

Análisis del crecimiento y mortalidad del frailejón (*Espeletia pycnophylla*) en los bordes de cuencas hidrográficas en el municipio de Cumbal, Nariño, Colombia

Growth and Mortality Analysis of the Frailejón (*Espeletia pycnophylla*) on the Edges of Hydrographic Basins in the Municipality of Cumbal, Nariño, Colombia

Luis Eduardo Tipaz Cuaical^{1, 2}

Luis Fernando Cardona Palacio³

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.34.10981>

Resumen

En este trabajo se evalúan los parámetros de crecimiento y mortalidad de 200 frailejones de la especie *Espeletia pycnophylla*, que luego se sembraron en dos tipos de borde durante seis meses (borde con ganadería y bosque). Se tuvieron en cuenta dos tamaños de siembra del frailejón: pequeña (entre 4 y 10 cm) y grande (entre 10 y 20 cm). A la mitad de los individuos de estudio se les aplicó fertilizante orgánico. El análisis muestra que la supervivencia general fue de 52 %, siendo los de tamaño grande y con fertilización los que menos mortalidad presentan. El uso de fertilizante orgánico favorece los parámetros de desarrollo (crecimiento del tallo, de la raíz y en el número de hojas); sin embargo, no se presenta una diferencia estadísticamente significativa al 95 % del nivel de confianza entre el uso de fertilizante y el tamaño del frailejón, con excepción del crecimiento de las hojas.

Palabras claves: frailejón, páramo, restauración, reubicación, deforestación.

Abstract

In this work the growth and mortality parameters of frailejon *Espeletia pycnophylla* relocated to the edges of watersheds bordering grasslands and native forest, during 6 months (n = 200) were evaluated. There were two planting sizes: small (frailejon height between 4 and 10 cm) and large (frailejon height between 10 and 20 cm); and organic fertilizer was applied to half of the study individuals. The results show that the general survival rate was 52%, being the frailejones of large size and with fertilization the ones that present less mortality. Despite the fact that, in-field observations, it seems that the fertilizer stimulates the growth indicators (growth of the diameter of the stem, of the root, of the stem and the number of leaves), however, there is no statistically significant difference at the 95% confidence level between the use of fertilizer and the size of the frailejon, with the exception of the growth of leaves.

Keywords: frailejón, páramo, ecological restoration, transplants, deforestation.



Cómo citar este artículo: E. Tipaz, F. Cardona "Análisis del crecimiento y mortalidad del frailejón (*Espeletia pycnophylla*) en los bordes de cuencas hidrográficas en el municipio de Cumbal, Nariño, Colombia". *Ingeniare*, vol. 19, no. 34, pp. 11-28, Diciembre 2022.

1. Grupo de Investigación en Pulpa y Papel, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Pontificia Bolivariana, A.A. 56006, Medellín, Antioquia, Colombia. Contacto: HYPERLINK "mailto:luis.tipaz@upb.edu.co"luis.tipaz@upb.edu.co, luisfernando.cardonapa@upb.edu.co
2. Institución Educativa Divino Niño Jesús, Calle 19 # 9-22, Cumbal, Nariño. Contacto: let92tip@hotmail.com
3. Universidad Católica Luis Amigó, Departamento de Ciencias Básicas, Transversal 51A No. 67B-90, Medellín, Colombia. Contacto: luis.cardonapa@amigo.edu.co

Fecha de recepción: 5 de Junio del 2022 • Fecha de aceptación: 18 de Octubre del 2022

INGENIARE, Universidad Libre-Barranquilla, Año 19, N.º 34, pp. 11-28 • ISSN 2390-0504

1. INTRODUCCIÓN

Los páramos son de vital importancia en los procesos de captación, almacenamiento y regulación de flujos hídricos [1]. Además, sirven como corredor biológico para especies de flora y fauna [2]. Entre las especies más representativas del páramo está el frailejón, del cual se encuentran diversos tipos en Colombia (país donde se realiza la investigación). Entre estas especies se destacan *Coespeletia spicata*, *Espeletia argentea*, *Espeletia pycnophylla*, *Espeletia tapirophila*, *Espeletia hartwegiana*, entre otras. En particular, la especie *Espeletia pycnophylla*, que se seleccionó para este estudio, crece en zonas fronterizas entre Colombia y Ecuador, entre $-70,5$ y 73 °W y $5,5$ y $9,0$ °N, a lo largo de la cordillera Oriental en Colombia y los andes Venezolanos [3]. Una alternativa para que este tipo de frailejón sobreviva y se adapte a los cambios climáticos es a través de la reforestación [1-3]. Las plantas se adaptan a condiciones de crecimiento como humedad, temperatura, precipitación y espacios protegidos de bosque. Aunque algunas cuencas hidrográficas cuentan con estas condiciones en su borde, otras no las tienen debido a que se han visto alteradas por la extensión ganadera, la agricultura y fracturación del bosque, a la cual se le denomina efecto borde [4]. Teniendo en cuenta la importancia de los frailejones en la regulación de agua y en el sostenimiento de la fauna y la flora nativa, se han adelantado diversas investigaciones para entender los factores bióticos y abióticos que pueden afectar/promover su reproducción, crecimiento y supervivencia.

