

Respuesta fisiológica durante la germinación de semillas de *Espeletia grandiflora*, sometidas a procesos de soplado mecánico mediante aire forzado

Physiological response during germination of *Espeletia grandiflora* seeds subjected to mechanical blowing processes using forced air

Resposta fisiológica durante a germinação de sementes de *Espeletia grandiflora* submetidas a processos de sopro mecânico por ar forçado

Received: 07/27/2023 | Revised: 08/16/2023 | Accepted: 09/08/2023 | Published: 09/11/2023

Maikel Suárez-Rivero

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1740-5795>
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
E-mail: ingenieromaikelsuarez@gmail.com

Olga Marín-Mahecha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9730-5358>
Grupo de Investigación e Innovación Agroindustrial, Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Colombia
E-mail: Olmari31@gmail.com

Jannet Ortiz-Aguilar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7688-2092>
Facultad de Ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia
E-mail: janitala@hotmail.com

Edith Patricia Sánchez-Quñones

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8303-3227>
Grupo de Investigación Derecho Verde, Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Colombia
E-mail: Patriciasanchez1910@hotmail.com

Juan Fuentes-Reines

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5809-4271>
Universidad del Magdalena, Grupo de Investigación en Biodiversidad y Ecología Aplicada, Santa Marta, Colombia
E-mail: juanfuentesreines@gmail.com

Deivis Suárez-Rivero

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0983-770X>
Grupo de Investigación e Innovación Agroindustrial, Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Colombia
E-mail: Deivissr2000@hotmail.com

Resumen

Cuando se introduce al estudio de las semillas, como material de propagación de las especies, es necesaria la comprensión de los atributos de calidad fisiológica como componentes importantes que permiten profundizar en la caracterización del germoplasma evaluado. En este sentido, el objetivo de esta investigación fue establecer la respuesta fisiológica durante la germinación de semillas de *Espeletia grandiflora*, sometidas a procesos de soplado mecánico mediante aire forzado. Se evaluaron, tomando como factor diferenciador el soplado mecánico mediante aire forzado de las semillas (se reguló la apertura, en unidades arbitrarias de la compuerta), la relación porcentual de las semillas llenas y vacías, porcentaje de germinación, viabilidad y supervivencia, crecimiento de las plántulas dada por la longitud del tallo y número de hojas (nomófilos) formados, así como las dinámicas de germinación, crecimiento y supervivencia en el tiempo. Los resultados evidenciaron, para todas las variables estudiadas una marcada relación positiva entre el soplado mecánico forzado y la calidad de las semillas obtenidas. En tal sentido, las semillas con mejores valores y que difieren del resto de tratamientos fueron aquellas que se sometieron al Tratamiento 4 (semilla pesada obtenida con apertura de 25 de la compuerta vernier). Así mismo, los resultados menos favorables se obtuvieron para el lote de semillas pesadas obtenida con apertura de 15 y ligera apertura de 20 de la compuerta vernier (Tratamiento 2), difiriendo significativamente del resto de tratamientos.

Palabras clave: Frailejón; Germinación; Páramo; Fisiología; Supervivencia.

Abstract

When introducing the study of seeds as propagation material of the species, it is necessary to understand the physiological quality attributes as important components that allow further characterisation of the germplasm evaluated. In this sense, the objective of this research was to establish the physiological response during germination of *Espeletia grandiflora* seeds, subjected to mechanical blowing processes using forced air. The percentage ratio of full and empty seeds, germination percentage, viability and survival, seedling growth given by the length of the stem and number of leaves (nomophylls) formed, as well as the dynamics of germination, growth and survival over time were

evaluated, taking as a differentiating factor the mechanical blowing of seeds by forced air (the opening was regulated in arbitrary units). The results showed, for all the variables studied, a marked positive relationship between forced mechanical blowing and the quality of the seeds obtained. In this sense, the seeds with the best values and which differed from the rest of the treatments were those that were subjected to Treatment 4 (heavy seed obtained with an opening of 25 of the vernier gate). Likewise, the least favourable results were obtained for the batch of heavy seeds obtained with an opening of 15 and a slight opening of 20 of the vernier gate (Treatment 2), differing significantly from the rest of the treatments.

Keywords: Frailejon; Germination; Moorland; Physiology; Survival.

Resumo

Ao introduzir o estudo de sementes como material de propagação da espécie, é necessário compreender os atributos de qualidade fisiológica como componentes importantes que permitem uma maior caracterização do germoplasma avaliado. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi estabelecer a resposta fisiológica durante a germinação de sementes de *Espeletia grandiflora*, submetidas a processos de sopro mecânico com ar forçado. Foram avaliadas a relação percentual de sementes cheias e vazias, a porcentagem de germinação, a viabilidade e a sobrevivência, o crescimento das plântulas dado pelo comprimento do caule e pelo número de folhas (nomofilas) formadas, bem como a dinâmica da germinação, do crescimento e da sobrevivência ao longo do tempo, tendo como fator diferenciador o sopro mecânico das sementes por ar forçado (a abertura foi regulada em unidades arbitrárias). Os resultados mostraram, para todas as variáveis estudadas, uma relação positiva acentuada entre o sopro mecânico forçado e a qualidade das sementes obtidas. Nesse sentido, as sementes com os melhores valores e que se diferenciaram do restante dos tratamentos foram aquelas submetidas ao Tratamento 4 (sementes pesadas obtidas com uma abertura de 25 da porta vernier). Da mesma forma, os resultados menos favoráveis foram obtidos para o lote de sementes pesadas obtidas com uma abertura de 15 e uma leve abertura de 20 da porta vernier (Tratamento 2), diferindo significativamente do restante dos tratamentos.

