03)
	Abierto	0,47 \pm 0,18 (37,41)	0,67 \pm 0,16 (23,88)	0,95 \pm 0,17 (18,02)	1,56 \pm 0,19 (12,39)

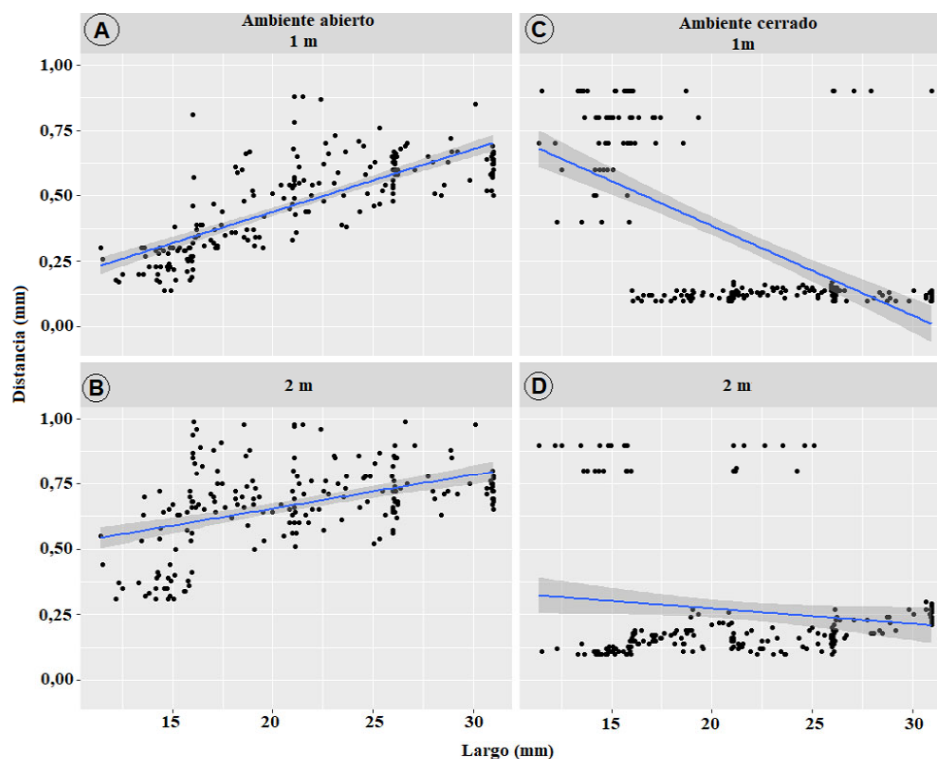


Figura 2. Correlación del largo total (Lt) con la distancia de dispersión de las sámaras en los ambientes experimentales y según las dos alturas utilizados en el estudio.

Relationship of the size and dispersal distance of the samaras in the two environments studied and in the experimental heights.

a una mayor distancia y aquellas liberadas a mayor altura su distancia de dispersión aumentó (figura 2B), aunque, con una menor fuerza de correlación ($r^2 = 0,48$) que las liberadas a un metro ($r^2 = 0,81$). En cambio, en un ambiente cerrado (AC) (figura 2C, 2D), se evidenció una correlación negativa entre el tamaño de la sámara y la distancia de dispersión a un metro ($r^2 = -0,56$). A diferencia de las liberadas a mayor altura, donde las sámaras más grandes se dispersaron a una mayor distancia. En ambas alturas del ambiente cerrado, los coeficientes de correlación fueron menores y las distancias de dispersión más cortas que las identificadas en el ambiente abierto.

Con respecto a la relación del tamaño de la sámara con la velocidad de dispersión (figura 3), se encontró correla-

ciones altas positivas entre estas dos variables ($P < 0,005$), a excepción de las sámaras liberadas a un metro en el ambiente cerrado (figura 3C), donde, no se evidenció ninguna correlación ($r^2 = 0,12$). En cambio, las sámaras más grandes caen más despacio cuando son liberadas a mayor altura y en presencia de viento (figura 3A y 3B)

El GLMM señaló que el tamaño y el ambiente cerrado influyeron negativamente en la distancia de recorrido de las sámaras, mientras que, la altura, ya sea de uno o de dos metros y el ambiente abierto influyó positivamente en la distancia de dispersión (cuadro 3).

