

# Aporte técnico y ambiental a la gerencia integral de proyectos de obra en Boyacá con el uso de adoquines compuestos por materiales residuales\*

## Contributions to sustainable development, with the recovery of paramo ecosystems through the study of frailejones germination

Camila Alexandra Vargas-Buitrago \*\*\*

Julián David Lara- Benavides \*\*\*

Julio Cesar Cubillos \*\*\*\*

Nubia Edith Céspedes-Prieto\*\*\*\*\*

Recibido: junio 14 de 2024 - Evaluado: agosto 28 de 2023 - Aceptado: septiembre 20 de 20244

### Para citar este artículo / To cite this Article

C. A. Vargas-Buitrago, J.D. Lara- Benavides, J. C. Cubillos, N. E. Céspedes-Prieto “Aporte técnico y ambiental a la gerencia integral de proyectos de obra en Boyacá con el uso de adoquines compuestos por materiales residuales”, Revista de Ingenierías Interfaces, vol. 7, no.2, pp.1-13, 2024.

### Resumen

La recuperación de ecosistemas de páramo son una contribución a la sostenibilidad ambiental porque el conocimiento para la germinación, desarrollo y crecimiento del frailejón, lleva a la revegetalización y con ellos a la recuperación de ecosistemas de páramo es un reto que requiere de procesos de investigación que permita la recuperación de los páramos colombianos, especialmente con la *Espeletia killipii*, especie en riesgo de extinción y esencial para la retención y generación de fuentes de agua. Los resultados de esta investigación dan a conocer procedimientos que llevan a resultados con un alto rendimiento en la germinación con sustratos específicos.

**Palabras clave:** Desarrollo sostenible, recuperación ecosistemas de páramo, Germinación, frailejón.

### Abstract

The recovery of paramo ecosystems is a contribution to environmental sustainability because the knowledge for the germination, development and growth of frailejón leads to revegetation and with them the recovery of paramo ecosystems is a challenge that requires research processes that allows the recovery of the Colombian moors, especially with the *Espeletia killipii*, a species at risk of

---

\*Artículo inédito: “Aporte técnico y ambiental a la gerencia integral de proyectos de obra en Boyacá con el uso de adoquines compuestos por materiales residuales”.

\*\*Camilavargas310@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6244-1739, Colombia.

\*\*\*juliandavid.91@hotmail.com, ORCID: 0009-0000-0212-6457, Colombia.

\*\*\*\* cubilloscrash@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4926-7414>, Colombia.

\*\*\*\*\*necespedesp@unal.edu.co, ORCID: 0000-0001-6334-989X, Colombia.

extinction and essential for the retention and generation of water sources. The results of this research reveal procedures that lead to results with high performance in germination with specific substrates

**Keywords:** sustainable development, recovery of paramo ecosystems, germination, frailejón.

## 1. Introduction

Teniendo en cuenta que el objeto del desarrollo sostenible es satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. (García-Cabana, 2021). Y para la agenda global adoptada por las Naciones Unidas desde el 2015 propuso los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) con el fin de promover el bienestar humano y la protección del medio ambiente. Y con este trabajo se aporta al número 15, que hace referencia a la vida de los ecosistemas terrestres y tiene como meta proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas, gestionar los bosques de forma sostenible, combatir la desertificación, detener e invertir la degradación de la tierra y detener la pérdida de biodiversidad porque con la protección de los páramos, ecosistemas de alta montaña que albergan una gran biodiversidad y regulan el ciclo hidrológico, es fundamental para lograr este objetivo y para ello es necesario tener una visión estratégica y participativa.

La relación entre los ODS y la protección de los páramos es evidente, ya que al conservar estos ecosistemas se contribuye a varios de los objetivos planteados por la agenda global. Por ejemplo, al proteger los páramos se garantiza el acceso al agua potable y al saneamiento (ODS 6), se combate el cambio climático y sus efectos (ODS 13), se conserva la vida de las especies terrestres (ODS 15) y se fomenta el uso racional de los recursos naturales (ODS 12). Además, al involucrar a las comunidades locales en la gestión sostenible de los páramos se promueve el fin de la pobreza (ODS 1), el trabajo decente y el crecimiento económico (ODS 8), la reducción de las desigualdades (ODS 10) y las alianzas para lograr los objetivos (ODS 17). Por lo tanto, se puede afirmar que la protección de los páramos es una acción estratégica para alcanzar los ODS y para asegurar el desarrollo sostenible de las regiones andinas donde se encuentran estos ecosistemas únicos y vitales.