Velasco [5] investigó sobre la biología reproductiva de una población de *Espeletia curialensis* junto con las variables de formación y maduración, tomando semillas maduras en diferentes momentos, con cuatro clases de altura: I (4 - 90 cm), II (91 - 177 cm), III (178 - 264 cm) y IV (> 265 cm). Encontró que el ciclo entre junio y diciembre de 2015 presentó el mayor aporte reproductivo de esta clase de frailejón en los individuos de 4 a 90 cm. Así mismo, reportó que buena parte de los aquenios recolectados presentaron daños y alteraciones por patógenos, predadores o herbívoros. Además, demostró que el ciclo reproductivo apropiado se da en los momentos de menor precipitación. No obstante, el autor realiza un análisis de altos porcentajes de pérdidas por daños y afectación debida a patógenos, predadores y aquenios vacíos [5]. Por su parte, Gaitán [6] evaluó la afectación de microorganismos (hongos, bacterias) e insectos en la reproducción y crecimiento de las poblaciones de una variedad *Espeletia spp.* El estudio se realizó en los páramos de Cundinamarca (Colombia), con muestras de hojas con la afectación y mediante un análisis taxonómico y de biología molecular se determinó que los hongos del tipo *Fusarium avenaceum*, *Curvularia sp* y *Epicoccum nigrum* son los que generan lesiones y podrían estar implicados en la afectación de esta especie de frailejón. Lara y Cárdenas [7] realizaron un estudio de los aspectos de la propagación sexual de *Espeletia grandiflora* en un sector intervenido del páramo de Chisacá (Parque Nacional Natural de Sumapaz, Colombia). En general, estos autores concluyen que el frailejón *E. grandiflora* presenta gran oferta de semillas, pero con baja tasa de dispersión y su germinación es estacional, por lo que en condiciones de campo esta especie no va a ser pionera en una sucesión, luego de un disturbio del ecosistema de páramo. Rojas-Zamora *et al.* [2] estudiaron los procesos de reubicación del frailejón *Espeletia grandiflora*, con el fin de

realizar un análisis de restauración ecológica. La región de estudio fue el Parque Nacional Chingaza, Cundinamarca, Colombia. Este proceso de reubicación se llevó a cabo con 200 plantas de diferentes alturas: 3 y 7 cm; 8 y 12 cm; y 13 y 17 cm. Luego de dos años de análisis se estableció que la altura más apropiada para este proceso de reubicación es la de 13 y 17 cm (con una supervivencia del 85 %). También se concluyó que el diámetro del tallo logra predecir la supervivencia. La disminución de la tasa de crecimiento de mayor tamaño se compensa con la mayor tasa de renovación de hojas. A partir de lo anterior, los autores demuestran el éxito en los procesos de reubicación de los individuos de la especie de frailejón *E. grandiflora*.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

El municipio de Cumbal está situado al suroccidente del departamento de Nariño (Colombia), limita con la República del Ecuador y la altiplanicie de Túquerres e Ipiales, y hace parte de la cordillera andina, que se considera una región de piso térmico frío. La temperatura promedio es de 10 °C y la altura promedio es de 3.050 m.s.n.m [8]. Este municipio cuenta con una gran cantidad de ecosistema de páramo, en el que nacen importantes cuencas hidrográficas como los ríos Chiquito, Grande, Negro y Blanco, que abastecen de agua potable a los habitantes de esta región. Entre los frailejones que se encuentran en estos páramos están las especies *Espeletia pycnophylla*, *Espeletia algodonsa*, *Espeletia annemariana*, *Espeletia barclayana*, *Espeletia curialensis*, entre otras [8]. En la figura 1 se observa el mapa del área de estudio, del borde de los ríos Blanco y Chiquito en el departamento de Nariño, municipio de Cumbal, vereda Cuaical, Colombia [9].

2.2. Fisiología y morfología de la *Espeletia pycnophylla*

Esta es una especie de frailejón perteneciente al género *Espeletia* y se encuentra registrada en los páramos ecuatorianos y colombianos. Estas plantas están compuestas por 7,5 % de necromasa (hojas y estructuras muertas de reproducción). Únicamente el 26 % de la planta está compuesta por biomasa, entre raíces y ramas. Por lo general, estas plantas producen hojas durante todo el año, dispuestas verticalmente, para una mejor fotosíntesis [1]. En la figura 2 se ilustra la morfología de esta especie de frailejón, en la que se muestra una capa de hojas muertas, característica común de esta especie, que se forma de manera gradual y es indispensable para su supervivencia. Esta planta se caracteriza por poseer una Roseta Caulescente (forma de crecimiento del frailejón), con una altura máxima de 3 m y capitulescencias de flores amarillas [10].