Por otra parte, los análisis mostraron que la velocidad de dispersión fue afectada positivamente por el tamaño de las sámaras cuando fueron expuestas a las dos alturas y

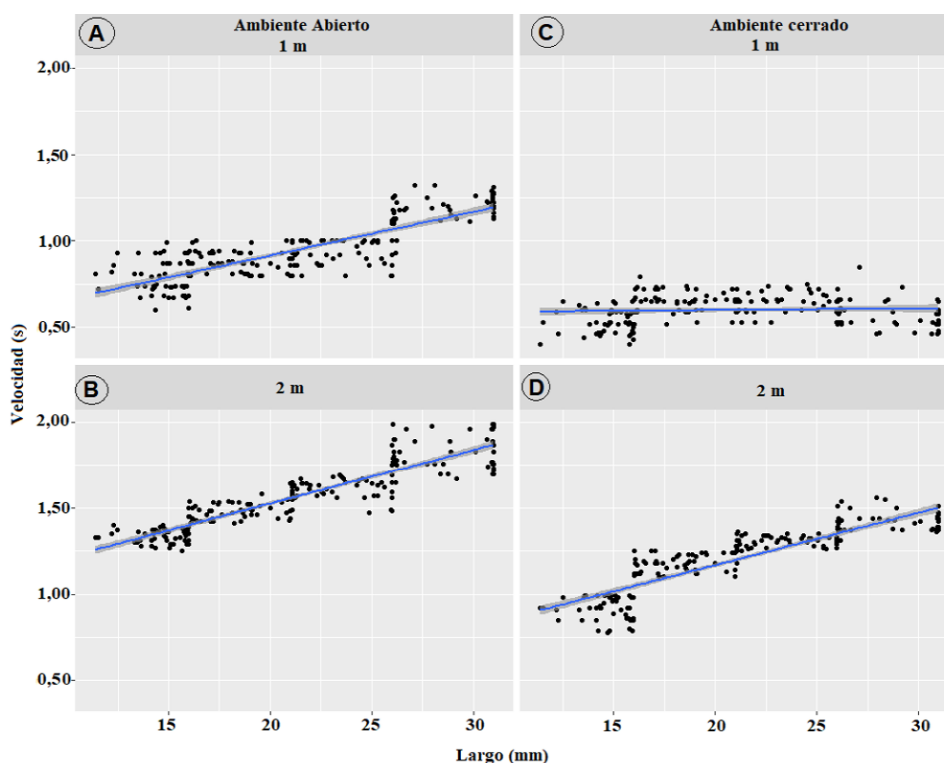


Figura 3. Correlación del largo total (Lt) con la velocidad de dispersión de las sámaras en los ambientes y alturas utilizados en el estudio.
 Relationship of the size and dispersion speed of the samaras in the two environments studied and in the experimental heights.

Cuadro 3. Resultados del LMM de la distancia en función del tamaño, altura y ambiente.

GLMM results of distance based on size, range, height and environment.

Factores	Estimador	Error estándar	Estadístico T	Valor-p
Largo Total	-0,001	0,002	-0,50	0.616
Altura 1m	0,555	0,036	15,57	0,001
Altura 2m	0,616	0,036	17,30	0,001
AC	-0,264	0,017	-15,46	0,001
AA	0,555	0,036	15,57	0,001

al ambiente abierto. A diferencia del escenario sin viento donde se evidenció una influencia negativa en la velocidad de dispersión de las sámaras (cuadro 4).

Asimismo, al realizar las comparaciones múltiples entre las dos alturas de lanzamiento de las sámaras y los ambientes abierto y cerrado se identificó la existencia de diferencias significativas ($P < 0,05$) con respecto a la velocidad y distancia de dispersión de las sámaras (cuadro 5).