El frailejón es una planta nativa de los páramos de Colombia, Venezuela y Ecuador, que pertenece a la familia Asteraceae y al género Espeletia. El ciclo de vida del frailejón es muy largo, ya que puede tardar entre 100 y 300 años en alcanzar su altura máxima, que puede variar entre 2 y 3 metros. El frailejón tiene una función ecológica muy importante, pues capta la humedad de la neblina con los pelos que cubren sus hojas y la libera al suelo por sus raíces, contribuyendo así a la formación y conservación de fuentes hídricas. Además, el frailejón sirve de alimento y refugio para muchas especies de aves e insectos, y tiene propiedades medicinales para tratar diversas dolencias humanas. El frailejón es un símbolo de la biodiversidad andina y un recurso natural valioso que debemos proteger y cuidar.

El frailejón es una planta nativa de los páramos andinos, que se caracteriza por tener hojas gruesas y vellosas, y flores amarillas que se agrupan en inflorescencias. (CAR, Corporación Autónoma Regional, 2022). El frailejón tiene una gran importancia ecológica y económica para los páramos, ya que cumple varias funciones vitales entre las que se destacan: regula el

ciclo hidrológico, captando la humedad de la niebla y la lluvia, y almacenándola en sus hojas y tallos. Luego, la libera lentamente al suelo, alimentando los acuíferos con las cuales se alimentan las reservas hídricas de los páramos que luego son aprovechadas por millones de personas; protege el suelo de la erosión, evitando la pérdida de nutrientes y materia orgánica; brinda refugio y alimento a numerosas especies endémicas de los ecosistemas de montaña; contribuye a la mitigación del cambio climático, al capturar el dióxido de carbono de la atmósfera y almacenarlo en sus tejidos para transformarlo en oxígeno y energía. Se estima que los páramos almacenan entre 50 y 200 toneladas de carbono por hectárea. Por estas razones, el frailejón es una especie clave para la conservación de los páramos, que son ecosistemas únicos y vulnerables. Sin embargo, la intervención antrópica en estos ecosistemas de montaña debido a la deforestación, el sobrepastoreo, los incendios forestales, las especies invasoras y el calentamiento global. Han puesto llevado al frailejón a ser una especie en vía de extinción debido a que su ciclo de reproducción y crecimiento es complejo y exige muchos años razón por la cual el frailejón necesita medidas urgentes de conservación para evitar su extinción y proteger su valor ecológico, cultural y económico. Por ello, es necesario implementar medidas de protección y restauración de los hábitats del frailejón, así como promover su valoración y uso sostenible por parte de las comunidades locales. Estas acciones pueden beneficiar tanto al frailejón como a las personas que viven en los páramos o en sus alrededores. Proteger al frailejón es proteger el agua, la biodiversidad y el clima de nuestro planeta.

La importancia en términos de conservación de los ecosistemas de paramo está ligado a los diferentes servicios ecosistémicos que estos proveen, no obstante, las diferentes presiones que se ejercen sobre estos son producto en su gran mayoría por acciones antropogénicas entre las cuales se identifican las generadas por sectores relacionados con: desarrollo de infraestructura, la producción agropecuaria, la minería especialmente aquellas explotaciones que se hacen de manera ilícita, en menor escala pero con un efecto negativo el sector comercial y turístico. Los cambios ecosistémicos generados han ocasionado cambios en las dinámicas de los páramos la modificación del paisaje de alta montaña tropical, en distintas escalas, ocasionadas por la frecuencia de la intervención o la magnitud que la intervención genera en las distintas escalas espaciotemporales Cabrera & Ramírez, (2014). Un factor determinante para la conservación del frailejón está en establecer las condiciones ideales de germinación y para ello se debe trabajar en la caracterización del sustrato y las condiciones ambientales requeridas para éste proceso es por ello que ésta investigación se centra en evaluar de manera cuantitativa estos factores encontrando que las condiciones más favorables de germinación están en las que ofrece el tradicional algodón, enriquecido con las propiedades que ofrece el agua del páramo. Y que el sustrato más favorable para su crecimiento es tener un alto porcentaje de tierra del páramo del medio original. Así mismo se logra establecer los elementos de recolección y preparación de las semillas del frailejón. Por último, se recomienda una investigación más extensa para establecer el rendimiento de las semillas a largo plazo y obtener una tendencia de germinación, adaptación desarrollo, crecimiento y supervivencia de las plántulas germinadas del frailejón.