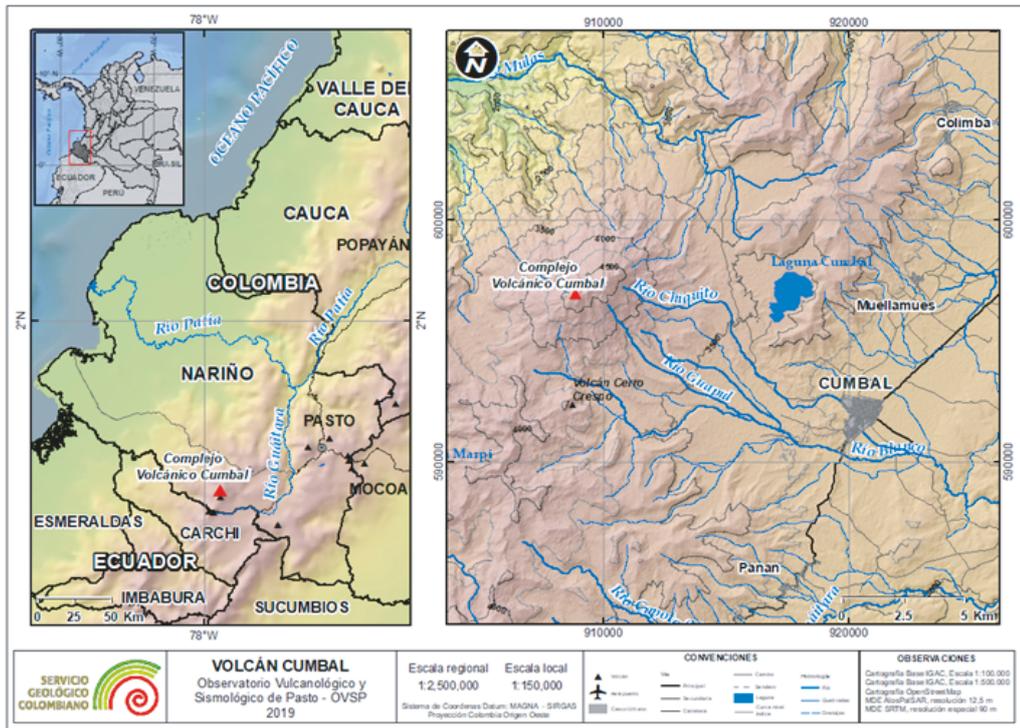


Figura 1. Área de estudio, departamento de Nariño, municipio de Cumbal, Vereda Cuaical.

Fuente: Narváez y Baquero [9], "Percepciones del riesgo asociadas al complejo volcánico Cumbal en estudiantes del municipio de Cumbal, Nariño, Colombia", p. 4.



Figura 2. Hábitat natural y morfología del frailejón *Espeletia pycnophylla*. 1) Hojas siempre verdes, 2) Fluorescencias, 3) Capa de hojas muertas, 4) Tallo, 5) Médula y 6) Raíz.

Fuente: Rodríguez et al. [1], "*Espeletia pycnophylla* y sus partes", p. 4.

2.3. Pruebas fisicoquímicas del suelo

Se tomaron tres muestras de 20 g de suelo para el estudio fisicoquímico: a) suelo del que se extraerán las plántulas de frailejón para el trasplante (páramo), b) suelo del borde de río con pastizal y c) suelo del borde con bosque nativo. Se evaluó el pH (pH-metro), se tomaron 5 g de la muestra en un beaker de 150 ml, se adicionaron 95 ml de agua grado reactivo y, por medio de un agitador magnético, se mezclaron durante 5 minutos. La muestra se dejó en reposo durante una hora y finalmente se midió el pH. Para la humedad se tomó aproximadamente 1 g de muestra en un vidrio de reloj y se calculó en el medidor de humedad PCE-MA 50X. Luego, se midió la conductividad eléctrica (conductímetro HI 8733 de Hanna), para lo cual se tomaron 5 g de la muestra en un beaker de 150 ml. Posteriormente, se añadieron 100 ml de agua grado reactivo y, por medio de un agitador magnético, se mezclaron durante 30 minutos. Posteriormente, se colaron a través de un papel filtro y se llevó a un beaker de 150 ml. Finalmente, se midió la conductividad manteniendo una agitación constante, suficiente para producir y mantener la suspensión.