DISCUSIÓN

El estudio de rasgos morfológicos regenerativos permite entender la capacidad de adaptación, dispersión, germinación, colonización y establecimiento de plantas en diferentes ecosistemas (Romero-Saritamá 2016), los mismos que, han sido poco analizados en los bosques secos tropicales sudamericanos. Nuestros resultados aportan con información para entender la anemocoría basada en rasgos morfológicos de las sámaras de especies forestales en zonas áridas.

Gallesia integrifolia presenta alta variación intraespecífica en la sámara; característica similar a la encontrada en otras especies como en *Ailanthus altissima* (Delgado *et al.* 2009) y *Platypodium elegans* J. Vogel (Augsburger *et al.* 2016). La variación morfológica en la sámara posiblemente asegura diferentes patrones de vuelo para su dis-

persión. Adicional, para la especie en estudio, se encontró una correlación positiva entre todas las variables morfológicas medidas en la sámara, lo que sugiere una relación isométrica dentro de los rasgos morfológicos de la sámara de *G. integrifolia*, es decir, un cambio en la longitud conduce necesariamente al mismo cambio proporcional en otros parámetros morfológicos (Greene y Johnson 1993). Relaciones isométricas se ha evidenciado en sámaras de *Hopea hainanensis* Merrill y Chun (Song *et al.* 2020).

Dentro de los rasgos morfológicos estudiados en sámaras, la masa y el área han sido generalmente los más utilizados para calcular el potencial de dispersión por el viento, aunque, como lo menciona Minami y Azuma (2003) no siempre han sido los más influyentes. En el caso de *G. integrifolia* el peso y el área, bajo modelos de regresión lineal presentan escasa estimación del potencial de dispersión, situación similar a la encontrada por Planchuelo *et al.* (2016), donde, esos dos rasgos no fueron grandes predictores en la estimación de la dispersión de *Ailanthus altissima*. Siendo importante que los análisis de los rasgos en la sámara deben extenderse más allá del fuerte enfoque tradicional que se tiene en el peso (Saatkamp *et al.* 2019).

Al evaluar el tamaño de las sámaras con la velocidad y distancia de dispersión, en el ambiente abierto con presencia de viento, observamos que, las sámaras más grandes a

Cuadro 4. Resultados del LMM de la velocidad en función del tamaño, altura y ambiente.

GLMM results of dispersal velocity based on size, range, height and environment.

Factores	Estimador	Error estándar	Estadístico T	Valor-p
Largo Total	0,022	0,001	30,88	0,001
Altura 1m	0,484	0,017	29,21	0,001
Altura 2m	1,095	0,017	66,15	0,001
Ambiente cerrado	-0,353	0,008	-44,45	0,001
Ambiente abierto	0,484	0,017	29,21	0,001

Cuadro 5. Comparaciones entre los ambientes en estudio y la altura en función de la velocidad y distancia.

Multiple comparisons between studied environments and height as a function of speed and distance.

Comparaciones	Velocidad			Distancia		
	Estimador	Error estándar	Valor-p	Estimador	Error estándar	Valor-p
AA 1m - AC 1m	0,347	0,017	0,001	0,124	0,023	0,001
AA 1m - AA 2m	-0,618	0,016	0,001	-0,201	0,023	0,001
AA 1m - AC 2m	-0,259	0,017	0,001	0,203	0,023	0,001
AC 1m - AA 2m	-0,965	0,016	0,001	-0,326	0,023	0,001
AC 1m - AC 2m	-0,606	0,016	0,001	0,079	0,023	0,004
AA 2m - AC 2m	0,359	0,016	0,001	0,404	0,023	0,001

AA = ambiente abierto, AC = ambiente cerrado.