Palavras-chave: Frailejon; Germinação; Moorland; Fisiologia; Sobrevivência.

1. Introducción

El peso de la semilla en gran medida está asociado a la cantidad de reserva que esta es capaz de almacenar durante su proceso de formación; su variación puede depender de la especie, morfología de las plantas cosechadas y la interacción con los factores bióticos y abióticos imperantes en el ambiente en que crece. En este sentido, la cantidad de reservas en la semilla y su uso en el crecimiento de la plántula, como factor intrínseco, determinan la biomasa de esta en las primeras fases de su desarrollo. Así, la selección de semillas de mayor tamaño y peso aumentan la probabilidad de obtener plántulas más vigorosas (González Rodríguez et al., 2008), que a su vez serán más propensas a resistirse a la mortalidad dependiente del tamaño de la planta.

Las semillas pueden presentar una amplia variación en su peso (Quero et al., 2007), lo que puede estar determinado, primeramente, por las características propias de cada especie. A su vez, se encuentra una variabilidad importante a nivel intraespecífico, evidenciando que individuos de una misma especie pueden desarrollar semillas de mayor o menor tamaño en función de las características de su ambiente, es decir, de factores extrínsecos (Bonfil, 1998). En tal sentido, estudios realizados en condiciones de micrositio en *Espeletia uribei* por Gallego (2014) mostraron que las plantas madre producen gran cantidad de semillas, pero de baja calidad al encontrarse fisuradas, vacías o abortadas. Resultados similares reportó Velasco (2018), quien identificó la misma problemática, resaltando que podría deberse al ataque de agentes patógenos, depredadores o herbívoros. Esto genera heterogeneidad en la calidad física y fisiológica de las semillas ya que no pueden completar su desarrollo y otras no llegan a formarse. En las semillas que no alcanzaron su máxima formación pudiera afectarse sus reservas energéticas en diferentes porcentajes, causando problema en la propagación gámica.

Otros estudios realizados en propagación de cuatro especies de *Espeletia* sp. (Mancipe-Murillo C. 2020) mostraron diferencias en el tamaño de la semilla, observándose un mayor largo y ancho en semillas de *E. summapacis* y *E. killipii*, variable que les permitió correlacionar las dimensiones con la viabilidad de las mismas. En este sentido el autor encontró que presentaron mayor viabilidad las de mayores dimensiones con porcentajes que oscilaron entre el 76% y 88%. El mismo estudio adicionalmente evaluó el tamaño del embrión y no se encontró relación positiva con el tamaño de las semillas y la

germinación, presumiblemente al encontrar que algunas estaban vacías y otras no alcanzaron su máximo desarrollo físico, es decir, no se llenaron completamente los aquenios.

Aun mostrados los reportes anteriores, el peso de semillas de *Espeletia* sp. ha sido poco estudiado. Su desconocimiento podría ser una de las razones que ha limitado su selección y por lo tanto mejorar los programas de propagación. Así mismo, no se ha estudiado con detalle la influencia entre diferentes pesos de semillas de una misma especie con la calidad física y fisiológica.

En este orden de ideas, contar con semillas de mayor calidad permitiría mejorar la reforestación de los páramos con la especie. Así, el objetivo de esta investigación es estudiar el efecto de diferentes pesos de semillas de *Espeletia grandiflora* sobre el uso de sus reservas en la germinación y crecimiento de las plántulas en los primeros estadios de desarrollo, tomando como pretratamiento de estas el soplado mecánico.

2. Metodología

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Fitoquímica de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia – UNIAGRARIA y el soplado de la semilla en el laboratorio de calidad de semillas del Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, específicamente en el Complejo de Laboratorios Nacionales de Análisis y Diagnósticos ubicado en Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

2.1 Procedimiento experimental

Para cada tratamiento se evaluó las semillas llenas y vacías, peso de mil semillas, viabilidad, germinación, energía de germinación, supervivencia, longitud de tallo y número de hojas. El número de semillas llenas y vacías se determinó por incisión con ayuda de un estereoscopio según lo planteado por Céspedes (2018), así, para la determinación del peso de mil semillas se utilizó una balanza analítica (TE12S marca Sartorius).

Inicialmente, se utilizó como punto de partida para la separación de las semillas por peso, la calibración descrita en el testigo, la cual es recomendada por las normas INTA (2016) para determinar pureza de semillas de *Lotus corniculatus* L., que, aunque no sea la especie en estudio, presenta semillas de similar peso, obteniéndose por el método de soplado hasta un 97 % de semillas llenas.

Luego de obtenidas las semillas llenas, se evaluó la germinación, ubicando 100 semillas llenas en placa de Petri en cuatro réplicas. Para mantener la humedad del medio de germinación se usó papel de filtro, regando con agua destilada a temperatura media ambiente de 16 °C y manteniendo condiciones ambientales semicontroladas (laboratorio de Fitoquímica de UNIAGRARIA).