El frailejón por ser una planta endémica de los ecosistemas de páramo tiene adaptaciones a condiciones extremas de frío, viento y radiación solar, características que comparte y mantiene con las especies que forma estos ecosistemas tan particulares y que debido al uso indiscriminado de actividades agropecuarias, esta siendo vulnerado y amenazado así, que

conocer los retos del frailejón para su reproducción y conservación se considera un aporte significativo para los estudios de conservación ecosistémica. Según los últimos reportes, se ha perdido más del 50% de la superficie original de los ecosistemas de frailejón en Colombia, Ecuador y Venezuela, lo que pone en riesgo la supervivencia de muchas especies endémicas y la seguridad hídrica de millones de personas. Es urgente implementar medidas de conservación y restauración que protejan estos ecosistemas y sus funciones vitales.

Estas especies se caracterizan por tener procesos de reproducción sexual o asexual. La reproducción sexual implica la producción de semillas, que son dispersadas por el viento o por los animales. La reproducción asexual ocurre por medio de la formación de hijuelos, que son brotes laterales que se separan de la planta madre y generan nuevos individuos. Ambos tipos de reproducción tienen ventajas y desventajas, dependiendo de las condiciones ambientales y genéticas.

La reproducción sexual permite la variabilidad genética, lo que favorece la adaptación a los cambios climáticos y la resistencia a las plagas y enfermedades. Sin embargo, este tipo de reproducción requiere de la polinización, que depende de la presencia y actividad de los agentes polinizadores, como las abejas, los colibríes y los murciélagos.

La reproducción asexual permite la colonización rápida de espacios vacíos, lo que facilita la recuperación de áreas degradadas. Además, este tipo de reproducción asegura la continuidad de las características genéticas favorables, que han sido seleccionadas por la evolución. Sin embargo, este tipo de reproducción reduce la variabilidad genética, lo que puede comprometer la capacidad de adaptación y resistencia a largo plazo. Asimismo, la reproducción asexual puede ser afectada por factores físicos, como el pisoteo del ganado o los deslizamientos de tierra, que pueden dañar o arrancar los hijuelos.

Lo anterior permite establecer que el frailejón enfrenta varios retos para su reproducción, tanto sexual como asexual, que ponen en riesgo su supervivencia y su función ecológica en los páramos. Por lo tanto, se requieren acciones urgentes para proteger su hábitat, conservar su diversidad genética y restaurar sus poblaciones. Con el fin de no afectar la importancia ecosistémica del frailejón como un regulador de las fuentes hídricas naturales.

Para enfrentar estos retos, se requiere de acciones conjuntas entre los diferentes actores sociales e institucionales que tienen incidencia en el manejo y la conservación de los páramos. Algunas de estas acciones son: el fortalecimiento de las capacidades locales para el monitoreo y la restauración del frailejón, la implementación de sistemas productivos sostenibles que reduzcan la presión sobre los ecosistemas, la sensibilización y educación ambiental de la población sobre la importancia del frailejón y sus beneficios, y la generación de alianzas estratégicas entre los sectores público, privado y académico para impulsar la investigación y la innovación en torno al frailejón. Estas medidas contribuirían a mejorar las condiciones de vida de las comunidades locales y a garantizar la conservación del frailejón y de los páramos andinos para las generaciones futuras.

## 2. Materiales y Métodos

Desde el enfoque cuantitativo ésta investigación busca utilizar métodos y técnicas cuantitativas que establezcan las condiciones y relaciones entre las variables de germinación para el frailejón *Espeletia Kipilli* que desde procesos experimentales que contemplan un diseño previo, objetivo y sistemático donde al identificar y estudiar las variables se logren identificar las variables y su nivel de incidencia en el proceso de germinación de esta especie

La investigación experimental es un método científico que consiste en manipular una o más variables independientes y observar sus efectos sobre una o más variables dependientes, controlando el resto de los factores que puedan influir en el resultado. Este tipo de investigación permite establecer relaciones causales entre las variables y comprobar hipótesis mediante la recolección y análisis de datos cuantitativos. La investigación experimental se aplica principalmente en las ciencias naturales y sociales, aunque también puede emplearse en otras disciplinas como la educación, la psicología o la economía.

Las fases en las que se ejecutó la investigación corresponden a:

### Fase I. Recolección del material vegetal

Se realizaron recolectas de semillas de frutos maduros en cuatro poblaciones de frailejones ubicadas en áreas aledañas al batallón de Alta Montaña No. 01 “BAMAR” localizado en el páramo de Sumapaz, el material cosechado no supero más del 20% de las semillas sanas disponibles (DiSacco et al., 2020).

