

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

**Caracterización morfológica de semillas de *Tillandsia recurvata* (L.) L.
(Poales: Bromeliaceae)**

**Morphological characterization of *Tillandsia recurvata* (L.) L. seeds (Poales:
Bromeliaceae)**

Authors/Autores: Aleman-Roque, D., Valdez-Hernández, E. F., Sánchez-Carrillo, R., Juárez-Hernández, M. J., Colinas-León, M. T.

ID: e1996

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1996>

Received/Fecha de recepción: June 10th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: January 27th 2026

Available online/Fecha de publicación: February 24th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Aleman-Roque, D., Valdez-Hernández, E. F., Sánchez-Carrillo, R., Juárez-Hernández, M. J., Colinas-León, M. T. (2026). Morphological characterization of *Tillandsia recurvata* (L.) L. seeds (Poales: *Bromeliaceae*). *Revista Bio Ciencias*, 13, e1996. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1996>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original

Caracterización morfológica de semillas de *Tillandsia recurvata* (L.) L. (Poales: Bromeliaceae)

Morphological characterization of *Tillandsia recurvata* (L.) L. seeds (Poales: *Bromeliaceae*)

Caracterización *Tillandsia recurvata*

Characterization *Tillandsia recurvata*

Aleman-Roque, D. (0009-0005-9841-1645), Valdez-Hernández, E. F.* (0000-0002-0663-7024), Sánchez-Carrillo, R. (0000-0001-7738-8128), Juárez-Hernández, M. J. (0000-0002-5043-4240), Colinas-León, M. T. (0000-0003-2617-5928).

Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México–Texcoco. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. México.

***Corresponding Author:**

Edna Fabiola Valdez-Hernández. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México–Texcoco. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. México. Teléfono: (+52)311-138-41-92 *Autor de correspondencia: ednafvh5@hotmail.com, <https://fitotecnia.chapingo.mx/>

RESUMEN

Tillandsia recurvata (L.) L., epífita de amplia distribución, suele ser considerada planta parásita. Posee relevancia tanto ecológica como utilitaria; recientemente, se le han atribuido propiedades medicinales contra el cáncer y la diabetes, lo cual ha impulsado el interés por su propagación. En este contexto el presente estudio describe en las características morfológicas de la semilla y evalúa el efecto de su tamaño en la viabilidad. Se identificó el color predominante N199 Grey-Brown C (59 %) en la semilla y NN155 White Group C (60 %) en la coma, con las cartas Royal Horticultural Society. La longitud promedio fue de 2.96 mm, con un ancho de 0.27 mm y 0.59 mm de área de semilla. La coma con 1.02 mg representa la mayor masa de la semilla. La viabilidad (tetrazolio) fue del 27.8 %, y se distinguieron ocho patrones de pigmentación. La germinación fue de sólo 10.8 %, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a diferentes tamaños de semillas. El proceso germinativo se interrumpió en etapa dos-tres sin formación de plántulas. Se concluye que la caracterización morfológica integral llevada a cabo constituye un paso crítico para los programas de propagación y conservación de esta especie con potencial medicinal.

PALABRAS CLAVE:

Conservación, endospermo, viabilidad, heno motita, medicinal.

ABSTRACT

Tillandsia recurvata (L.) L., an epiphyte with wide distribution, is commonly considered a parasitic plant. It possesses both ecological and utilitarian relevance; recently, medicinal properties against cancer and diabetes have been attributed to it, which has spurred interest in its propagation. In this context, the present study describes the seed's morphological characteristics and evaluates the effect of seed size on viability. The predominant color identified was N199 Grey-Brown C (59 %) in the seed and NN155 White Group C (60 %) in the coma (seed hairs), according to the Royal Horticultural Society colour charts. The average length was 2.96 mm, with a width of 0.27 mm and a seed area of 0.59 mm². The coma, weighing 1.02 mg, represents the seed's largest mass. Viability (tetrazolium test) was 27.8 %, and eight pigmentation patterns were distinguished. Germination reached only 10.8 %, with no statistically significant differences found between the responses to different seed sizes. The germinative process was interrupted at stage two-three without seedling formation. It is concluded that the comprehensive morphological characterization carried out constitutes a critical step for the propagation and conservation programs of this species with medicinal potential.

KEY WORDS:

Conservation, endosperm, viability, ball moss, medicinal.

Introducción

A la gran riqueza de los bosques contribuyen las especies epífitas, cuya importancia se puede observar desde el punto de vista ecológico, faunístico, etnobotánico e incluso farmacológico (Lucena *et al.*, 2013; Lowe *et al.*, 2020; García-Campoy *et al.*, 2024). Algunos miembros de la familia Bromeliaceae pertenecen a este grupo y algunos además toleran severas sequías, resisten heladas y se encuentran distribuidas en diferentes hábitats, son plantas que presentan una significativa variación en cuanto a tamaño, así como el tiempo que requieren para llegar a la etapa reproductiva (Benzing, 2000), mientras algunas especies cumplen su ciclo en un año o dos, algunas se reportan en casi 100 años (Huaman-Arque *et al.*, 2022). *Tillandsia recurvata* (L.) L. es una planta epífita conocida comúnmente como heno motita, gallito, paxtle, roseta, entre otros nombres (Flores *et al.*, 2011; Pérez, 2021). Se distribuye desde el sur de Estados Unidos hasta Argentina (Véliz, 2010; Pérez, 2021); se adapta a diferentes factores de estrés como la radiación solar, el suministro de agua y la escasez de nutrientes, viviendo inclusive en cables de luz (Benzing, 2023).

Sus raíces viven por un corto período de tiempo y carecen de estructuras anatómicas capaces de retener el agua absorbida, la función de captación de agua la desempeñan sus tricomas especializados, que cubren toda la superficie foliar (Lucena *et al.*, 2013). Sus flores son autóгамas y se autopolinizan, no secretan néctar, no desprenden fragancia y no poseen apéndices de pigmentación brillante (Benzing, 2023). Según la descripción de Martelo-Solorzano *et al.* (2022) la forma de las semillas es estrechamente fusiforme y la testa madura de color marrón, presentan apéndices plumosos, formados por

numerosos pelos filiformes blanquecinos y los apéndices plumosos (coma) forman una estructura similar a un doble paracaídas; esto ayuda a la dispersión (Benzing, 2000), ya que esta adaptación aumenta la relación superficie/volumen, reduciendo la tasa de caída. Sus semillas son las que cuentan con menor cantidad de endospermo y embriones con reservas de almidón y haces vasculares lo que las hace diferentes a la mayoría de las *Tillandsias*, (Martelo-Solorzano *et al.*, 2022). Según Fernández *et al.* (1989), las semillas pierden su viabilidad rápidamente debido a las bajas reservas acumuladas, otros autores sugieren que la ausencia de reservas de endospermo podría ser una adaptación a la disponibilidad efímera de agua (forzosamente agua líquida), que germinan más rápido y requieren un tiempo más corto para el establecimiento de plántulas (Montes-Recinas *et al.*, 2012), mientras otros sólo reportan imbibición sin formación de plántulas (Martelo-Solorzano *et al.*, 2022). También se menciona un fenómeno en la especie que es la viviparidad, esto es la germinación dentro del fruto aún unido a la planta (Pérez-Noyola *et al.*, 2020). Por otro lado, al estudiar la posible relación entre la presencia de la especie y muerte de algunos forofitos se identificó la presencia de hongos de los géneros *Fusarium*, *Alternaria*, *Pestalotia*, *Phoma*, *Aspergillus* y *Bipolaris* (Amaro, 2017), los cuales podrían tener influencia en las semillas durante el proceso de germinación, mermando a los ejemplares.