diferencia de las pequeñas caen a una velocidad más lenta con una distancia de dispersión más larga, sobre todo, cuando son liberadas a una mayor altura. Esto puede deberse a que la sámara de *G. integrifolia*, al incrementar su tamaño aumenta la superficie de contacto con su entorno que, ante la presencia de viento, la sámara queda atrapada en corrientes de aire, lo que favorece a un mayor tiempo de suspensión (Buitrago y López 2015). En cambio, el tamaño de la sámara se vuelve menos explicativo con respecto a la velocidad y distancia de dispersión en un ambiente cerrado, especialmente a una menor altura de liberación. Sin embargo, al liberar la sámara a dos metros de altura, se evidencia que las sámaras más grandes presentan una tasa de velocidad similar a aquellas que fueron liberadas a menor altura en el ambiente abierto. Que las sámaras grandes caigan más lentamente en un ambiente sin viento a mayor altura de liberación; puede implicar que, tanto, la asimetría como el perfil morfológico de la sámara, le permitan, durante una mayor distancia de caída, rotar lo suficiente para mantenerse más tiempo suspendida en un ambiente estático, así, como lo demuestra Green (1980) en sámaras del género *Acer*, donde, la asimetría de las sámaras juega un rol importante en la velocidad de dispersión, influyendo en la tasa de descenso (McCutchen 1977).

Nuestros resultados muestran que en un escenario con presencia de viento favorece a una menor velocidad de caída y mayor distancia de dispersión, este mismo efecto se presenta cuando las sámaras se sueltan a una mayor altura a excepción del ambiente en calma donde la altura presenta un efecto nulo o negativo en la distancia de dispersión. En la especie *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don, que produce semillas aladas, aunque con características morfológicas diferentes a *G. integrifolia*, Wright *et al.* (1992), en un estudio de simulación, también determinaron que la altura mejora la elevación de semillas dispersadas por el viento (Wright *et al.* 1992). A pesar de que, esta relación puede tener implicaciones lógicas, hay que tomar en cuenta que, en un ambiente natural, después de la liberación de las sámaras la variación vertical y horizontal de las corrientes de aire y la colisión con la vegetación circundante puede anular el efecto de la variación de los rasgos de las sámaras (Augspurger *et al.* 2016) como se ha evidenciado en *Pinus halepensis* Mill. (Nathan *et al.* 2001).

Asimismo, el efecto positivo en la dispersión en función de la altura y tipo de ambiente con respecto al tamaño de la sámara, a diferencia de sámaras pequeñas, las más grandes se ven favorecidas cuando son liberadas a una mayor altura y en presencia de viento. En un ambiente natural, las sámaras más grandes que se encuentran en el dosel del árbol, por lo tanto, a una mayor altura de liberación, tendrían mayor posibilidad alejarse más de la planta, no solo por la misma presencia del viento, sino, porque la velocidad promedio del viento aumenta cerca de la parte superior del dosel, pudiendo impulsar a las sámaras fuera del dosel (Nathan *et al.* 2008).

CONCLUSIONES

En especies que producen alta variación morfológica en sus componentes de dispersión, como es el caso de la sámara en *G. Integrifolia*, nuestros resultados respaldan la importancia de incorporar rasgos morfológicos más allá del peso o el área de las sámaras para ayudar a predecir de la mejor manera el potencial de dispersión de las especies forestales, sobre todo, en los bosques donde las condiciones de aridez ambiental son desfavorables para el establecimiento, sobrevivencia y desarrollo de las plantas. Los datos experimentales obtenidos en *G. integrifolia* predicen que las sámaras más grandes, al tener mayor superficie de contacto con el entorno se ven favorecidas para una mayor distancia de dispersión, especialmente cuando las sámaras son liberadas a mayor altura y con presencia de corrientes de viento.

Finalmente, el efecto positivo del tamaño de las sámaras en la dispersión de *G. integrifolia* permite un acercamiento a la ecología de la dispersión de especies leñosas que producen sámaras como su medio de dispersión en los bosques secos; ecosistemas que, por su alta vulnerabilidad ecológica y proceso de cambio climático, la distribución natural de las especies se ve afectada. Por lo tanto, conocer los mecanismos por los cuales *G. integrifolia* se dispersa, podrá ayudar a mejorar los modelos que predicen la dispersión de semillas para otras especies dispersadas por el viento en las zonas áridas.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento al programa de maestría en Biología de la Conservación y Ecología Tropical del Departamento de Ciencias Biológicas de Universidad Técnica Particular de Loja. Asimismo, a los revisores anónimos que con sus comentarios permitieron mejorar el trabajo.