2.4. Proceso de sembrado del frailejón *Espeletia pycnophylla*

Inicialmente se hizo el reconocimiento de la región de estudio (ríos Blanco y Chiquito del municipio de Cumbal). En este proceso se identificaron las características de los bordes de los ríos, en cuanto a la intervención de pastizales a causa de ganadería. Se trazó un esquema para evidenciar las zonas aledañas con franjas de bosques nativos en los bordes de los ríos Blanco (bosque) y Chiquito (ganadería), que se han podido conservar y los que no se han conservado, debido al predominio de pastizales a causa de la ganadería. Las plántulas de frailejón se sembraron en los bordes para evitar la deshidratación y disminuir el estrés del trasplante. Las plantas que sobrevivieron al final del estudio fueron reintroducidas en la reserva. Seguidamente, se tomó en cuenta la metodología de restauración ecológica de páramos de Colombia recomendada por Cabrera y Ramírez [11]. En relación con el tamaño de la muestra, se decidió sembrar 200 plántulas de frailejones *Espeletia pycnophylla*, 100 de las cuales se reubicaron en bordes de río con bosque y las otras 100 en bordes de río con afectación de ganadería, durante seis meses. La selección de la cantidad de individuos se basó en estudios relativamente similares; por ejemplo, Velasco [5] estudió 38 individuos para el análisis de la biología reproductiva de *Espeletia sp.* Mendoza y Martínez [12] hicieron un muestreo de 100 individuos para evaluar el control del crecimiento de esta especie en un ensayo de propagación, adaptación y crecimiento. Por su parte, Rojas-Zamora *et al.* [2] utilizaron 200 individuos para los siguientes tamaños de siembra: 3 - 7 cm, 8 - 12 cm y 13 - 17 cm. De acuerdo con la revisión realizada por los autores del presente estudio, no se tienen datos de procesos de reubicación y análisis de crecimiento y mortalidad de especies de frailejones en bordes de río con ganadería y bosque nativo. Finalmente, se aplicó en la raíz un fertilizante granulado tipo “fertiorgánico galeras”, como suplemento nutricional, adicionando 200 g cada dos meses y un fertilizante foliar, tipo “B-ACTIVER aminoácidos”, cada ocho días. La tabla 1 resume el proceso de aplicación del fertilizante a cada tamaño evaluado y al tipo de borde (ganadería o bosque).

Tabla 1. Longitud de frailejón y aplicación de fertilizante.

Tipo de borde	Longitud de frailejón	Aplicación de fertilizante foliar y fertilizante en raíz (Sí, No)		Total
		Sí	No	
Afectado por ganadería	Entre 4 y 10 cm	25 Sí	25 No	100
	Entre 10 y 20 cm	25 Sí	25 No	
Con bosque	Entre 4 y 10 cm	25 Sí	25 No	100
	Entre 10 y 20 cm	25 Sí	25 No	

Fuente: elaboración de los autores

Para evaluar el proceso de reubicación del frailejón *Espeletia pycnophylla* el primer paso consistió en la extracción de plántulas desde la reserva de páramo denominada Monte Oscuro Yerba Amarilla, ubicada en la vereda Cuaical del municipio de Cumbal. Esta reserva posee una gran diversidad de especies de flora y fauna y se ha realizado un laborioso trabajado en procesos de restauración con instituciones como Corponariño y juntas de acueducto del municipio. Seguidamente, se clasificaron las plántulas según su longitud, 100 con una longitud entre 4 y 10 cm y las 100 restantes con longitudes entre 10 y 20 cm. En el segundo paso se reubicaron los frailejones en los bordes de los ríos Blanco (borde de bosques) y Chiquito (bordes de ganadería), 100 ejemplares se sembraron bordes afectados por ganadería (pastizales) y 100 en bordes que tienen bosque. Una de las labores diarias de campo fue evitar el estrés de las plántulas de frailejón. Para tal fin, además de la aplicación de abono, se retiraron las malezas (pasto) alrededor de las plántulas sembradas. El fertilizante orgánico mineralizado granulado se aplicó durante la siembra del frailejón y el fertilizante foliar se aplicó cada ocho días, una vez se sembró la plántula. La composición de dichos fertilizantes (edáfico y foliar) se puede consultar en las referencias [13] y [14].

2.5. Capacidad de crecimiento y mortalidad del frailejón *Espeletia pycnophylla*

Rojas *et al.* [2] comentan que el tamaño de siembra del frailejón es un factor predominante en su crecimiento y reproducción. Para este trabajo se tomaron dos categorías de tamaño, cercanas a las reportadas por Rojas *et al.* [2], debido a que varían al momento de la extracción (4 - 10 cm y 10 - 20 cm). Otros factores son la base del tallo hasta el ápice de la hoja de mayor tamaño (TCBA), el diámetro del tallo (TCT), el número de hojas (TCH) y la longitud de crecimiento de la raíz (LR) [2]. Luego de establecer el tamaño de la muestra, se procedió a reubicar los individuos en bordes con presencia y ausencia de bosque nativo a una distancia de siembra de 50 cm [2,14]. Los parámetros de crecimiento del frailejón utilizados en este estudio se muestran en la tabla 2. Las plantas permanecieron en los suelos de los bordes durante seis meses, entre octubre de 2021 y marzo de 2022. El número de hojas se midió cada 30 días, partiendo de las recomendaciones de Lara y Cárdenas [7]. No obstante, la tasa de crecimiento del diámetro del tallo (TCT) y la longitud de crecimiento de la raíz (LR) se midieron después de los seis meses que duro el estudio, debido a que los individuos están dentro del suelo. El consolidado se obtuvo

en el mes de abril, resaltando que estas variables son apropiadas [2] para realizar estudios de campo en frailejones.