Cada colecta esta soportada con colecciones de herbario y fueron depositas en el Herbario del Jardín Botánico de Bogotá. En la población uno se recolectaron semillas de *Espeletia killipii* (municipio de Cabrera, Cundinamarca; N3 49.281, W74 24.244, 3.376 m, voucher de herbario CIBS 990); en la población dos se recolectaron semillas de *E. grandiflora* (Cabrera, Cundinamarca; N3 49.601 W74 24.844, 3.281 m, voucher de herbario CIBS 991); en la población tres se recolectaron semillas de *E. killipi* (Cabrera; N3 50.855 W74 24.157, 3.444 m, voucher de herbario CIBS 992); y en la población cuatro se recolectaron semillas *E. killipii* (Bogotá D.C; N3 49.405 W74 23.691, 3.341 m s.n.m, voucher de herbario CIBS 993).Ejemplo de encabezado terciario..



**Figura 1.** Proceso de recolección de flores para obtención de semillas de *Espeletia killipii*

## **Fase II. Determinación de la variable de condiciones por proporción de semillas llenas, vacías e infectadas**

Para cada población se realizaron pruebas de corte de cuatro réplicas de 20 semillas. Una vez realizada la prueba de corte se registró el número de semillas llenas, vacías e infectadas, y se calculó la proporción de semillas llenas mediante la formula (DiSacco et al., 2020):

Proporción de semillas llenas =  $N^{\circ}$  de semillas llenas /  $N^{\circ}$  de semillas cortadas.

Los frailejones suelen tener altos porcentajes de semillas vacías, por lo cual se realizó una sobre siembra, con lo que se buscó que los ensayos tuvieran aproximadamente el mismo número de semillas con embrión (DiSacco et al., 2020). El cálculo de la sobre siembra se realizó mediante la formula (DiSacco et al., 2020):

## **Fase III. Pruebas de viabilidad con tetrazolio**

Para cada población se evaluó la viabilidad de las semillas mediante la prueba de 2,3,5-trifeniltetrazolio (prueba de tetrazolio). En cada prueba se realizaron tres replicas, el número de semillas por replica tuvo en cuenta los resultados de la sobre-siembra, tomando 20 semillas como semillas necesarias para el ensayo.

Para el desarrollo de esta prueba las semillas fueron hidratadas con agua por 24 horas; posteriormente se les agregó una solución de tetrazolio al 1% y se dispusieron en condiciones de oscuridad en un horno a una temperatura de 40 °C por 24 horas (Mancipe-Murillo, 2020; Mancipe-Murillo et al., 2018; Suárez-Ballesteros et al., 2018). Una vez cumplido el tiempo se registró el número de semillas viables, inviables y vacías, las semillas se consideraron viables cuando la zona radicular y los cotiledones presentaron color rosado (DiSacco et al., 2020; Mancipe-Murillo, 2020).

## **Fase IV. Pruebas de germinación**

Los ensayos de germinación fueron montados el 16 de mayo en el laboratorio del BAMAR, durante el desarrollo de la investigación el laboratorio presentó una temperatura y humedad máxima de 29.3°C/95.6%, una temperatura y humedad mínima de 2.5°C/43.5% y una temperatura y humedad promedio de 12.4°C/75.8%.

Para cada población se realizaron ensayos de germinación en cajas de Petri utilizando como sustrato algodón, las cajas de Petri fueron selladas con papel flexible para la población que presentó la mayor proporción de semillas llenas.

Se evaluó la germinación en cuatro sustratos:

Sustrato 1. Tierra de páramo (P); seis partes de tierra de paramo, dos partes de cascarilla quemada de arroz y dos partes de turba (PCT);

Sustrato 2. Tierra de vivero (T); seis partes de tierra de vivero, dos partes de cascarilla quemada de arroz y dos partes de turba (TCT).

Estos ensayos fueron sembrados en bandejas de polipropileno de 117 alveolos.

Cada ensayo estuvo compuesto por tres replicas, el número de semillas por replica dependió de los resultados de la sobre-siembra.

Se realizaron monitoreos de germinación una vez por semana, para registrar la germinación de las semillas se tuvo en cuenta que la emergencia de la radícula a través de los tejidos circundantes fuera de mínimo 2 mm (Bewley et al., 2013).