Unísono a lo anterior, la viabilidad se determinó mediante la prueba de tetrazolio, con cuatro réplicas de 100 semillas por tratamiento, rompiéndose la testa con una cuchilla de disección para facilitar la imbibición del embrión en 2, 3, 5 cloruro de Trifenil Tetrazolio al 1% por 24 h en oscuridad a temperatura media ambiente de 16 °C (Mancipe- Murillo et al., 2018). Completado el tiempo de imbibición, las semillas se lavaron con abundante agua destilada y se observaron al estereoscopio para visualizar con mayor facilidad cambios de coloración en radícula embrionaria y cotiledones. Las semillas se consideraron viables cuando la zona radicular y los cotiledones presentan color rosa; se tuvo en cuenta la tinción en la radícula y los cotiledones, pues si el embrión presenta una tinción no homogénea puede significar menor vigor, aunque no ausencia de viabilidad (Da Silva, et al., 2012), en tanto que el color rosa claro no homogéneo en la radícula o la ausencia de coloración de los embriones indica que no es viable.

2.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas el cual permitió estudiar los indicadores de calidad física y fisiológica de las semillas pesadas (SP) y semillas ligeras (SL), obtenidas a partir de las cuatro calibraciones de soplado por un tiempo todas de 3 minutos en el determinador de pureza mediante aire forzado del General Seed Blower New Brunswick - Model: ER- SP (Figura 1).

T1 - SP obtenida con apertura de 15 de la compuerta vernier - Testigo

T2 - SP obtenida con apertura de 15 y ligera apertura de 20 de la compuerta vernier

T3 - SP obtenida con apertura de 20 y ligera apertura de 25 de la compuerta vernier

T4 - SP obtenida con apertura de 25 de la compuerta vernier

Figura 1 - Equipo determinado de pureza física (General Seed Blower New Brunswick - Model: ER- SP) empleado para soplar las semillas.



Fuente: Elaborado por los autores (2023).

2.3 Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de todas las variables objeto de estudio, con la finalidad de describir y resumir los datos obtenidos para posteriores análisis inferenciales. En tal sentido se establece la media de las variables según el número de réplicas declaradas en los procedimientos para cada caso y para cada tratamiento. Así mismo se establecen la desviación estándar, el coeficiente de variación y el análisis de varianza – ANOVA ($\alpha= 0,05$). En caso de presentarse evidencia de diferencias significativas entre las medias, se aplicó la prueba de Tukey (Suárez-Rivero, 2011).

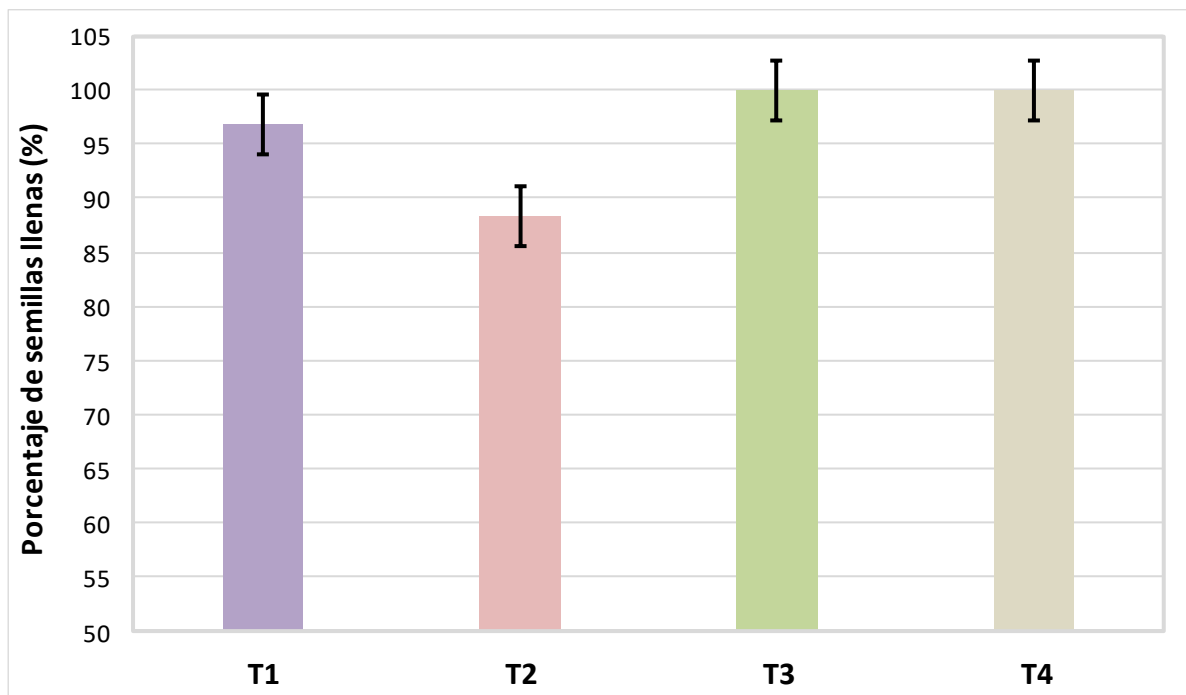
3. Resultados y Discusión

Al analizar la intensidad de soplado, según tratamientos declarados en el diseño experimental, la (Figura 2) muestra

como entre los porcentajes de los tratamientos T1 (96.75%), T3 (100%) y T4 (100%) no existen diferencias, siendo estos superiores significativamente respecto a T2 (88,25%) en cuanto al porcentaje de semillas llenas. Esta investigación muestra así la alta precisión del método para separar fracciones ligeras y pesadas, teniendo en cuenta que las semillas utilizadas para el estudio corresponden a T1 (testigo), cuando son sometida al tratamiento T2 se logra separar las semillas llenas, pero que son ligeras, de las pesadas (Figura 3) y así de las semillas vacías del lote.