Esta planta almacena agua de lluvia y también la intercepta de la neblina que se genera por la evaporación (Guevara-Escobar *et al.*, 2011), lo que hace que sea tan prolífera que llega a ser considerada oportunista (maleza) por su ecoflexibilidad (Benzing, 2023), sin embargo ello no garantiza su estabilidad en el medio ambiente, esto debido a que esta especie desde un punto de vista químico contiene terpenos, flavonoides y derivados cinámicos, y algunos compuestos aislados ilustran el potencial de esta especie como fuente de biomoléculas de interés medicinal (Lucena *et al.*, 2013; Lowe *et al.*, 2020) y son extraídas del medio; entre otros de los usos actuales destacan el ornamental, bioindicador para evaluar la calidad del aire, como forraje para la alimentación de caprinos y como alternativa de sustratos orgánicos, por mencionar algunos (Flores *et al.*, 2011; INIFAP, 2018; Mejía, 2017; De La Mora, 2020; Lowe *et al.*, 2020), la medicina ha visto en esta especie gran potencial como anticancerígenas, antitumoral, antiangiogénicas, antidiabéticas, antimicrobiana, antiespasmódico, antipirético, antiinflamatorio, cicatrizante, entre otros, llegando inclusive a patentar fórmulas a base de esta especie (Lowe *et al.*, 2012; Lowe *et al.* 2014; Lowe *et al.*, 2020; García-Campoy *et al.*, 2024). Sin embargo, al realizar todos estos estudios han sido a partir de especímenes extraídos del medio natural no cultivadas. Por lo que no hay evidencia clara sobre el ciclo de vida de esta especie, ya que, como muchas bromelias, estas se reproducen de manera sexual y asexual, generando hijuelos lo que pueden llegar a asemejar ejemplares perennes.

La caracterización de variedades agrícolas se ha basado en descriptores morfológicos, en los que se incluyen: forma, color y tamaño de semilla (Morales-Morales *et al.*, 2019). La forma de la semilla se encuentra determinada por el tipo de óvulo a partir del cual se ha formado, así como por el patrón de crecimiento que ha seguido y por la posición que ocupa en el interior del fruto (Soblechero *et al.*, 2005). En ocasiones la posición y características de las semillas pueden evidenciar o influir en el porcentaje de germinación, de allí que el objetivo de este trabajo es caracterizar las semillas de *T. recurvata* y observar si alguna de estas características influye en su viabilidad o potencial de germinación, para con ello explorar formas de manejo, conservación u otros estudios con esta especie.

Material y Métodos

Las semillas de *T. recurvata* se colectaron del campus universitario en Chapingo Estado de México. Primero se colectaron especímenes al azar de diversos hospederos tales como cactus, colorines (*Erythrina americana*), fresnos (*Fraxinus spp*) y truenos (*Ligustrum spp*). Los especímenes fueron mezclados y mantenidos en invernadero para la espera de la eclosión de los frutos, después de la dehiscencia aleatoria las semillas fueron colectadas y almacenadas a temperatura ambiente (20- 30 °C), en recipientes de plástico, hasta la toma de datos. Las variables a determinar fueron:

Color. Tanto de la coma como la semilla, fueron colocadas bajo un microscopio estereoscópico y se utilizaron las Cartas de Color de la Royal Horticultural Society (RHS).

Longitud de coma. Se realizó una torsión manual de las comas para facilitar la captura fotográfica, posteriormente las fotografías se procesaron en el programa Imaje J® (Disponible en <https://imagej.net/ij/>).

Peso. Semilla con coma. Se determinó el peso de 100 semillas en una báscula analítica Adventurer Pro AV64C (NJ. USA) con precisión de 0.0001g, con cinco replicas. De cada uno de los cinco grupos de 100 semillas se tomaron 10 semillas al azar y se formaron cinco grupos de 10 semillas, cada grupo se pesó por separado y se registraron los datos. Para evaluar la semilla sin coma, una vez realizado lo anterior, se procedió a retirar la coma de las semillas, para pesar por separado la semilla y la coma, tanto en grupos de 100 como de 10.

Número de semillas en 1 mg. Se pesó 1 mg de semillas y se cuantificó el número, esto con cinco repeticiones de las cuales se obtuvo el promedio.

Longitud, ancho de la semilla y área. Una vez retirada la coma de las semillas, se tomó nuevamente captura fotográfica y procesadas con el programa Imaje J®.

Clasificación. Para las variables longitud de coma, de semilla, ancho de semilla y área superficial, los datos fueron agrupados en intervalos con la regla de Sturges. Fórmula $K=1+3.32*\log N$, Donde: K= número de intervalos de clase. N= número de elementos de la muestra. Log= logaritmo común de base 10, para observar su distribución. Por otro lado, debido a que no todos los grupos de intervalo tenían suficiente número de semillas para realizar las pruebas de viabilidad y germinación, fueron grupadas en tres rangos de tamaño: chica (2 - 2.75 mm), mediana (2.75 - 3.5 mm), grande (3.5 - 4.25 mm).

Prueba de viabilidad. Bioensayo base. Inicialmente se aplicaron tres concentraciones diferentes de cloruro de trifetil tetrazolio 0.2 %, 0.5 % y 1 % a una muestra de 30 semillas, estas se eligieron al azar y cada grupo se colocó en cajas Petri con 10 semillas por caja. Previamente se realizó un remojo durante 12 horas, posteriormente se agregaron las diferentes concentraciones de tetrazolio, donde se evaluó a las 12, 24 y 48 horas posteriores, para identificar cual sería el más idóneo para aplicar al resto de semillas clasificadas.