**Figura 2.** Imagen de las plantulas germinadas de frailejon frailejón, *Espeletia killipii*

Previo a la siembra, se realizó una desinfección de las semillas empleando hipoclorito de sodio al 1% por cinco minutos, posterior a esto las semillas se lavaron con agua destilada (Muñoz & Ackerman, 2011).



**Figura 3.** Proceso de tratamientos previos a la germinación de *Espeletia killipii*

## Resultados

Para cada población se calculó el porcentaje de germinación (PG) y el tiempo medio de germinación (TMG), mediante las fórmulas (Ranal & Santana, 2006):

$$PG = (N/N_s) \times 100$$

$$TMG = \frac{\sum Kt=1 n_i t_i}{\sum Kt=1 n_i}$$

donde N es el número de semillas germinadas, Ns es el número de semillas totales, ni es el número de semillas germinadas en la iésima toma de datos, ti es el tiempo (días) de la iésima toma de datos y k es el tiempo en días de duración de la prueba de germinación.

Se probó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de confianza del 95 %. Se evaluó las diferencias significativas entre los porcentajes de germinación de las poblaciones, la influencia de las condiciones de siembra en la germinación de la población que presentó la mayor proporción de semillas llenas y los tiempos medios de germinación de los diferentes ensayos.

Los datos que presentaron una distribución normal fueron analizados con ANOVA, mientras que los datos que no presentaron una distribución normal fueron analizados con la prueba de Kruskal-Wallis. Los gráficos y los análisis estadísticos se realizaron con el Software STATGRAPHICS Centurion versión 19.2.02.

La población uno (*E. killipii*) presentó la mayor proporción de semilla llenas seguida por la población tres (*E. killipii*), a partir de estos resultados se escogió la población uno (*E. killipii*) para evaluar la influencia de diferentes condiciones de siembra en la germinación.

La prueba de viabilidad con tetrazolio a excepción de la población dos arrojó (*E. grandiflora*) porcentajes similares de semillas viables, en general se observaron mayores porcentajes de semillas vanas respecto a las semillas viables y las semillas inviables. Las poblaciones de *E. killipii* presentaron mayores porcentajes de semillas viables respecto a la población de *E. grandiflora* (TABLA 1, Fig 1).

**TABLA 1.** Resultados proporción de semillas llenas y número de semillas sembradas para cada replica generada a partir de la fórmula de sobre siembra.

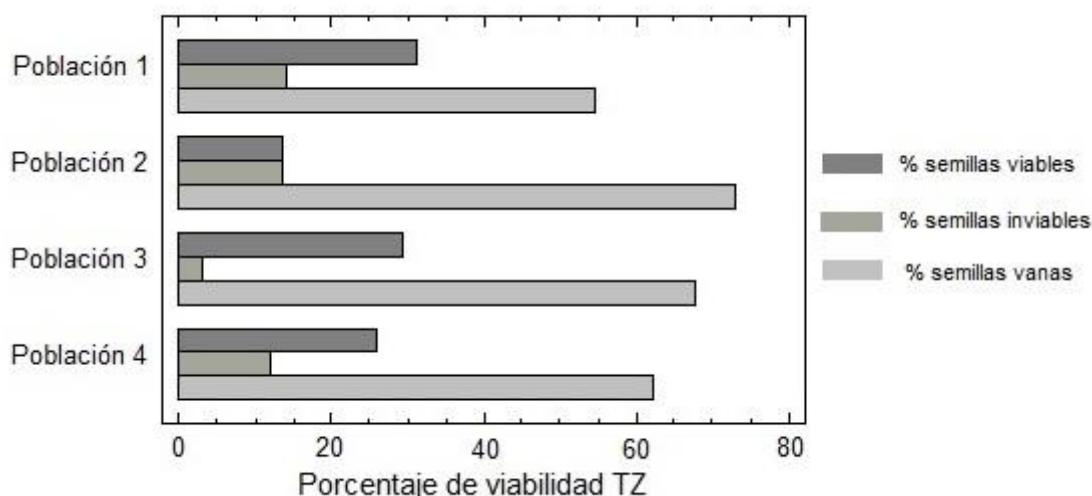
Población	Especie	Proporción de semillas llenas	Replicas
1	<i>Espeletia killipii</i>	0,60	33
2	<i>Espeletia grandiflora</i>	0,43	47
3	<i>Espeletia killipii</i>	0,45	44
4	<i>Espeletia killipii</i>	0,38	53

**Fuente:** el autor

Las especies evaluadas presentaron variaciones en la proporción de semillas llenas y la viabilidad de las semillas con la prueba de tetrazolio. Respecto a la proporción de semillas llenas se encuentran variaciones en el número de semillas con embrión, la cercanía entre las poblaciones evaluadas no tiene influencia proporción de semillas llenas, esto se evidenció en la población uno (*E. killipii*) la cual tuvo una proporción mayor de semillas llenas respecto a las otras poblaciones. Estas variaciones pueden estar relacionadas con los

comportamientos de floración dentro y entre las especies los cuales pueden estar influenciados por factores como la edad, tasas de crecimiento, precipitaciones, genotipo, disponibilidad de recursos y humedad del suelo (Fagua et al 2007).