REFERENCIAS

- Aguirre Z. 2012. Especies forestales de los bosques secos Ecuador. Guía para su identificación. Quito, Ecuador. Ministerio del Ambiente de Ecuador. 140 p.
- Augspurger C, SE Franson, KC Cushman, HC Muller-Landau. 2016. Intraspecific variation in seed dispersal of a Neotropical tree and its relationship to fruit and tree traits. *Ecology and Evolution* 6(4): 1128-1142. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.1905>
- Barbosa KC, MA Pizo. 2006. Seed Rain and Seed Limitation in a Planted Gallery Forest in Brazil - Restoration. *Ecology* 14(4): 504-515.
- Bontemps A, EK Klein, S Oddou-Muratorio. 2013. Shift of spatial patterns during early recruitment in *Fagus sylvatica*: evidence from seed dispersal estimates based on genotypic data. *Forest Ecology and Management* 305: 67-76. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.033>
- Buitrago J, L López. 2015. Síndromes de dispersión de diásporas de las especies arbustivo y arbóreas de tres tipos de coberturas del Parque Natural Quinini, municipio de Tibacuy, Cundinamarca, Colombia. *Biodiversidad Neotropical* 5(1): 7-15.

- Bullock JM, RT Clarke. 2000. Long distance seed dispersal by wind: measuring and modelling the tail of the curve. *Oecologia* 124: 506-521.
- Cabra-Rivas I, Á Alonso, P Castro. 2014. Does stream structure affect dispersal by water a case study of the invasive tree *Ailanthus altissima* in Spain. *Management Biological Invasions* 5(2): 179-186. DOI: <http://dx.doi.org/10.3391/mbi.2014.5.2.11>
- Carvalho P. 1994. Espécies florestais brasileiras, recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Brasília, Brasil. Embrapa. 639 p.
- Delgado JA, MD Jiménez, A Gómez. 2009. Samara size versus dispersal and seedling establishment in *Ailanthus altissima* (Miller) Swingle. *Journal of Environmental Biology* 30(2): 183-186.
- Der Weduwen D, G Ruxton. 2019. Secondary dispersal mechanisms of winged seeds. *Biological Reviews* 94: 1830-1838. DOI: <https://doi.org/10.1111/brv.12537>
- Espinosa C, O Cabrera, A Luzuriaga, A Escudero. 2011. What Factors Affect Diversity and Species Composition of Endangered Tumbesian Dry Forests in Southern Ecuador. *Biotropica* 43(1): 15-22. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00665.x>
- Green D. 1980. The terminal velocity and dispersal of spinning samaras. *American Journal of Botany* 67(8): 1218-1224. DOI: <https://doi.org/10.2307/2442364>
- Greene D, E Johnson. 1993. Seed mass and dispersal capacity in wind-dispersed diaspores. *Oikos* 67(1): 69-74. DOI: <https://doi.org/10.2307/3545096>
- Horn HS, R Nathan, SR Kaplan. 2001. Long-distance dispersal of tree seeds by wind. *Ecological Research* 16(5): 877-885.
- Howe HF, MN Miriti. 2004. When seed dispersal matters. *BioScience* 54(7): 651-660. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0651:WSDMJ\]2.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0651:WSDMJ]2.CO;2)
- Ladera C, P Pineda. 2009. The physics of the spectacular flight of the *Triplaris samaras*. *Latin-American Journal of Physics Education* 3(3): 557-565.
- Leishman MR, AT Wright, AT Moles, M Westoby. 2000. The evolutionary ecology of seed size In Fernner M ed. Seed: the ecology of regeneration in plant communities. Second Edition. Sydney, Australia. Cabi. p. 31-58.
- McCutchen, C.W. 1997. The spinning rotation of ash and tulip tree samaras. *Science* 197: 691-692
- Minami S, A Azuma. 2003. Various flying modes of wind-dispersal seeds. *Journal of Theoretical Biology* 225(1): 1-14. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(03\)00216-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(03)00216-9)
- Nathan R, U Safriel, I Noy-Meir. 2001. Field validation and sensitivity analysis of a mechanistic model for tree seed dispersal by wind. *Ecology* 82(2): 374-388.