Evaluación de viabilidad. Una vez observada la concentración con mejores resultados, se aplicó la técnica a las semillas clasificadas por longitud, se eligieron 30 semillas de cada grupo clasificado por longitud esto es: chica (2 - 2.75 mm), mediana (2.75 - 3.5 mm), grande (3.5 - 4.25 mm), de manera que cada grupo quedó formado por tres repeticiones de 10 semillas cada uno, a dichos grupos se les agregó la solución de tetrazolio a 0.2 %, previamente estas semillas se sometieron a remojo durante 12 horas y las evaluaciones posteriores a la aplicación de tetrazolio se realizaron a las 12, 24 y 48 horas, y se registraron los datos sobre la tinción de las semillas. Cabe aclarar que se removió la coma de las semillas antes de someterlas a la prueba viabilidad con tetrazolio, aunque fueron semillas completas, es decir, no se les realizó ningún corte, tampoco se sometieron a temperaturas superiores a las ambientales. La interpretación de la prueba de tetrazolio para determinar la viabilidad de las semillas se hizo de acuerdo con la metodología propuesta por Moreno (1984) para semillas pequeñas de zacates. Para ello se realizó un diagrama con las fotografías obtenidas, donde se presentan los niveles de tinción de las semillas. El porcentaje de viabilidad se obtuvo por cada tratamiento y para el análisis estadístico se utilizó la observada tras las 48 horas.

Germinación. Desinfección. Las semillas se colocaron en sobres de papel filtro y se realizó el lavado de las semillas con alcohol a 70 % por tres minutos, posteriormente se enjuagaron dos veces con agua estéril. Se desinfectó con cloro comercial al 10 % durante 20 minutos, culminado el tiempo se realizaron tres enjuagues con agua estéril.

Siembra. Las semillas se colocaron en cajas Petri con papel filtro de acuerdo con cada tratamiento (longitud y coma), estas se mantuvieron con fotoperiodo de 16:8 (luz:oscuridad); se mantuvieron a temperatura ambiente para sus respectivas evaluaciones. La remoción de coma fue necesaria para obtener las longitudes de las semillas (chica, mediana y grande), para el caso de las semillas con coma no se definieron por tamaño, únicamente se seleccionaron al azar.

Diseño experimental. Para las pruebas de viabilidad con tetrazolio y germinación se efectuó un diseño experimental completamente al azar; para el primero los tratamientos fueron tres (chica, mediana y grande) con tres repeticiones cada uno (cada unidad fue una caja Petri con 10 semillas) y la evaluación se efectuó mediante el conteo de las semillas que presentaron tinción. Para la prueba de germinación además de los tres tratamientos evaluados (chica, mediana y grande) se incluyó uno adicional o Testigo (semilla con coma). Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el promedio de pigmentación o germinación, para después realizar estadística descriptiva. Variables respuesta. El experimento se evaluó cada tercer día a partir de su establecimiento y culminó 45 días después de establecida, durante las evaluaciones se registraron datos sobre: Germinación. Se consideró como semilla germinada, aquella que mostró imbibición de semilla y se dio seguimiento para determinar las etapas a formación de plántula. Porcentaje de contaminación. Éste se llevó a cabo considerando el número de semillas que presentaron algún síntoma visible de infestación por hongo o bacteria. Porcentaje de germinación. Se estimó de acuerdo con la cantidad de semillas germinadas en las cajas Petri. Porcentaje de necrosis. Esta consideró a las semillas que se tornaron visiblemente de color oscuro o café sin presentar visualmente micelio o rasgos de contaminación, durante el tiempo que duró la prueba de germinación.

Resultados y Discusión

Color de la cubierta seminal. Se identificaron cuatro tonalidades distintas (Figura 1a), la variación se vio reflejada en la intensidad de la coloración; algunas presentaron una coloración intensa mientras que de otras fueron ligeramente más claras. La mayor proporción corresponde al color N199 Grey-Brown C (59 %), procedido por el N199 Grey-Brown D (37 %). En tercer lugar, se encuentran las semillas que presentaron una cubierta seminal de color 164 Greyed-Orange A (3 %) y solamente algunas presentaron el color 165 Greyed-Orange A (1 %); lo que significa una tonalidad cafésosa, por su parte Lidueña & Martelo (2018) mencionan que el color de la cubierta seminal es un amarillo claro.

Color de coma. La coma presentó también cuatro tonalidades diferentes (Figura 1b), todas dentro del grupo White. Más de la mitad de las comas se encuentran representadas por el color NN155 White Group C (60 %), mientras que el color NN155 White Group B representa 33 %; por su parte en el grupo NN155 White Group A solamente se encuentra 7 % y el 155 White Group B representa menos de 1 %.

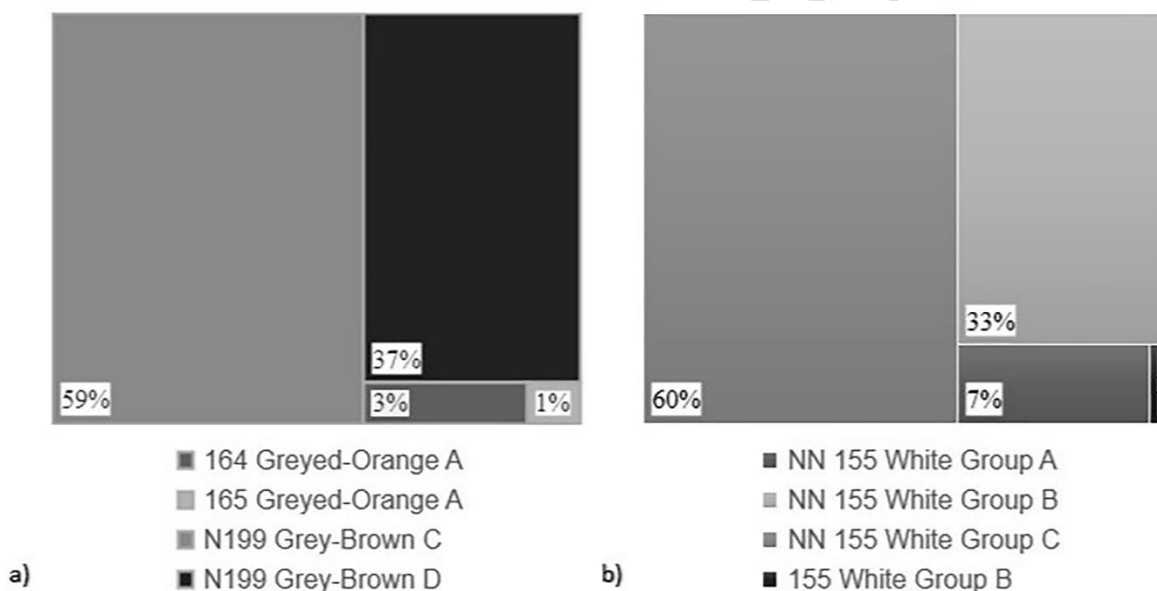


Figura 1. Tonalidades de color observados en semillas de *Tillandsia recurvata*, a) cubierta seminal y b) coma, con cartas de color de la Royal Horticultural Society.

Peso. La mayor cantidad del peso de la semilla se encontró en la coma (Tabla 1), lo que demuestra la gran importancia de esta estructura para las semillas de esta especie, la cual como se mencionó antes, presenta un característico doble paracaídas que sirve como dispersión (Benzing, 2000), mayor adherencia a las cortezas (Amaro, 2017) y puede ayudar a captar agua, sin embargo, no existe información sobre las propiedades aerodinámicas de estas (Wester & Zotz, 2011).