Tabla 2. Modelos de crecimiento del frailejón *Espeletia pycnophylla*

Parámetro	Modelo
Tasa de crecimiento de la base al ápice (TCBA)	$TCBA = \frac{x_{final} - x_{inicial}}{t}$
Tasa de crecimiento del diámetro del tallo (TCT)	$TCT = \frac{x_{final} - x_{inicial}}{t}$
Tasa de crecimiento de las hojas (TCH)	$TCH = \frac{x_{final} - x_{inicial}}{t}$
Longitud crecimiento de la raíz (LR)	$LR = \frac{x_{final} - x_{inicial}}{t}$
VARIABLES	x es la altura en cm, t es el tiempo en meses

Fuente: elaboración de los autores.

2.6. Análisis estadísticos y modelación

La comparación estadística se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion XVI. Los resultados de análisis de varianza (ANOVA) para los modelos de crecimiento (TCBA, TCT, TCH, y LR) se realizaron en los bordes de ganadería o bosque, con o sin la adición de fertilizante orgánico. Cabe aclarar que esta prueba es paramétrica y requiere cumplir con el test de normalidad y homocedasticidad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran las características fisicoquímicas de los suelos, incluyendo humedad, pH y conductividad eléctrica para los tres tipos de muestras de suelo (tabla 3).

Tabla 3. Características fisicoquímicas de los suelos

Suelo/Parámetro	Humedad %	pH	Conductividad (µS/cm)
Borde ganadería	36,49	5,97	23
Páramo	52,68	5,43	15,6
Borde bosque	40,57	5,53	6,4

Fuente: elaboración de los autores.

Como era de esperarse, el suelo del cual se extrajeron las plántulas de frailejón *Espeletia pycnophylla* para su posterior reubicación contiene la humedad más alta. Se estima que la retención de agua en suelos de páramos puede subir hasta el 90 % y disminuir hasta el 30 %. La presencia de materia orgánica es uno de los factores que explica su alta capacidad de retención de agua [15]. En estudios realizados por Llambi *et al.* [15, 16] se determinó la presencia de aluminio en ecosistema de páramo, lo que predice que son ácidos. Solarte *et al.* [16] reportan que los suelos de páramos provienen mayormente de ceniza volcánica y elementos como andesitas, esquistos, lavas volcánicas, entre otros materiales. En relación con el pH del suelo con ganadería, a pesar de considerarse ácido, presenta la menor acidez de las tres muestras de suelo. Esto se puede relacionar con los cambios biológicos, químicos y físicos ocasionados por la siembra de papa y luego la instauración de pastizales para ganadería. En efecto, Sadeghian *et al.* [17], afirman que aunque la ganadería puede causar la compactación del suelo, la disminución de la porosidad, entre otros cambios desfavorables, los bovinos desempeñan un papel importante en el reciclaje de nutrientes, ya que sus excretas contienen nutrientes que favorecen el crecimiento de las plantas (pasto). Adicionalmente, los fertilizantes orgánicos e inorgánicos que se aplican durante la siembra de papa pueden modificar, en cierta medida, las características fisicoquímicas del suelo. La acidez del suelo del borde de río con bosque también se puede asociar con niveles relativamente altos de materia orgánica por la presencia de hojarasca, raíces y tallos [17]. En relación con la conductividad, los valores más altos se registraron en el suelo con ganadería, lo cual se puede deber a la mineralización de la materia orgánica causada por el estiércol bovino, que excretan principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P), pero el N se deriva en sales de nitrato en el suelo [17]. Lemeillet *et al.* [18] argumentan que la porosidad y el grado saturación, junto con la salinidad del agua presente en los poros, determinan las propiedades eléctricas de los suelos. Esta condición también se asocia a la salinización del suelo y es compatible con los hallazgos en este estudio. Una alta conductividad eléctrica en los suelos con ganadería se puede asociar con alta salinidad y esto, a su vez, con los bajos niveles de humedad. Teniendo en cuenta que los bosques tienen una alta capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de N, P y potasio (K) [17, 18], esto también se puede asociar con la alta conductividad eléctrica registrada en el suelo del borde de río con bosque.

En la tabla 4 se presentan los resultados de los indicadores de crecimiento para los ejemplares de frailejón *Espeletia pycnophylla* reubicados en el borde del río Chiquito y en los potreros utilizados para ganadería bovina. Se encontró que den los frailejones con altura pequeña (4 - 10 cm) la altura promedio (TCBA) fue de $11,06 \pm 4$ cm en los ejemplares que no se utilizó fertilizante, mientras este mismo indicador fue de $10,07 \pm 3,24$ cm en los que sí, después de los seis meses de estudio. Las plantas de este mismo grupo presentaron un incremento semestral en altura promedio (TCT) de $0,73 \pm 0,53$ cm sin fertilizante y $0,68 \pm 0,36$ cm con fertilizante. Estos resultados son ligeramente superiores a los reportados por Rojas-Zamora *et al.* [2], quienes encuentran un incremento anual en altura de $0,360 \pm 0,029$ cm para tamaños similares de siembra de frailejón *E. grandiflora*. El incremento en el diámetro del tallo fue de $0,11 \pm 0,09$ cm en los individuos sin fertilizante y de $0,09 \pm 0,08$ cm en los ejemplares con fertilizante en seis meses. Finalmente, con respecto al número de hojas promedio para grupo de altura de siembra pequeña

(4 a 10 cm), el grupo sin fertilizante fue de $7,32 \pm 1,84$ hojas y $7,68 \pm 2,41$ con fertilizante, y la tasa de crecimiento de hojas fue de $0,13 \pm 0,31$ en el grupo sin fertilizante y de $0,89 \pm 0,22$ en los individuos a los que se les aplicó fertilizante en un periodo de seis meses. Estos valores son relativamente similares a los reportados por Rojas-Zamora *et al.* [2].