Se encontraron mayores porcentajes de semillas vanas respecto a los porcentajes de semillas viables y sin tinción. La viabilidad de las semillas en poblaciones de frailejones puede variar dependiendo de la fenología reproductiva en las poblaciones de frailejones, Fagua et al (2007) destaca que la floración antes de la estación seca podría reducir el daño de los capítulos y asegurar que haya suficientes disponibles para la maduración de las semillas. Se han encontrado variaciones en la viabilidad de semillas dentro de una misma especie, como es el caso de *E. killipii* que ha registrado porcentajes de tinción de 88% (Mancipe-Murillo 2020), entre 31 % y 25.7 % en el presenta trabajo y 15.9 % (Mancipe-Murillo 2018). Casos similares se han encontrado para *E. grandiflora* en donde se registrados porcentajes de tinción de 34.3 % (Mancipe-Murillo 2018) y 13.5% en el presente trabajo.

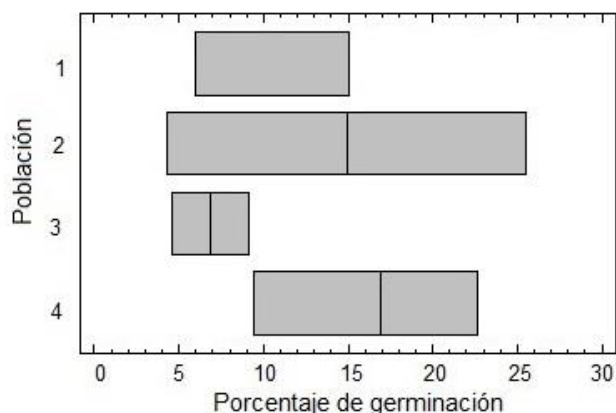


**Figura 1.** Resultados pruebas de viabilidad con la prueba de tetrazolio para las cuatro poblaciones evaluadas. Población 1 (*E. killipii*), población 2 (*E. grandiflora*), población 3 (*E. killipii*), población 4 (*E. killipii*).

No se registraron diferencias significativas ( $F=3,81,12$ ;  $P=0,396$ ) entre los porcentajes de germinación de las cuatro poblaciones estudiadas.

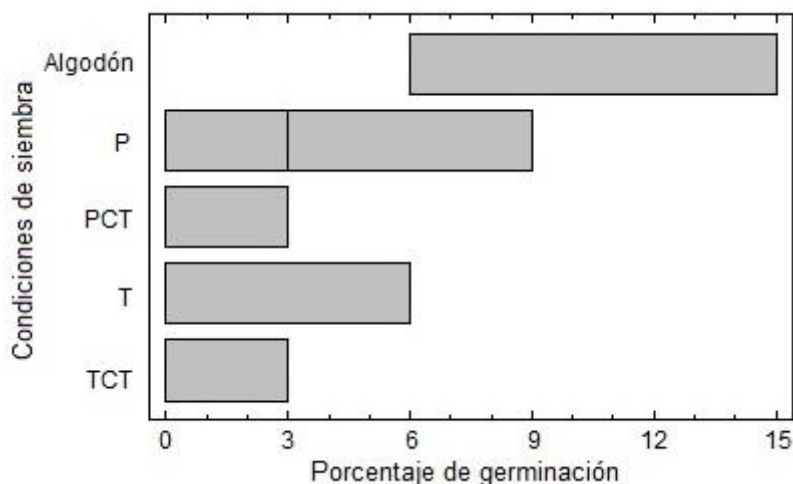
La población dos (*E. grandiflora*) presento los mayores porcentajes de germinación seguida por la población cuatro (*E. killipii*) mientras la población tres presentó los menores porcentajes de germinación.

La población dos presento un mayor porcentaje de germinación comparado con los resultados de la prueba de viabilidad por tetrazolio, caso contrario ocurrió con la población uno quien presento un mayor porcentaje de viabilidad con tetrazolio respecto a los resultados de germinación (Fig 2.).