Tabla 1. Variables dimensionales obtenidas en la caracterización de semillas de *Tillandsia recurvata* (L) L.

Variable respuesta	Máximo	Mínimo	Promedio
Peso de 100 semillas enteras (mg)	15	14.5	14.68
Peso de 100 semillas sin coma (mg)	6.6	4.8	6.12
Peso de 100 comas (mg)	10.4	6.7	7.76
Peso de 10 semillas enteras (mg)	1.7	1.3	1.4
Peso de 10 semillas sin coma (mg)	0.6	0.3	0.4
Peso de 10 comas (mg)	1.2	0.8	1.02
Semillas por miligramo (número)	10	7	8.2
Longitud de semilla (mm)	4.4	1.88	2.96
Longitud de coma (mm)	23.8	6.75	16.9
Ancho de semilla (mm)	0.48	0.10	0.27
Área de semilla (mm ²)	1.14	0.26	0.59

Longitud de coma. Se obtuvieron 10 intervalos (Figura 2a) entre su mínimo 6.76 y máximo 23.8 mm (Cuadro 1), donde la mayor cantidad de comas se cuantificó en el intervalo 7 (17 – 18.7 mm), con 25 %, seguido del intervalo 6 (15.3 – 17 mm) con 20 % y el de menor porcentaje de comas se encuentra en el intervalo 1 (6.7 – 8.5 mm) con menos de 1 %. Las semillas frecuentemente se dispersan en grumos que se adhieren en las ramas de los árboles circundantes y la cantidad de semillas que llegan a las copas depende de la distancia entre árboles vecinos, así como la intensidad del viento, pero la mayor proporción de semillas se quedan en el mismo árbol (Bernal *et al.*, 2005), aunque no se sabe si la longitud de la semilla influya directamente sobre la distancia de dispersión, tal como describen Martelo-Solorzano *et al.* (2022) la coma se presentó con una estructura similar a doble paracaídas, esto por la unión de la testa. La mayor proporción de la muestra se encuentra entre longitudes de 13.6 mm hasta 22.1 mm con más de 80 % y el resto se distribuye entre 6.7 mm a 13.6 mm y 22.1 mm a 23.9 mm.

Longitud de la semilla. La longitud observada en la muestra (Tabla 1), corresponde en promedio con lo mencionado por Martelo-Solorzano *et al.* (2022) quienes reportaron longitudes similares. Se obtuvieron 10 intervalos (Figura 2b), el mayor porcentaje de semillas se ubican en el intervalo 4 (2.6 – 2.9 mm), donde se concentra 22 % del total de la muestra, por el contrario, está el intervalo 1 (1.8 – 2.1 mm) y 10 (4.2 – 4.5 mm) los cuales sumados alcanzan únicamente 2.4 %, el margen de longitudes es amplio, por lo que es muy probable encontrar semillas de diferentes tamaños e incluso algunas que se encuentren por debajo o por encima de los intervalos aquí mencionados.

Ancho de la semilla. Éste osciló entre los 0.10 a 0.48, como se señala en el cuadro 1, de los 10 intervalos, el 26 % de las semillas se ubican en el intervalo 5 (0.25 – 0.29 mm), mientras que los intervalos 3 (0.18 – 0.22 mm) y 7 (0.33 – 0.37 mm) representan 13 % cada uno; en cambio el intervalo en el que se agrupa la menor proporción de semillas es el 10 (0.45 – 0.49 mm) con menos de 1 %. Casi la totalidad de la muestra (89.2 %) se encuentra entre 0.18 mm hasta 0.37 mm de ancho de una de las caras de la semilla. El 4 % se

concentra desde 0.1 mm hasta 0.18 mm, mientras que 6.8 % corresponde al ancho de las semillas ubicadas entre 0.37 mm y 0.49 mm.

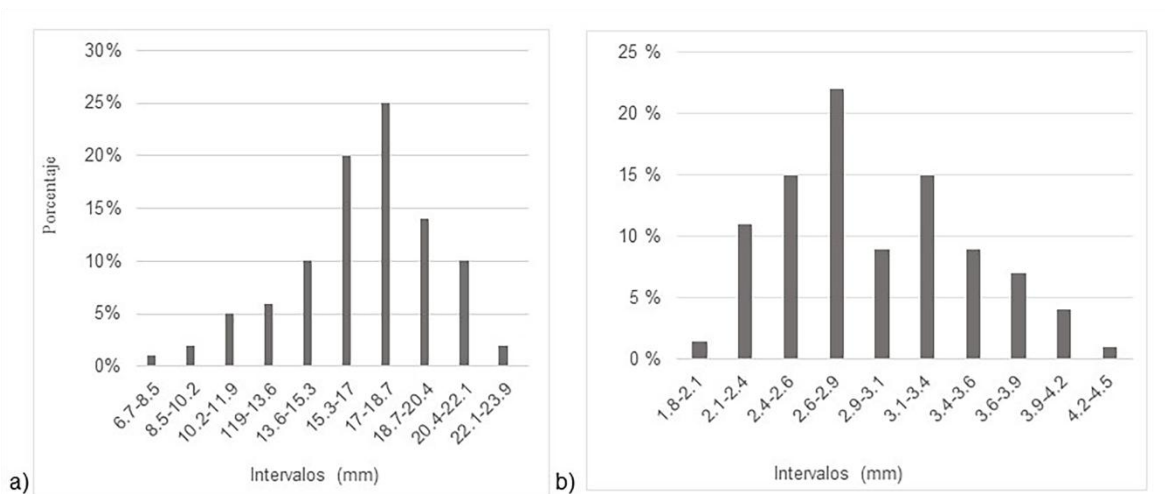


Figura 2. Distribución de semillas de *Tillandsia recurvata* (L.) L., en los intervalos identificados por a) longitud de coma y b) longitud de semilla.

Área de la semilla. Se observó un promedio de 0.59 mm², (Cuadro 1), en el intervalo 4 (0.53 – 0.61 mm²) se encuentra la mayor cantidad de semillas representando 21 %, en contraparte están los intervalos 9 (0.97 – 1.06 mm²) y 10 (1.06 – 1.15 mm²) los cuales representan menos de 1 % cada uno. El 62 % de las semillas van desde 0.44 mm² hasta 0.7 mm², así mismo 22 % lo representan las semillas con 0.7 mm² a 0.97 mm² y 12.8 % se encuentra entre 0.35 mm² hasta 0.44 mm²; 3.2 % restante se encuentra en el primer intervalo y los últimos dos.

Prueba de viabilidad con tetrazolio. Las semillas sometidas a la prueba de tetrazolio presentaron diferentes patrones de tinción a medida que transcurrió el tiempo. Se distinguieron ocho patrones de tinción en las semillas (Figura 4).