En el contexto anterior, el bajo llenado y desarrollo del embrión en las semillas en *Espeletia grandiflora* durante el momento óptimo de cosecha, puede corresponder a factores intrínsecos de la especie o su interacción con el ambiente. Al desarrollarse en ecosistemas de páramos protegidos los factores con los que interactúa no pueden ser controlados con el fin de obtener mayor cantidad de semillas de calidad, haciéndose necesario aplicar métodos durante la poscosecha, específicamente tendientes a la selección física, que ayuden a separar las mejores semillas cosechadas según el grado de formación del embrión y su peso.

Figura 2 - Efecto de cuatro intensidades de soplado en el porcentaje de semillas llenas.



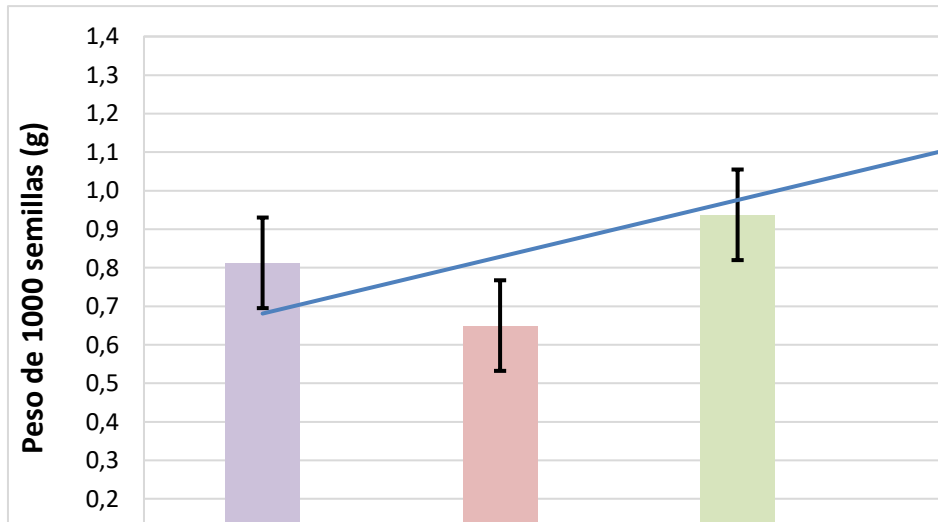
Fuente: Elaborado por los autores (2023).

Con lo anterior, se hace patente que la evaluación de métodos que ayuden a separar las semillas llenas de las vacías en *Espeletia*, como especie protegida en Colombia, ha sido poco estudiada. En este sentido, investigaciones realizadas por Pérez et al, (2014), Lara y Cárdenas (2015) y Mancipe-Murillo C. (2020), clasifican las semillas llenas y vacías manualmente con ayuda de estereoscopio y pinza, para retirarle la cubierta y corroborar visualmente si cuenta con embrión. Aunque es un método viable para seleccionar semillas llenas con fines investigativos, es una limitante para la propagación masiva de la especie. No aplicar métodos factibles que ayuden a obtener semillas de alta pureza física causa pérdidas en la propagación en la fase de vivero.

Así mismo, la Figura 3 evidencia que el peso de las semillas aumenta a medida que son sometidas a mayor flujo de aire, lográndose separar según su peso. El tratamiento de mayor peso se logró en T4 con 1.21 g en 1000 semillas, presentando diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, siendo las semillas de menor peso las obtenidas en T2 con 0.65 g. Es así como se puede afirmar que el peso de las semillas está asociado a las reservas energéticas que la componen, siendo

principalmente las grasas, carbohidratos y a veces proteínas, las que sostendrán la futura planta durante sus primeras etapas de vida. Estas reservas pueden encontrarse en diferentes tejidos o en el embrión, lo cual está relacionado con la germinación y el desarrollo de un nuevo individuo (Doria, 2010). Aun demostrado lo anterior en la mayoría de las semillas, es de aclarar que para Espeletia no se han estudiado las sustancias de reserva que componen la semilla y la influencia de la variabilidad de su peso en la germinación. Lo anterior hace suponer, así, la necesidad que existe de contar con semillas de óptimo peso, durante la propagación, que permitan garantizar un adecuado comportamiento germinativo.

Figura 3 - Efecto de cuatro intensidades de soplado en el peso de 1000 semillas (g).



Fuente: Elaborado por los autores (2023).

Unido a las variables anteriores, la viabilidad en la semilla expresada como el período de tiempo durante el cual estas conservan su capacidad para germinar (Doria 2010), resultó ser una variable que se vio afectada por el soplado. En este orden de ideas, los mejores porcentajes de viabilidad se lograron en las semillas obtenidas en los tratamientos T3 y T4 con 82% y 87.25% respectivamente, tal como puede observar en la Tabla 1. Estos resultados coinciden con las semillas de mayor peso mostrados en la Figura 2, no encontrándose diferencias significativas entre ellos, pero si respecto a la viabilidad de las semillas obtenidas en T1 (66%) y T2 (61,5%), siendo estas dos últimas las de menor peso.

Tabla 1 - Efecto del peso de las semillas en el porcentaje de viabilidad y germinación.