**Figura 2.** Porcentajes de germinación de los ensayos montados en cajas de Petri utilizando como sustrato algodón para las cuatro poblaciones evaluadas: Población uno (*E. killipii*), Población dos (*E. grandiflora*), Población tres (*E. killipii*), Población cuatro (*E. killipii*).

No se registraron diferencias significativas ( $K=7,06$ ;  $p=0,13$ ) entre los medios de siembra utilizados para evaluar la germinación de la población uno (*E. killipii*). El medio de siembra que arrojó los mayores porcentajes de germinación fue el algodón seguido por la tierra de páramo y la tierra de vivero, la combinación de sustratos arrojó porcentajes de germinación similares.



**Figura 1.** Porcentajes de germinación de los medios de siembra utilizadas para evaluar la germinación de la población uno (*E. killipii*).

No se registraron diferencias significativas ( $K=7,06$ ;  $p=0,13$ ) entre los Tiempos Medios de Germinación (TMG) de las poblaciones evaluadas y los medios de siembra utilizados. Las condiciones de siembra que tuvieron tierra en su composición presentaron los menores TMG.

**TABLA 2.** Promedio TMG (tiempo medio de germinación) de las poblaciones evaluadas y los medios de siembra utilizados. Población uno (*E.killipii*), Población dos (*E. grandiflora*), Población tres (*E.killipii*), Población cuatro (*E.killipii*). P (tierra de páramo), PCT (seis partes de tierra de paramo, dos partes de cascarilla quemada de arroz y dos partes de turba), T (tierra de vivero), TCT (seis partes de tierra de vivero, dos partes de cascarilla quemada de arroz y dos partes de turba).

Población	Condiciones de siembra	TMG
1	P	41,22
1	T	21,00
1	PCT	44,33
1	TCT	14,00
1	Algodón	44,80
2	Algodón	48,33
3	Algodón	53,28
4	Algodón	44,93

Las variaciones entre los porcentajes de viabilidad de semillas realizados con la prueba de tetrazolio para diferentes especies de frailejones son frecuentes, estos pueden estar relacionados como se explicó anteriormente por comportamiento de floración (Fagua et al 2007). En general se han encontrado variaciones en porcentajes de tinción para diferentes especies, Mancipe-Murillo (2020) obtuvo porcentajes de tinción con la prueba de tetrazolio para las especies *E. corymbosa* (71 %), *E. summapacis* de (76 %), *E. killipii* (88 %), *E. barclayana* (52 %). Mancipe-Murillo (2018) *E. barclayana* (51.2%), *E. cayetana*(12%), *E. grandiflora* (34,3), *E. killipii* (15.9), Velasco (2018) obtuvo porcentajes de tinción entre *E. curialensis* (100% y 87%), Bohórquez-Quintero, et al. (2016) *E. paipana* (29 %). Es importante destacar que la prueba de tetrazolio vario entre los diferentes trabajos y en general no se han realizado estudios que evalúen sistemáticamente la viabilidad de las semillas en diferentes periodos climáticos y en gradientes altitudinales y latitudinales.

Este tipo de estudios se consideran cada vez más de gran valor, para la sostenibilidad ambiental, debido a la necesidad de proteger las fuentes naturales de agua, como son los páramos y especialmente uno de sus principales reservorios como son las plantas nativas como el frailejón.

Los procesos de germinación, desarrollo y crecimiento del frailejón han sido un reto desde hace muchos años porque es una especie nativa cuyo proceso de germinación es complejo y no se había logrado de tener procesos de germinación tan eficientes. Lo que exige continuar con estudios para análisis de procesos de reforestación de los páramos.

Después de los avances y resultados alcanzados en esta investigación se requiere continuar con estrategias de revegetalización donde se involucren los grupos de investigación, el ejército nacional que han venido liderando los estudios, las instituciones educativas de la zona, los líderes ambientales de la región que se comprometan en trabajar de manera

articulada y bajo los resultados previos de investigación para lograr la recuperación ecosistémica del páramo de Sumapaz. Para ello es necesario establecer viveros comunitarios que produzcan plantas de calidad y que involucren a los actores locales en el proceso de restauración, adecuar el terreno de acuerdo a los reportes de la investigación con el fin de proporcionar las condiciones ideales de reproducción para el frailejón y las especies que coexisten; con el equipo interinstitucional se deberán realizar siembras asistidas o naturales, según el grado de degradación del área y la disponibilidad de semillas o plántulas. Todo lo anterior seguido por un proceso de evaluación y reingeniería que facilite el éxito de la adaptación, desarrollo y crecimiento en entornos naturales del páramo. Como elemento complementario y muy importante para la sostenibilidad se debe trabajar en la educación ambiental de la comunidad mediata y extensa, así como hacer partícipe a la comunidad para que ellas sean garantes de la sostenibilidad del proceso y trabajar con ellos por identificar, desarrollar, evaluar y retroalimentar alternativas productivas más compatibles con la conservación de estos ecosistemas.