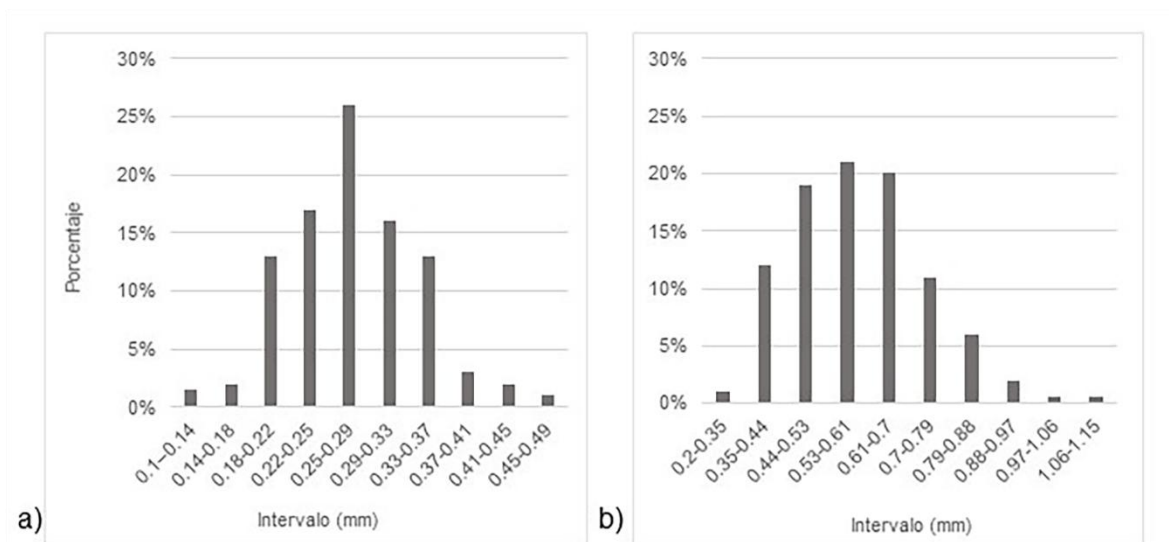


Figura 3. Intervalos de distribución de semillas de *Tillandsia recurvata* (L.) L., según a) ancho de semilla y b) área superficial.

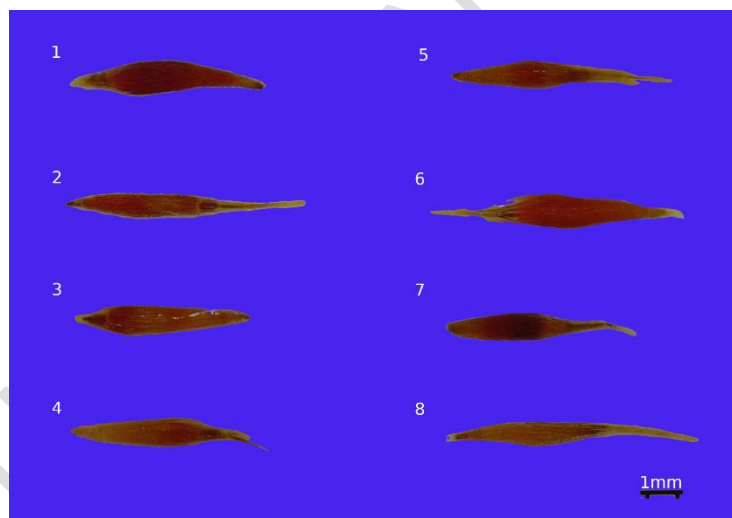


Figura 4. Patrones de tinción observados en semillas de *Tillandsia recurvata* (L.) L. a 48 horas después de agregar la solución de tetrazolio a 0.2 %. No. 1. Tinción completa del embrión. No. 2. Sin tinción en una zona del embrión. No. 3. Sin tinción en la parte central del embrión. No. 4. Ligeramente teñido en un extremo. No. 5. Zona central del embrión teñida. No. 6. Tinción opaca o rojo pálido. No. 7. Embrión de color rojo oscuro. No. 8. Sin tinción.

Después de 12 horas se observó una coloración rojiza opaca (Figura 5), transcurridas las 24 horas el cambio en la coloración fue evidente, en la mayoría se presentó tinción total

o parcial (en este lapso se presentó la tinción de la mayor proporción de semillas), mientras que a las 48 horas el rojo se intensificó y en las que se habían teñido parcialmente el color se homogenizó. Los datos finales (48 horas) fueron sometidos al análisis de varianza de una vía, se presentaron diferencia estadísticamente significativa entre los tres tratamientos ($F(2,6)=5.6$, $p=0.042$); por lo que se considera que la clasificación de semillas presentó diferencias y en general baja viabilidad (Figura 6a), siendo semilla chica, 16.7 % la más baja, seguida por mediana 30 % y semilla grande 36.7 %, de manera general el porcentaje de viabilidad general fue de tan sólo 27.8 %.

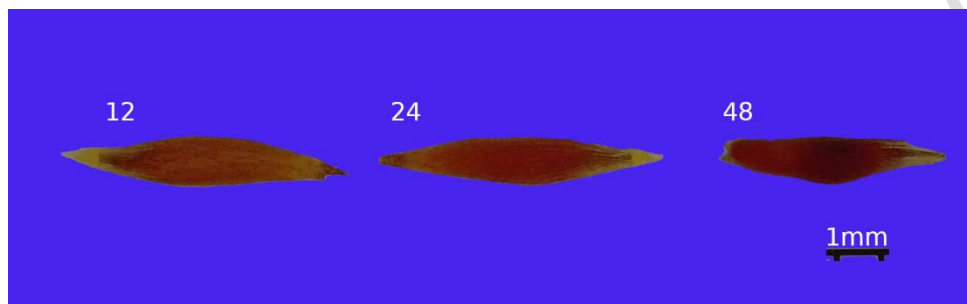


Figura 5. Niveles de tinción presentados en semillas de *Tillandsia recurvata* (L.) L. a 12, 24 y 48 horas después de agregar la solución de tetrazolio a 0.2 %.

Germinación. Los resultados del análisis indicaron que no hay una diferencia estadísticamente significativa en el promedio de germinación entre los tratamientos ($F(3,8)=1.79$, $p=0.227$). Las semillas mostraron gran variabilidad con respecto a la cantidad de semillas germinadas y al tiempo requerido, se observó en general menores porcentajes de viabilidad en la germinación que lo obtenida en la prueba de tetrazolio (Figura 6 a y b), se presentó en semilla pequeña una disminución del 55 %, mediana del 80 % y grande del 52 %. Las semillas pequeñas manifestaron el menor porcentaje de germinación con apenas 6.7 %, aunque las semillas medianas presentaron exactamente el mismo porcentaje, lo cual no coincide con la tendencia en la prueba de viabilidad, pero si con lo esperado para las semillas grandes las cuales presentaron 10 %, siendo las únicas que alcanzaron 20 % fueron las semillas con coma. Está respuesta podría deberse a que la coma mantuvo por más tiempo la humedad necesaria, ya que a pesar de que se les agregaba agua diariamente, el papel se observaba deshidratado.