Variables (%)	Intensidades de soplado				p
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	
Viabilidad	66.0 ^a ± 3.65	61.5 ^a ± 3.10	82.0 ^b ± 2,16	87.25 ^b ± 2.75	0.0001
Germinación	37.5 ^a ± 3.87	31.0 ^a ± 2.44	54.5 ^b ± 3,69	62.25 ^c ± 4.11	0.0001

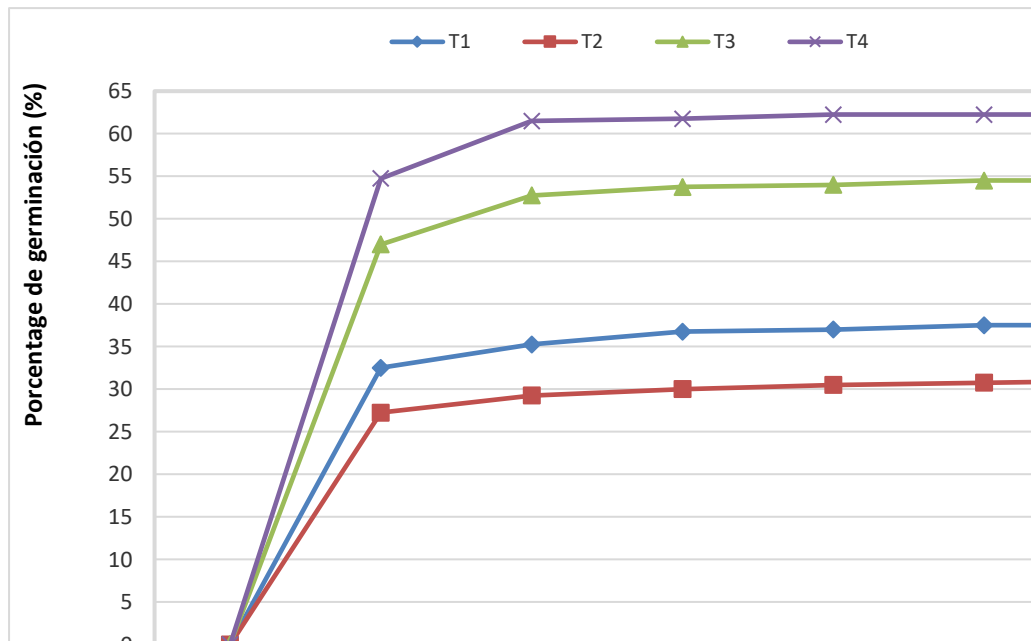
a, b, c Valores con letras diferentes entre las columnas difieren a $p < 0.05$. Fuente: Autores.

La germinación de las semillas obtenidas en el T4, en el orden del 62.25% (Tabla 1) fue superior significativamente al resto de los tratamientos, coincidiendo con los de mayor viabilidad, donde las menores germinaciones se obtuvieron en las semillas de T1 y T2 que coinciden con los de más baja viabilidad. Todo parece indicar que a medida que la semilla cuenta con mayor peso, se incrementa su viabilidad y poder de germinación.

Estudios realizados bajo otras condiciones para determinar la viabilidad de las semillas de Espeletia muestran la

variabilidad que se puede encontrar para este indicador. En este sentido, Mancipe-Murillo et al. (2018) obtuvieron porcentaje de viabilidad en *E. grandiflora* de 79,6%, mientras que Mancipe-Murillo (2020), para otras especies reportó una viabilidad en *E. corymbosa* de 71%, *E. summapacis* de 76%, *E. killipii* de 88% y en *E. barclayana* de 52%. Los resultados anteriores permiten inferir la alta heterogeneidad que se puede encontrar en la viabilidad de las semillas de diferentes especies dentro del género *Espeletia* y que podrían presentarse igualmente en la especie evaluada en esta investigación, pudiéndose aumentar su viabilidad y potencial de germinación al ser seleccionadas.

Figura 4 - Efecto del peso de la semilla en la dinámica de germinación acumulada.



Fuente: Elaborado por los autores (2023).

Por otra parte, y como complemento a los análisis de viabilidad y porcentaje de germinación, se presenta en la Figura 4 la dinámica acumulada de la germinación por tratamiento. En tal sentido, puede observarse que la dinámica de germinación de las semillas botánicas se ve influenciada por el factor peso de la semilla, teniendo que las de mayor peso T4 presentaron una tasa de germinación acelerada entre los 7 y 14 días (54.75%), siendo superior al resto a T1 (32.5%), T2 (27.25%) y T3 (47%), los que presentaron su mayor tasa de germinación en el mismo intervalo de tiempo, pero con menor energía germinativa. La menor tasa de germinativa entre los 7 y 14 días se obtuvo en el T2, siendo estas las de menor peso (Figura 3). En consonancia con lo anterior, entre los 14 y 21 días se continuó reportando un ligero incremento en la germinación de las semillas de los cuatro tratamientos. Para el intervalo de día 21 al 49 se mostró una meseta germinativa, caracterizada por la disminución o anulación del proceso. Aunque la germinación para este género es lenta comparada con otras especies, es evidente que contar con semillas de mayor calidad hace que se pueda disponer de material fitogenético de calidad en menor tiempo, lo que coincide con reports de Suárez-Rivero, et al. (2017).