En relación con el grupo de mayor altura (entre 10 y 20 cm), la altura promedio (TCBA) fue de $18,33 \pm 2,84$ cm en los ejemplares sin fertilizante, mientras que este mismo indicador fue de $17,17 \pm 5,19$ cm con fertilizante, después de seis meses de estudio. Como era de esperarse, las plantas de mayor tamaño alcanzaron más altura en promedio, comparadas con el grupo de tamaño pequeño, después de seis meses. Su un incremento semestral en altura promedio fue de $0,67 \pm 0$ cm sin fertilizante y $0,95 \pm 0,69$ cm con fertilizante. Estos valores son superiores a los reportados por Rojas-Zamora *et al.* [2] para tamaños similares de siembra de frailejón *E. grandiflora*. Los valores de la longitud promedio de la raíz son ligeramente más altos que los del otro grupo. Estas plantas presentaron un incremento semestral en longitud de raíz promedio de $0,67 \pm 0,47$ cm sin fertilizante y $0,63 \pm 0,33$ cm con fertilizante. Para el diámetro del tallo, este grupo registró un promedio de diámetro de $4,63 \pm 0,48$ cm sin fertilizante y $4,33 \pm 0,88$ cm con fertilizante. El incremento en el diámetro del tallo fue de $0,04 \pm 0,06$ cm en los individuos sin fertilizante y $0,05 \pm 0,05$ cm en los ejemplares con fertilizante en seis meses, representa un valor menor comparado con lo reportado por Rojas-Zamora *et al.* [2].

Tabla 4. Indicadores de crecimiento de *E. pycnophylla* en bordes de ganadería

Tipo	Media estándar crecimiento de longitud	Media estándar LT	Media estándar crecimiento de la raíz	Media estándar LR	Media estándar diámetro	Media estándar TCT	Media estándar crecimiento de hojas	Media estándar TCH
Longitud 4-10 cm								
Sin fertilizante	$11,06 \pm 4$	$0,73 \pm 0,53$	$10,5 \pm 2,97$	$0,54 \pm 0,51$	$4,23 \pm 0,62$	$0,11 \pm 0,09$	$7,32 \pm 1,84$	$0,13 \pm 0,31$
Con fertilizante	$10,07 \pm 3,24$	$0,68 \pm 0,36$	$12,51 \pm 3,56$	$0,64 \pm 0,31$	$4,43 \pm 0,83$	$0,09 \pm 0,08$	$7,68 \pm 2,41$	$0,89 \pm 0,22$
Longitud 10-20 cm								
Sin fertilizante	$18,33 \pm 2,84$	$0,67 \pm 0,00$	$15 \pm 2,83$	$0,67 \pm 0,47$	$4,63 \pm 0,48$	$0,04 \pm 0,06$	$12,25 \pm 2,01$	$0,92 \pm 0,35$
Con fertilizante	$17,17 \pm 5,19$	$0,95 \pm 0,69$	$12,02 \pm 2,98$	$0,63 \pm 0,33$	$4,33 \pm 0,88$	$0,05 \pm 0,05$	$9,37 \pm 3,03$	$0,77 \pm 0,27$

Fuente: elaboración de los autores

Respecto al número de hojas promedio para grupo de altura de siembra grande (10 - 20 cm), en el grupo sin fertilizante fue de $12,25 \pm 2,01$ hojas y de $9,37 \pm 3,03$ hojas con fertilizante, y la tasa de crecimiento de las hojas fue de $0,92 \pm 0,35$ en el grupo sin fertilizante y $0,77 \pm 0,27$ en los individuos a los que se les

aplicó fertilizante, en un periodo de seis meses. Estos valores son relativamente bajos comparados con los reportados por Rojas-Zamora et al. [2]. En la tabla 5 se muestran los resultados de los indicadores de crecimiento para las plántulas de frailejón *Espeletia pycnophylla* sembradas en el borde del río Blanco con bosque nativo. La altura promedio del grupo de tamaño pequeño fue relativamente menor si se compara con los que se sembraron en el borde con ganadería (tabla 4). La misma tendencia también se observa en el caso de la categoría grande (10 a 20 cm). En la tabla 6 se reportan los porcentajes de crecimiento y mortalidad de las plántulas, así como también cuando se les aplica fertilizante orgánico (foliar y radicular), las cuales se trasplantaron a un suelo con ganadería. Se encontró que se presenta mayor crecimiento (52 %) en el grupo de tamaño pequeño, comparado con el porcentaje de crecimiento (46 %) de los individuos de altura grande.