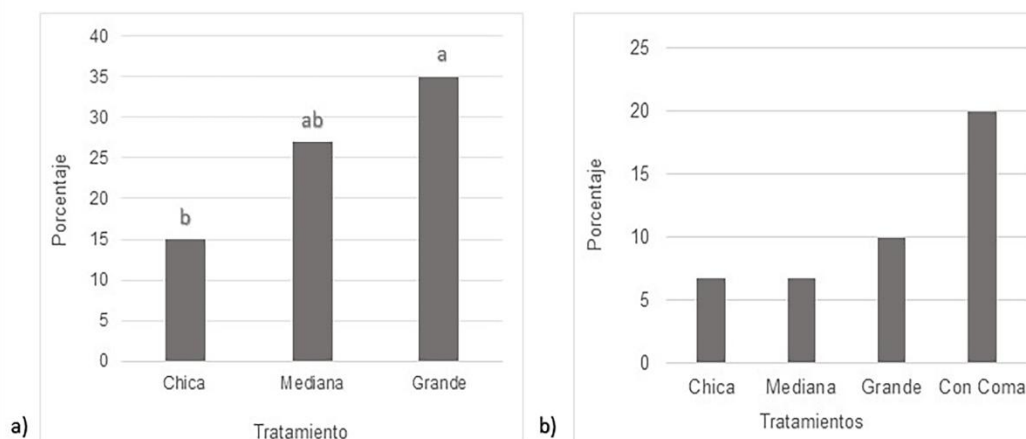


Figura 6. Porcentajes de semillas de *Tillandsia recurvata* (L.) L., viables según a) prueba de tetrazolio (diferencia estadística) y b) prueba de germinación.

Montes-Recinas *et al.* (2012) clasificaron a la germinación de *T. recurvata* en dos etapas: semillas hinchadas con cubierta seminal rota (etapa 1) y embriones clorofílicos (etapa 2). En esta prueba no se observaron ruptura de testa ni formación de estructuras sólo un hinchamiento de la semilla y cambio de color lo que podría indicar embriones clorofílicos (Figura 7), considerando la descripción de Luján-Santiago *et al.* (2024), para *T. usneoides*, éstas se encontrarían entre la etapa dos y tres ya que, aunque si se observa agrandamiento de la semilla, no se observa la curva que describen estos autores para la etapa tres. Estos resultados contrastan en demasía con lo reportado con Fernández *et al.* (1989), que obtuvieron entre 97 – 100 % de germinación tanto en condiciones de luz como de oscuridad con semillas que fueron colectadas considerando el momento en que se aproxima la dehiscencia, la cual se mantiene por 4 – 5 meses, aunque se obtuvieron porcentajes menores con semillas cosechadas y almacenadas en el mismo año y no hubo germinación en semillas cosechadas 1 – 5 años antes, por lo que el hecho de mantener almacenadas las semillas pudo afectar el potencial germinativo al momento de realizar la prueba de germinación, resaltando que no se almacenaron más de 5 meses. Por otro lado, Bernal *et al.* (2005) observaron que las semillas en condiciones ambientales naturales (dentro de la copa de cuatro especies de árboles) germinaron entre 0 a 7.5 % del total de semillas evaluadas, similar al porcentaje observado en este trabajo.



Figura 7. Semillas de *Tillandsia recurvata* en proceso de germinación, mostrando A) diferentes etapas de imbibición sin coma, B) semilla con coma.

Como ya se mencionó el contacto de la semilla con el agua líquida es indispensable durante el proceso de germinación, ya que el vapor de agua no es suficiente para asegurar una plena germinación debido a que la tolerancia a la deshidratación disminuye una vez germinada la semilla (Montes-Recinas *et al.*, 2012), esto puede explicar los bajos porcentajes obtenidos porque la oscilación en las temperaturas provocó que en ocasiones el papel filtro no se mantuviera húmedo y a falta de humedad algunas semillas manifestaron síntomas de desecación, además autores como Gastón de Iriarte (2017), sugiere que la temperatura juega un papel crucial al influir sobre las enzimas que regulan la velocidad a la que ocurren las reacciones bioquímicas dentro de la semilla ya que la actividad enzimática tiene lugar entre un mínimo y máximo de temperatura, otra característica de la semilla observado por Martelo-Solorzano (2022) es el bajo contenido de endospermo en la semilla de *T. recurvata* lo cual podría afectar la latencia o precisar algún agente para promover su germinación ellos además reportan poca germinación entre los 14 y 28 días y de igual manera sin formación de plántula, otro factor que puede afectar la germinación de semillas es por la presencia de algunos compuestos como el fitol y/o ácido palmítico (Valencia-Díaz *et al.*, 2010).

El proceso de germinación se prolongó hasta los 24 Días Después de Siembra (DDS) para la mayoría de las semillas y hasta los 33 DDS para las semillas grandes. Las semillas chicas germinaron a los 24 DDS, por su parte las medianas germinaron a los 12 DDS y fueron las semillas grandes las que ampliaron su tiempo de germinación desde los 15 DDS hasta los 33 DDS. Aunque el tiempo de germinación de las semillas grandes fue más amplio que el de las semillas con coma, estas últimas obtuvieron el mayor porcentaje germinativo, concentrándose a los 12 DDS.

Contaminación. La contaminación fue baja con un máximo de 10 % tanto para las semillas chicas como para las grandes, mientras que las semillas medianas y con coma presentaron 6.7 % de contaminación. La contaminación inicio a partir del 9° DDS y se

extendió hasta los 18 DDS, después únicamente se dispersó sobre las semillas ya contaminadas, el hongo cubrió algunas semillas en su totalidad. Las semillas chicas presentaron el mayor porcentaje de contaminación a los 12 DDS (6.7 %), mientras que a los 18 DDS fue menor (3.3 %), por su parte las semillas medianas presentaron indicios de contaminación desde el 9° DDS al igual que las semillas con coma, pero a diferencia de las medianas las con coma no volvieron a presentar contaminación en semillas distintas a las ya contaminadas y las semillas grandes presentaron contaminación homogénea a partir de los 12 DDS hasta los 18 DDS. Por lo que, aunque la técnica de lavado quizás fue la correcta, ya que es implementada para cultivo de tejidos, al estar abriendo y cerrando las cajas para evaluar y regar podría haber provocado la contaminación con agentes ambientales, debiéndose buscar otra estrategia de riego para siguientes experimentos.

Necrosis. Las semillas chicas presentaron los menores porcentajes de necrosis (3.3 %), en contraparte las semillas con coma alcanzaron hasta 33.3 % de necrosis, estas últimas obtuvieron la mayor cantidad de semillas con síntomas de necrosis. Las semillas medianas presentaron 13.3 % de necrosis, mientras que las grandes presentaron el doble. Para las semillas grandes y con coma los mayores porcentajes de necrosis se presentaron a los 18 DDS, por su parte las semillas medianas presentaron dos fechas donde se manifestó la necrosis de las semillas, evidentemente a los 18 y 21 DDS, mientras que las semillas chicas fueron las que manifestaron el porcentaje de necrosis más bajo (3.3 %) y solamente a los 21 DDS. La necrosis, oscurecimiento, oxidación o muerte celular es comúnmente reportada en cultivo de tejidos, por lo que puede deberse a varios factores entre ellos los químicos utilizados durante los lavados, sea por el producto o tiempo de exposición para disminuir contaminación, la oxidación de los compuestos fenólicos, o condiciones ambientales (Díaz-Lezcano *et al.*, 2020; Hoang *et al.*, 2020; Verona-Ruiz *et al.*, 2020; Luján-Santiago *et al.*, 2024).