Si las semillas germinan con mayor rapidez, seguramente habrá una notoria manifestación en la altura de la planta (longitud del tallo). Así, la mayor longitud del tallo (Tabla 2) se obtuvo en las plántulas provenientes de las semillas obtenidas del tratamiento T4 con 11.27 mm. Los tallos de menor longitud se mostraron en las plantas que se originaron de las semillas de menor peso (Figura 3 y Tabla 2) de T1 y T2 con 5.62 y 5.25 mm, respectivamente, obteniéndose diferencias significativas al resto de los tratamientos en ambos casos.

Tabla 2 - Efecto del peso de las semillas en el largo de los tallos y número de hojas.

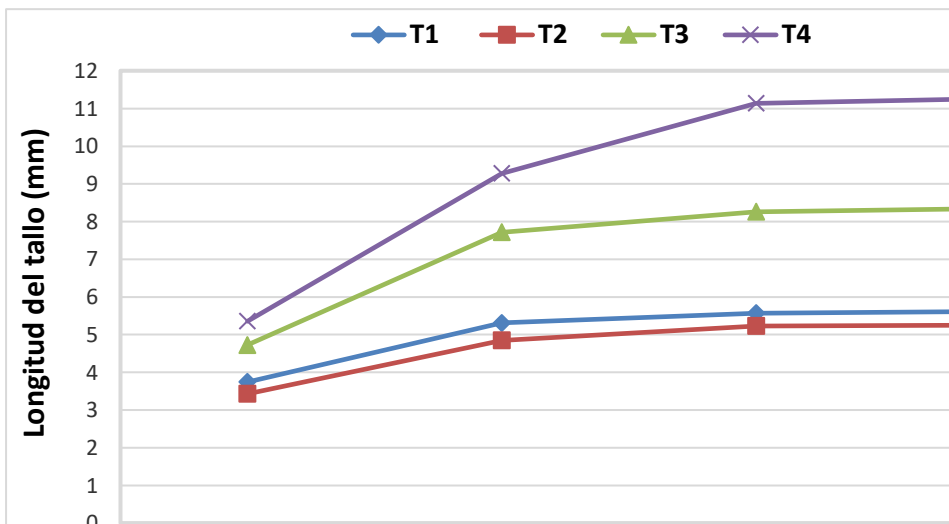
Variable de crecimiento	Intensidades de soplado				P
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	
Longitud del tallo (mm)	5.62 ^a ± 0.55	5.25 ^a ± 0.48	8.35 ^b ± 0.79	11.27 ^c ± 1.26	0.001
Número de hojas	4.8 ^b ± 0.44	3.6 ^a ± 0.54	5.0 ^b ± 0.70	7.0 ^c ± 0.70	0.001

a, b, c Valores con letras diferentes entre las columnas difieren a p<0.05. Fuente: Autores.

Por otra parte, no solo es suficiente con las reservas que la semilla posee acumuladas en su endospermo para la emergencia del embrión, pues esta se agotará rápidamente y se necesitará la formación de follaje (nomófilos). El mayor número de hojas formadas en el período evaluado por plantas (Tabla 2) se obtuvo en las germinadas a partir de las semillas del tratamiento T4 (se formaron 7 hojas), evidenciando diferencia significativa resto a los tratamientos restantes. Las plantas con menor número de hojas se presentaron en las provenientes de las semillas del tratamiento T2 con 3.6 hojas en promedio, siendo estas las de menor peso. Lo anterior indica, coincidiendo con lo que ocurre en otras especies como las gramíneas (Suárez-Rivero et al., 2016), que a medidas que aumenta el peso de las semillas, estas presentan mayor reserva energética que permiten que las plántulas alcancen una mayor longitud de sus tallos y con ello un mayor número de hojas, proporcionándoles mayor posibilidad de supervivencia a las adversidades del ambiente en sus primeras etapas de vida, es decir, a factores extrínsecos.

Similar a lo observado en la dinámica de germinación (Figura 4), para la dinámica de crecimiento del tallo (figura 5), se pudo apreciar que en las plántulas producidas a partir de las semillas de mayor peso (tratamiento T4) se presentó una tasa de crecimiento acelerada entre el día 14 y 74 después de realizada la siembra, con una longitud final de 11.14 mm, siendo superior al resto de los tratamientos, similar a lo observado en maíz por Suárez-Rivero, et al. (2021). Es así como para T1, T2 y T3 se obtuvieron valores de 5.57 mm, 5.23 mm y 8.26 mm, respectivamente. Entre el día 74 y el día 104 se continuó reportando un ligero incremento en el crecimiento de los tallos de las plántulas derivadas de las semillas de los cuatro tratamientos, solo que la velocidad de crecimiento se ve disminuida. En general en este estudio se observa un lento crecimiento del tallo comparado con otras especies distintas al género evaluado, siendo un comportamiento propio del género *Espeletia*, tal como señala Gaitán (2018), quien reporta un crecimiento entre 1 a 4 centímetros al año para esta.