Tabla 5. Indicadores de crecimiento de *E. pycnophylla* en bordes de río con bosque

Tipo	Media estándar Crecimiento Longitud	Media estándar LT	Media estándar Crecimiento de la raíz	Media estándar LR	Media estándar diámetro	Media estándar TCT	Media estándar crecimiento de hojas	Media estándar TCH
Longitud 4 - 10 cm								
Sin fertilizante	9,4 ± 3,34	0,58 ± 0,44	10,38 ± 5,08	0,35 ± 0,34	4,46 ± 0,72	0,07 ± 0,06	7,06 ± 1,82	-0,12 ± 0,37
Con fertilizante	9,75 ± 2,71	0,85 ± 0,38	11,88 ± 3,72	0,61 ± 0,41	4,14 ± 1,14	0,1 ± 0,11	7,97 ± 2,46	0,83 ± 0,36
Longitud 10 - 20 cm								
Sin fertilizante	17,63 ± 4,53	1,05 ± 0,41	11,16 ± 3,45	0,65 ± 0,47	4,08 ± 0,58	0,04 ± 0,04	8,05 ± 4,03	-0,15 ± 0,75
Con fertilizante	17,84 ± 4,26	0,88 ± 0,49	11,85 ± 3,8	0,65 ± 0,44	4,86 ± 1,01	0,07 ± 0,08	9,84 ± 4,39	0,24 ± 0,92

Fuente: elaboración de los autores

La comparación estadística se realizó con el software Statgraphics Centurión XVI. Los resultados del análisis de varianza para los modelos de crecimiento (TCBA, TCT, TCH y LR) se realizan en los bordes de ganadería o bosque, con o sin la adición de fertilizante orgánico. En las figuras 3 y 4 aparece el promedio de cada modelo de crecimiento, así como un intervalo alrededor de cada media. Estos intervalos se basan en el procedimiento de diferencia mínima significativa o método LSD de Fisher [19]. Estos se construyen de tal manera que si dos medias son iguales sus intervalos se solapan el 95 % de las veces. Cualquier par de intervalos que no se solapen verticalmente corresponden a un par de medias, las cuales tienen una diferencia estadísticamente significativa, con un $\alpha = 5\%$ (α es el nivel de significancia de la prueba).

Tabla 6. Crecimiento y mortalidad de las plántulas de frailejón en bordes con ganadería

Longitud 4-10 cm	Porcentaje (%)	Longitud 10-20 cm	Porcentaje (%)
Con fertilizante		Con fertilizante	
Crecimiento	36	Crecimiento	42
Mortalidad	14	Mortalidad	8
Sin fertilizante		Sin fertilizante	
Crecimiento	16	Crecimiento	4
Mortalidad	34	Mortalidad	46
Total	100	Total	100

Fuente: elaboración de los autores

3.1. Análisis ANOVA de crecimiento en bordes con ganadería y bosque

En general, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas al 95 % de nivel de confianza cuando se analizan los parámetros de crecimiento (TCBA, LR, TCT y TCH) en ambos bordes (ganadería y bosque), como se ilustra en las figuras 3 y 4. Cabe aclarar que para dar cumplimiento a la prueba paramétrica, que es la ANOVA, se deben verificar la normalidad y la homocedasticidad. Los parámetros de crecimiento aprobaron el test de normalidad, con excepción del indicador de longitud de crecimiento de la raíz (LR). Por tal motivo, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados muestran que se tiene un valor p de 0,403, superior a 0,05; por lo tanto, no existe una diferencia estadísticamente significativa al 95 % de nivel de confianza. Es decir, el fertilizante estimula el desarrollo de la raíz de la planta, puesto que el valor medio de LR tiende a ser más alta en individuos a los que se les aplicó fertilizante; en particular, los de tamaño pequeño. La figura 3 muestra que los individuos de *E. pycnophylla* de tamaño pequeño que no recibieron fertilización son los que tuvieron mayores valores de TCT. No obstante, el análisis de varianza muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas al 95 % de nivel de confianza en los parámetros de crecimiento evaluados en esta investigación. Por otra parte, el fertilizante favorece el crecimiento en plántulas de frailejón *E. pycnophylla* reubicadas en el borde de río con ganadería, dicho supuesto no es estadísticamente significativo al 95 % de nivel de confianza. Es importante aclarar que ambas figuras (3 y 4) no presentan diferencias estadísticamente significativas al 95 % de nivel de confianza para los modelos de crecimiento, con excepción de la tasa de crecimiento de las hojas (TCH).