Conclusiones

Se observó efecto en la característica de tamaño sobre la germinación de la semilla de *T. recurvata*, ya que la semilla grande (3.5 – 4.25 mm) es la que reportó un porcentaje mayor de viabilidad del 36.7 % y tan sólo un 10 % de germinación. Mientras que el tamaño mediano indicaba un mayor porcentaje de viabilidad en la prueba de germinación presentó mismos resultados que la pequeña. También se observó que, al estar presente la coma, la germinación se duplica, sin embargo, sigue siendo muy baja (20 %), aunque al tratarse de especies de origen silvestre, la gran proliferación de semillas liberadas al ambiente, son las que ayudan a asegurar la adaptación a diferentes lugares. Una notable diferencia fue que las semillas con coma, además favorecen la rápida germinación (una semana), ya que, aunque se tenían semillas de mayor tamaño sin coma, el periodo de germinación se prolongó por cerca de un mes.

Los hallazgos confirman las descripciones existentes sobre las características morfológicas, como el peso predominante de la coma y la amplia variación en las dimensiones de las semillas. La prueba de viabilidad con tetrazolio mostro, una baja viabilidad general, con un 27.8 %, y revelaron que las semillas más grandes tienden a ser más viables. Sin embargo, los porcentajes de germinación fueron significativamente más bajos, alcanzando apenas el 10.8 %, con una notable interrupción del proceso de desarrollo de la plántula, lo cual está en línea con reportes que mencionan la falta de endospermo como un factor limitante. Se

observó que las semillas con coma, a pesar de no ser clasificadas por tamaño, tuvieron los mejores resultados en germinación, lo que sugiere que la coma juega un papel crucial más allá de la dispersión, posiblemente al retener la humedad necesaria para el inicio del proceso. Por el contrario, la variabilidad en los resultados de germinación y la alta incidencia de necrosis en algunos tratamientos (especialmente en semillas con coma) indican que factores como la desecación, el almacenamiento y la técnica de manejo pueden afectar negativamente la germinación y el desarrollo temprano de la plántula. Por lo que, la caracterización morfológica y la evaluación del potencial germinativo de *T. recurvata* son pasos esenciales para el desarrollo de estrategias de propagación que permitan su conservación y aprovechamiento medicinal, minimizando la extracción de la naturaleza. Los resultados demuestran la necesidad de optimizar los protocolos de germinación, considerando variables como el sustrato, el suministro de humedad y la temperatura, para superar los desafíos inherentes a la baja cantidad de reservas nutricionales en estas semillas. Futuros estudios deberán enfocarse en la creación de protocolos de cultivo in vitro o en condiciones controladas que favorezcan la germinación y el establecimiento de plántulas, y así asegurar el uso sostenible de esta especie.

Contribución de los autores

“Conceptualización del trabajo, EFVH, DAR; desarrollo de la metodología, EFVH, DAR; manejo de software, EFVH, DAR, MDJH.; validación experimental, EFVH, DAR, MDJ; análisis de resultados, EFVH, DAR, MDJH; Manejo de datos, autor EFVH, DAR, MDJH, RSC, MTCL.; escritura y preparación del manuscrito, EFVH, DAR, MDJH, RSC, MTCL.; redacción, revisión y edición, EFVH, DAR, MDJH, RSC, MTCL.; administrador de proyectos, EFVH, DAR, MDJH; adquisición de fondos, EFVH. “Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.”

Financiamiento

Esta investigación fue financiada con fondos propios.

Agradecimientos

La autora de correspondencia agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por la beca posdoctoral I1200/320/2022, así como al Laboratorio de Fisiología Investigación y a la Universidad Autónoma Chapingo, por el apoyo logístico, para la realización de este proyecto.

Conflicto de interés

“Los autores declaran no tener conflicto de interés”.

Referencias

Amaro, M. B. (2017). Determinación de Hongos Fitopatógenos en *Tillandsia recurvata* L Asociados a la Muerte de *Pinus cembroides* Zucc en, Coahuila, México. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)].

<https://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42747/K65040%20Amaro%20Maldonado%20Bulmaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Benzing, D. H. (2000). Bromeliaceae: Profile of Adaptative Radiation. Ed. Cambridge University Press. https://www.researchgate.net/profile/David-Benzing-2/publication/48376912_Bromeliaceae_Profile_of_An_Adaptive_Radiation/links/0912f51419482b24f8000000/Bromeliaceae-Profile-of-An-Adaptive-Radiation.pdf

Benzing, D. H. (2023). Bromeliaceae: a brief profile and some topics that warrant further inquiry. *Selbyana*, 34, 1-80. <https://journals.flvc.org/selbyana/issue/view/6232/296>

Bernal, R., Valverde, T., & Hernández-Rosas, L. (2005). Habitat preference of the epiphyte *Tillandsia recurvata* (Bromeliaceae) in a semi-desert environment in Central Mexico. *Canadian Journal Of Botany*, 83(10), 1238-1247. <https://doi.org/10.1139/b05-076>

De La Mora, R. M. (2020). Uso de sustrato de crecimiento orgánico de *Tillandsia recurvata* y *Agave lechuguilla* Torr. como alternativa a peat moss. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)]. <https://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/47070/De%20la%20Mora%20Rosales%2C%20Mar%20C%20A%20de%20Lourdes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz-Lezcano, M. I., Rodas-Ramírez, J. M., González-Segnana, L. R., & Vera-de Ortiz, M. (2020). Establecimiento in vitro de segmentos nodales de *Handroanthus heptaphyllus* de flores blancas. *Biotecnología Vegetal*, 20(3), 203–210. https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2074-86472020000300203

Fernández, L. V., Beltrano, J., & Caldiz, D. O. (1989). Germinación y longevidad de semillas de *Tillandsia recurvata* L. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 65, 81-85. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/121584>

Flores, F. J. D., Torres, E. M., & Nájera, C. J. A. (2011). Situación del heno de motita *Tillandsia recurvata*, en el estado de Coahuila. In: Equihua, M. A., Estrada, V. E., Acuña, S. J. A., & Cháirez, G. M. P. Memoria del XV Simposio Nacional de Parasitología Forestal. (p. 175-179). Ed. Colegio de Postgraduados.

García-Campoy, A. H., Pérez-Gutiérrez, R. M., García-Báez, E. V., & Muñiz-Ramírez, A. (2024). Methanolic extract of *Tillandsia recurvata* reduces blood glucose, triglycerides and cholesterol levels. *Botanical Sciences*, 102(4), 1251–1264.