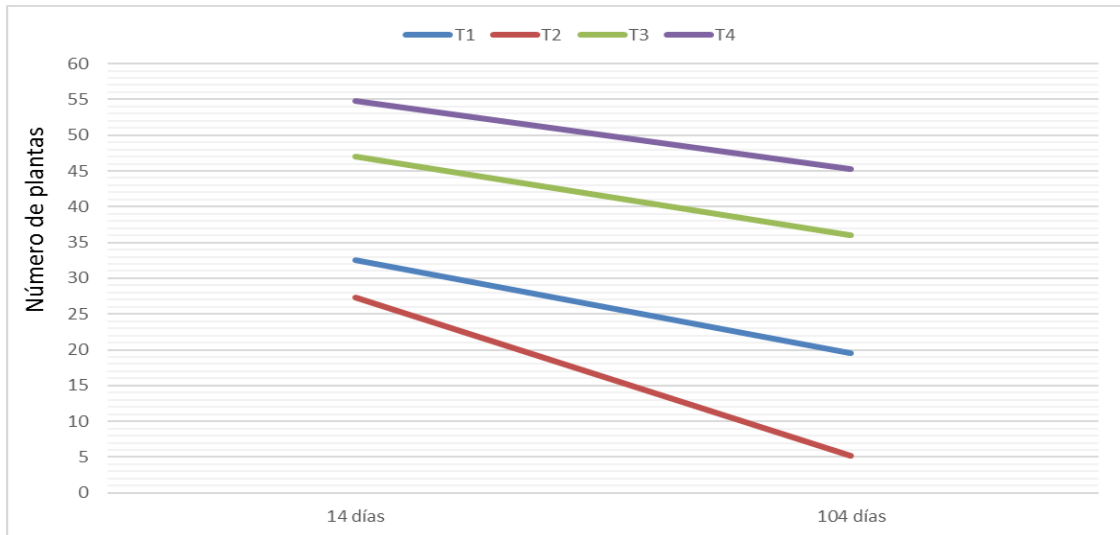
Figura 5 - Efecto del peso de las semillas en la dinámica de crecimiento de las plantas en los primeros tres meses.



Fuente: Elaborado por los autores (2023).

Posterior a la germinación, las plántulas son individuos vulnerables que están expuestos a diversos factores extrínsecos bióticos y abióticos que limitan su supervivencia en el ecosistema donde crecen, existiendo factores intrínsecos ligados directamente a los factores ambientales o extrínsecos de la especie (Suárez-Rivero *et al.*, 2023). Esto provoca que sólo una pequeña fracción de los individuos germinados consiga establecerse, siendo las primeras semanas de crecimiento una de las etapas más críticas en el ciclo de vida de una planta tal como señalan Ruiz (2008) y Suarez-Rivero (2023).

Figura 6 - Efecto del peso de las semillas en la supervivencia de las plántulas en los primeros tres meses.



Fuente: Elaborado por los autores (2023).

Tal como se observa en la Figura 6, la mayor supervivencia a los 104 días de germinadas las semillas, se presentó en las plántulas obtenidas a partir del tratamiento T4, siendo estas las que presentaron mayor peso al momento de la siembra, consiguiendo un promedio de supervivencia de 45.25 plantas, con una mortalidad del 9.5. La menor supervivencia de 5.25 plantas de 27.25 iniciales se obtuvo en las semillas más ligeras obtenidas en el tratamiento T2 (Figura 6), suponiendo una mortalidad de 22 plantas.

4. Conclusiones

La prueba de viabilidad con tetrazolio fue superior a la germinación; al parecer las semillas presentan dormancia, posiblemente de tipo fisiológica.

Todo parece indicar que cuando las semillas presentan mayor peso, como es lo ocurrido en el tratamiento T4, estas cuentan con mayor reserva que le permite proveer a las plántulas de energía suficiente para su crecimiento y desarrollo inicial, así como impulsar la formación de las primeras hojas (nomófilos) e incrementar la capacidad de estas, de sobrevivir a las posibles condiciones adversas del ambiente donde crecen y se desarrollan. Así las plantas sometidas al tratamiento T4 son las que superaron positivamente en todas variables estudiadas al resto de tratamientos.

Si bien los medios de difusión masiva realizan campañas en torno a la preservación de los páramos, existe poca evidencia científica tendiente a estandarizar los métodos de propagación, revistiendo así los resultados que en este artículo de gran novedad en el tema dado su impacto para la restauración de los ecosistemas de páramos. Este estudio permite así el logro de mayor eficacia y eficiencia en el proceso germinativo de las semillas botánicas y se convierte en referente para planes de reforestación de páramos colombianos con la especie en estudio.

Agradecimientos

Especialmente a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, así como a la Fundación Universitaria Agraria de Colombia -UNIAGRARIA, dado el apoyo financiero en el desarrollo del proyecto; así mismo al acueducto Aguasiso, del municipio de Sibaté, departamento de Cundinamarca, Colombia, quien facilitó el acceso al recurso fitogenético y con ello la colecta del material vegetal, así como a las demás instituciones participantes (Universidad Cooperativa de Colombia - UCC y Universidad del Magdalena) por el aporte en conocimientos y horas de trabajo para que sus investigadores formaran parte del equipo de trabajo que propende por la recuperación del frailejón en los páramos colombianos. Así mismo se agradece al personal del laboratorio de calidad de semillas del Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, específicamente en el Complejo de Laboratorios Nacionales de Análisis y Diagnósticos ubicado en Mosquera, Cundinamarca, Colombia, por facilitar el uso del equipo de soplado de semillas y el acompañamiento durante su utilización.