## Conclusiones

Indudablemente el mejor método para la germinación de semillas de frailejón es de sustrato de algodón por lo tanto se aconseja el uso de este método para futuras investigaciones.

Si bien los sustratos de cascarilla y de turba son un poco alentadores, sigue siendo el mejor el sustrato de tierra de páramo, pues en sí tiene los diferentes nutrientes, que y condiciones aptas para la germinación de frailejones.

Se requieren de más tiempo investigativo, para inferir las diferentes tasas de natalidad y mortalidad, así como el de la germinación de semillas de frailejones.

Se propone posibles investigaciones en el marco de la variabilidad climática actual de ecosistema de páramo y su incidencia en la germinación de frailejones en el área del Páramo de Sumapaz.

Se concluye que la especie con una mejor germinación fue *Espeletia grandiflora*, seguido de *Espeletia killipii*.

Se genera una oportunidad de innovación social ambiental, para trabajar con la comunidad del Sumapaz en el proceso de sensibilización, capacitación y liderazgo para trabajar en la recuperación de la capacitación.

## Referencias

- [1] A. Gutiérrez y J. Paola, “Elaboración de ladrillos mediante la inclusión de ceniza de carbón proveniente de la ladrillera bella vista de Tunja-Boyacá”, Universidad Santo Tomás. 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/20011> [repourl:https://repository.usta.edu.co](https://repository.usta.edu.co)
- [2] De Santamaría, M. Areiza, A. Matallana, C. Solano, C y Galán, S. 2018, Estrategias complementarias de conservación en Colombia. Recuperado de [http://humboldt.org.co/images/Cartilla\\_Conservacion\\_Aprobacion.pdf](http://humboldt.org.co/images/Cartilla_Conservacion_Aprobacion.pdf)
- [3] Parra, S. (2013) Xatakaciencia, ¿De dónde salió la primera semilla? Recuperado de <https://www.xatakaciencia.com/biologia/de-donde-salio-la-primera-semilla>

[4] Natalia Roldan, 30 de agosto de 2019, Brigitte Baptiste: “No saldremos de la crisis ambiental con pañitos de agua tibia”. El Espectador. Recuperado de <https://www.elespectador.com/cromos/vida-social/brigitte-baptiste-no-saldremos-de-la-crisis-ambiental-con-panitos-de-agua-tibia/>

[5] Coppini V, (2009) Importancia de la conservación de la biodiversidad, Geoinnova. Recuperado de <https://geoinnova.org/blog-territorio/importancia-conservacion-biodiversidad/>

[6] Corporación Autónomas Regionales, 2019. Retamo espinoso, enemigo silencioso del páramo Sumapaz. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/saladeprensa/retamo-espinoso-enemigo-silencioso-del-paramo-sumapaz>

[7]D.E. Gutierrez. “Contaminación Ambiental por ladrillos Artesanales en el Departamento de Puno”, Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez”. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos101/contaminacion-ambiental-ladrillos-artesanales-departamento-puno/contaminacion-ambiental-ladrillos-artesanales-departamento-puno>.

[8] Universidad Sergio Arboleda, 2019. plagas en frailejones alertan sobre el futuro de los páramos en Colombia. Recuperado de: <https://www.usergioarboleda.edu.co/noticias/plagas-en-frailejones-alertan-los-paramos-en-colombia/>

[9] Humboldt (11 de septiembre, 2017) Biodiversidad colombiana: números para tener en cuenta. Recuperado de [www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1087-biodiversidad-colombiana-numero-tener-en-cuenta](http://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1087-biodiversidad-colombiana-numero-tener-en-cuenta)

[10] Guhl, E. (2011). Vivamos y progreseemos con el agua. Colombia. Recuperado de [http://www.banrep.gov.co/economia/pli/deca\\_agua.pdf](http://www.banrep.gov.co/economia/pli/deca_agua.pdf)