Gastón de Iriarte, M. C. E. (2017). Estudio de la germinación de dos especies de *Teucrium* protegidas en la Región de Murcia. [Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/entities/publication/f63dc1a5-6e2d-4084-a982-f230d2e4b530>

Guevara-Escobar, A., Cervantes-Jiménez, M., Suzán-Azpir, I. H., González-Sosa, E., Hernández-Sandoval, L., Malda-Barrera, G., & Martínez-Díaz, M. (2011). Fog

interception by Ball moss (*Tillandsia recurvata*). Hydrology and Earth System Sciences, 15(8), 2509-2518. <https://doi.org/10.5194/hess-15-2509-2011>

Hoang, T. T., Vu, Q. L., & Duong, T. N. (2020). Some methods in micropropagation and breeding of *Paphiopedilum* spp. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 58(4), 393-401. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/58/4/14779>

Huaman-Arqqe, W., Joser-Atauchi, P., Clavijo-Manuttupa, J., Amampa-Mena, G. V., & Soto-Quispe, Y. S. (2022). Distribución potencial de la especie *Puya raimondii* e importancia de las áreas naturales protegidas frente al cambio climático. *Ecología Austral*, 32(3), 1007-1018. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.3.0.1943>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP]. (2018). Incorporación de *Tillandsia recurvata* en la dieta de ganado caprino para evitar la condición anémica en el norte centro de México. In *Tecnologías Generadas, Validadas, Transferidas o Adoptadas en los Estados de Tamaulipas, San Luis Potosí, Coahuila y Nuevo León en el Año de 2018* (p. 111). INIFAP. <https://pubhtml5.com/felj/lufx/basic/101-118>

Lidueña, P. K. I., & Martelo, S. A. M. (2018). Morfoanatomía, histoquímica y desarrollo post-seminal de semillas de bromelias (bromeliaceae) presentes en el Departamento de Sucre-Colombia. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Sucre, Facultad de Educación y Ciencias]. <https://repositorio.unisucre.edu.co/entities/publication/d60a1eee-fe28-41f7-9078-b612809d1085>

Lowe, H., Toyang, N. J., & Bryant, J. (2020). Agent containing flavonoid derivatives for treating cancer and inflammation. En *US Patent* (Núm. 10765660).

Lowe, N., Toyang, J., Watson, C. T., Ayeah K. N., & Bryant, J. (2014). Antileukemic Activity of *Tillandsia recurvata* and some of its Cycloartanes. *Anticancer Res.* 34(7), 3505-3509. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24982361/>

Lowe, HI, Watson, CT, Badal, S., Ateh, EN, Toyang, NJ, y Bryant, J. (2012). Propiedades antiangiogénicas del musgo bola de Jamaica (*Tillandsia recurvata* L.). *International Research Journal of Biological Sciences*, 1 (4), 73-76.

Lucena, V. A., Azevedo, X. E., & Perrelli, R. K. (2013). *Tillandsia recurvata* L. (Bromeliaceae): aspectos farmacognósticos. *Revista de Ciencias Farmacéuticas Básicas y Aplicadas*, 34(2), 151-159. [https://www.researchgate.net/publication/286399992 Tillandsia recurvata L Bromelia ceae A pharmacognostic study](https://www.researchgate.net/publication/286399992_Tillandsia_recurvata_L_Bromelia_ceae_A_pharmacognostic_study)

Luján-Santiago, V., Valdez-Hernández, E. F., Juárez-Hernández, Ma. De J., & Sánchez-Carrillo R. (2024). Evaluación de tratamientos pregerminativos de heno (*Tillandsia usneoides* L.) en condiciones in vitro. *e-CUCBA*, 21(11), 189-194.

Martelo-Solorzano, A. M., Lidueña-Pérez, K. I., & Corredor-Prado, J. P. (2022). Seed's morpho-anatomy and post-seminal development of Bromeliaceae from tropical dry forest. *SciELO Brazil*, 73. <https://doi.org/10.1590/2175-7860202273050>

Mejía, D., Duque, J. F., Chaparro, M. A. E., Chaparro, M. A. E., Castañeda, A. G., & Molinari, D. (2017). Biomonitoring magnético de la calidad del aire en el valle aburrá (colombia) a partir del uso de *tillandsia recurvata*. *Latinmag Letters*, 7, 1-5. <https://www.geofisica.unam.mx/LatinmagLetters/LL17-01-SP/MA/MA02.pdf>

Montes-Recinas, S., Márquez-Guzmán, J., & Orozco-Segovia, A. I. (2012). Temperature and water requirements for germination and effects of discontinuous hydration on germinated seed survival in *Tillandsia recurvata* L. *Plant Ecology*, 213, 1069-1079. <https://doi.org/10.1007/s11258-012-0066-9>

Morales-Morales, A. E., Andueza-Noh, R. H., Márquez-Quiroz, C., Benavides-Mendoza, A., Tun-Suarez, J. M., González-Moreno, A., & Alvarado-López, C. J. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 463-475. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2171>

Moreno, M. E. (1984). Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México.

Pérez-Noyola, F.J., Flores, J., Yáñez-Espinosa, L., Jurado, E., De La Rosa-Manzano, E., & Badano, E. (2020). Complete vivipary behavior detected in the epiphytic *Tillandsia recurvata* L. (Ball moss) in the Chihuahuan Desert in two continuous years. *Journal of Arid Environments*, 174, 103993. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.103993>

Pérez, N. F. (2021). Efecto del calentamiento inducido en la supervivencia y crecimiento de epífitas: Evidencia experimental en *Tillandsia recurvata* (Bromeliaceae) en el sur del Desierto Chihuahuense. [Tesis Doctoral, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.]. <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/5552;jsessionid=FF7A1DBBBA868B9CD A5282F5833CA3D6>

Soblechero, E., Hernanz, A., Antón, N., & Durán, J. M. (2005). La semilla y su morfología. *Agricultura*, (877), 612-615. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri_2005_877_612_615.pdf

Valencia-Díaz, S., Flores-Palacios, A., Rodríguez-López, V., Ventura-Zapata, E., & Jiménez-Aparicio, A. R. (2010). Effect of host-bark extracts on seed germination in *Tillandsia recurvata*, an epiphytic bromeliad. *Journal of Tropical Ecology*, 26, 571-581. <https://doi.org/10.1017/S0266467410000374>

Véliz, M. (2010) Guía de reconocimiento del género *Tillandsia* de Guatemala. Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). <https://www.caftadr-environment.org/wp-content/uploads/2016/04/guia-de-Reconocimiento-de-Tillandsia-2.pdf>

Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus spp.*): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439-453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>

Wester, S., & Zotz, G. (2011). Seed comas of bromeliads promote germination and early seedling growth by wick-like water uptake. *Journal of Tropical Ecology*, 27(1), 115-119. <https://doi.org/10.1017/S0266467410000593>

ARTÍCULO EN PRENSA