- Nathan R, FM Schurr, O Spiegel, O Steinitz, A Trakhtenbrot, A Tsoar. 2008. Mechanisms of long-distance seed dispersal. *Trends Ecology Evolution* 23(11): 638-647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.08.003>
- NIH (National Institute of Health, USA). 2021. Image J, USA. Consultado jun. 2021. Disponible en <https://imagej.nih.gov/ij/>.
- Norden N, J Chave, A Caubere, P Chatelet, N Ferroni, PM Forget, C Thébaud. 2007. Is temporal variation of seedling communities determined by environment or by seed arrival? A test in a neotropical forest. *Journal of Ecology* 95(3): 507-516.
- Pinheiro JC, DM Bates. 2000. Mixed Effects Models in S-PLUS. New York, USA. Springer. 528 p.
- Planchuelo G, P Catalán, J Delgado. 2016. Gone with the wind and the stream: dispersal in the invasive species *Ailanthus altissima*. *Acta Oecologica* 73: 31-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.02.006>
- R Development Core Team. 2011. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Consultado el 14 de ene. 2021. Disponible en <http://www.R-project.org/>.
- Raimundo K, W Campos, J Glamočlija, M Soković, J Gonçalves, G Linde, N Colauto, Z Gazim. 2018. Antifungal activity of *Gallesia integrifolia* fruit essential oil. *Brazilian Journal of Microbiology* 49(1): 229-235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.03.006>
- Rajput K, D Romeiro, E Longui, C Marcati. 2012. Development of successive cambia and structure of wood in *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms (Phytolaccaceae). *Trees - Structure and Function* 26: 1943-1950. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0762-z>
- Romero-Saritama JM. 2016. Caracterización morfofisiológica de semillas de especies leñosas distribuidas en dos zonas secas presentes en el Sur del Ecuador. *Ecosistemas* 25(2): 93-100. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.12>
- Romero-Saritama JM, D Draper. 2017. Almacenamiento y morfología de semillas. Loja, Ecuador. Ed. Loja. 156 p.
- Romero-Saritama JM, C Pérez-Ruiz. 2016. Rasgos morfológicos regenerativos en una comunidad de especies leñosas en un bosque seco tropical tumbesino. *Ecosistemas* 25(2): 59-65. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.07>
- Saatkamp A, A Cochrane, L Commander, L Guja, B Jimenez-Alfaro, J Larson, A Nicotra, P Poschold, F Silveira, A Cross, E Dalziel, J Dickie, T Erickson, A Fidelis. 2019. A research agenda for seed-trait functional ecology. *New Phytologist* 221(4): 1764-1775. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15502>
- Sipe T, A Linnerooth. 1995. Intraspecific variation in samara morphology and flight behavior in *Acer saccharinum* (Aceraceae). *American Journal of Botany* 82(11): 1412-1419. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1995.tb12678.x>
- Song YB, XL Shen-Tu, M Dong. 2020. Intraspecific Variation of Samara Dispersal Traits in the Endangered Tropical Tree *Hopea hainanensis* (Dipterocarpaceae). *Frontiers in Plant Science*. 11: 599764. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.599764>
- Vander S. 2003. Effects of seed size of wind-dispersed pines (*Pinus*) on secondary seed dispersal and the caching behavior of rodents. *Oikos* 100(1): 25-34. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.11973.x>
- Von der Lippe M, JM Bullock, I Kowarik, T Knopp, MC Wichmann. 2013. Human-mediated dispersal of seeds by the airflow of vehicles. *PLOS One* 8(1): e52733. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052733>
- Wenny D. 2001. Advantages of seed dispersal : A re-evaluation of directed dispersal. *Evolutionary Ecology Research* 3: 51-74. Consultado 13 sept. 2022. Disponible en <http://www.evolutionary-ecology.com/abstracts/v03/1226.html>
- Wright R, R Wein, B Dancik. 1992. Population differentiation in seedling root size between adjacent stands of jack pine. *Forest Science* 38(4): 777-785. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestscience/38.4.777>