Referencias

- Bonfil, C. (1998). The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). *Am. J. Bot.* 85(1): 79-87. <https://doi.org/10.2307/2446557>
- Céspedes, K. (2018). Determinación de los patrones de tinción y efecto de la giberelina sobre la germinación de las semillas de caoba (*Swietenia macrophylla*) y Guayacán amarillo (*Handroanthus chrysanthus*). Proyecto de Investigación - Innovación para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Pág 93. Pag 19-20. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7725/CespedesTorresKaterineAndrea2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Da Silva, C. B., Barbosa, R. M., Vieira, R. D. (2012). Evaluating sunn hemp (*Crotalaria juncea*) seed viability using the tetrazolium test. *Seed Technol.* 34 (2): 263–272. 10.13140
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*, 31(1): 74-85.
- Gaitán-Naranjo, M. A. (2018). Identificación de hongos asociados a lesiones de frailejones (*Espeletia* spp.) en páramos de Cundinamarca. Pontificia Universidad Javeriana. <http://hdl.handle.net/10554/39200>
- Gallego, A. M. (2014). Ofertas de semillas, germinabilidad y micrositos de establecimiento de *Espeletia uribei* cuatrec. 1978. en el Parque Nacional Chingaza – Cundinamarca (Tesis de maestría), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/47917/>
- González, V. R., Villar, R. M., Navarro, R. M. (2008). Efecto del peso de la semilla y del progenitor en la biomasa y uso de las reservas de 4 especies de *Quercus*. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 28, 151-156. <https://doi.org/10.31167/csef.v0i28.9787>
- ISTA. (2016). *Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas*. 192 p. https://vri.umayor.cl/images/ISTA_Rules_2016_Spanish.pdf
- Lara, K. F., Cárdenas, J. E. (2015). Aspectos de la propagación sexual de *Espeletia grandiflora* en un sector intervenido del páramo de Chisacá (P.N.N. Sumapaz, Colombia). Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 119 p.
- Mancipe-Murillo, C., Calderón-Hernández, M., Pérez-Martínez, L.V. (2018). Evaluación de viabilidad de semillas de 17 especies tropicales altoandinas por la prueba de germinación y la prueba de tetrazolio / *Assessment of seed viability of 17 high andean tropical species by germination and tetrazolium tests*. *Caldasia*, 40(2), 366–382. <https://www.jstor.org/stable/26553144>
- Mancipe-Murillo, C. (2020). Propagación de *Espeletia corymbosa*, *Espeletia barclayana*, *Espeletia summapacis* y *Espeletia killipii* en condiciones de invernadero. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 44(172):780-793. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1105>
- Pérez, L. V., Rodríguez, N. A., Vargas, O., Melgarejo, L. M. (2014). *Germinación y dormancia de semillas. Semillas de Plantas de Páramo: Ecología y Métodos de Germinación Aplicados a La Restauración Ecológica*, July, 64-113.
- Quero, J. L., Villar, R., Maraño, T., Zamora, R., Poorter, L. (2007). Seed mass effects in four mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments. *Am. J. Bot.* 94(11): 1795-1803. 10.3732/ajb.94.11.1795
- Ruiz, F. P. (2008). Factores limitantes y estrategias de establecimiento de plantas leñosas en ambientes semiáridos. *Implicaciones para la restauración. Ecosistemas*, 17(1). Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/490>
- Suárez-Rivero, D. (2011). *Estadística Inferencial*. Editorial EDUCC, 49 – 63.
- Suárez-Rivero, D., Marin-Mahecha, O., Ortiz-Aguilar, J., Puentes, A. E., Suarez-Rivero, M., Guzman-Hernandez, T. D. J. (2021). Incorporation of Electromagnetic Fields as an Alternative Technology to Increase Starch Production in Corn Crops, *Chemical Engineering Transactions*, 87, 121-126 DOI:10.3303/CET2187021
- Suárez-Rivero, D., Sua, A. M., Marin-Mahecha, O., Mejia-Teran, A., Suarez-Rivero, M., Santis, A. M. (2016). Evaluation of the effect of two types of fertilizer on the growth, development and productivity of hydroponic green forage oat (*Avena sativa* L.) and ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) as a biomass source, *Chemical Engineering Transactions*, 50, 385-390. 10.3303/CET1650065

Suárez-Rivero, M., Marín-Mahecha, O., Ortiz-Aguilar, J., Sánchez-Quiñones, E. P., Fuentes-Reines, J., Suárez-Rivero, D. (2023). Establecimiento del momento óptimo de cosecha de semillas botánica de *Espeletia grandiflora* para la propagación y conservación de la especie. *Research, Society and Development*, 12 (6), e28912642362. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i6.42362>.

Suárez-Rivero, D., Marín-Mahecha, O., Salazar-Torres, V., Real, X., Ortiz-Aguilar, J., Suárez-Rivero, M. (2017). Biomass production and morphophysiological effects on sunflower plants (*helianthus annuus* L.) under induced magnetic fields, *Chemical Engineering Transactions*, 57, 115-120 10.3303/CET1757020

Suárez-Rivero, Deivis (2023). Efecto de campos electromagnéticos inducidos a baja intensidad sobre procesos morfo-fisiológicos y de productividad de *Zea mays* L. var Porva, como alternativa tecnológica sostenible para la producción agrícola. Tesis de Doctorado. Doctorado em Ciências Naturales para el Desarrollo, Instituto Tecnológico de Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/14414/TFSC1624_BIB310515_TFG_DOCINADE_Su%20a1rez-Rivero%20Deivis_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Velasco, V. M. (2018). Biología reproductiva de una población *Espeletia curialensis* var. *Exigua* Rodr. Cabeza y S. Díaz (cordillera Oriental, Colombia). Tesis de maestría. Manejo, uso y conservación del bosque. Universidad Distrital de Colombia.