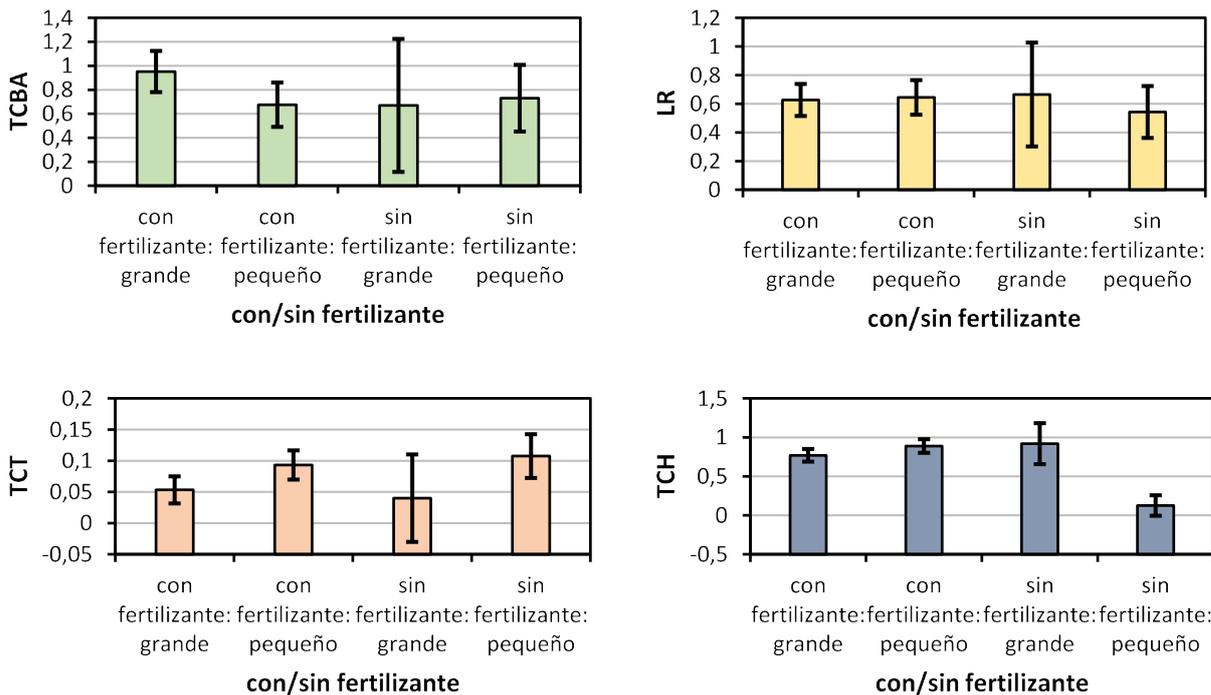


Figura 3. Medias e intervalos de LSD de Fisher de las variables de crecimiento TCBA, LR, TCT, TCH al 95 % de confianza en el borde con bosque.

Fuente: elaboración de los autores

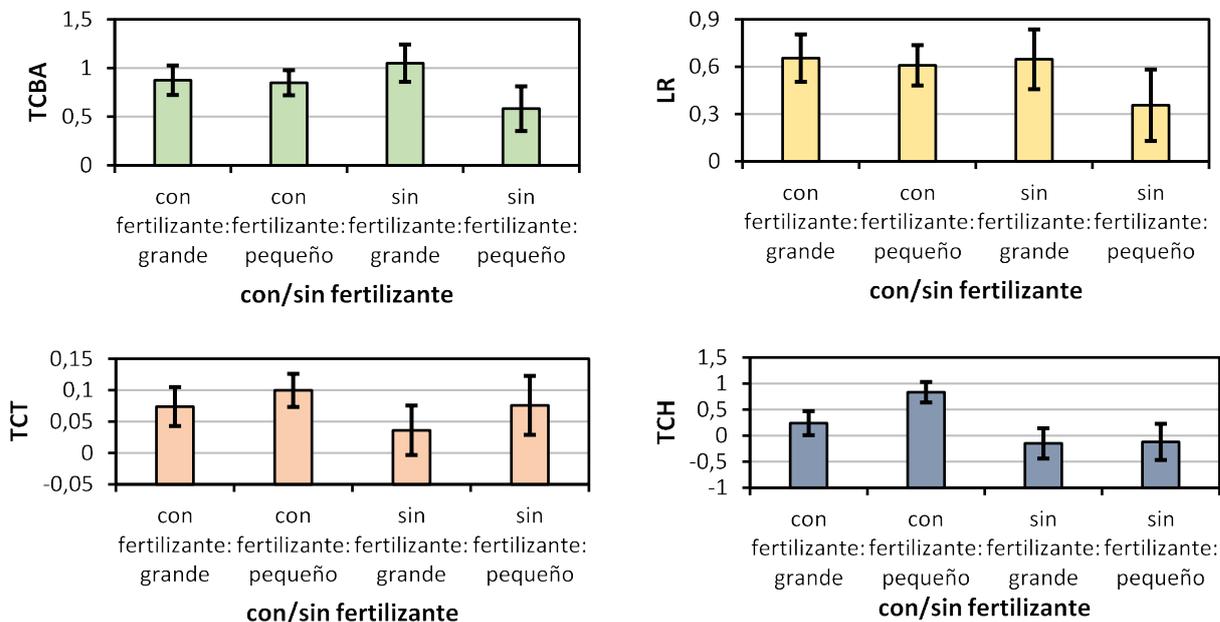


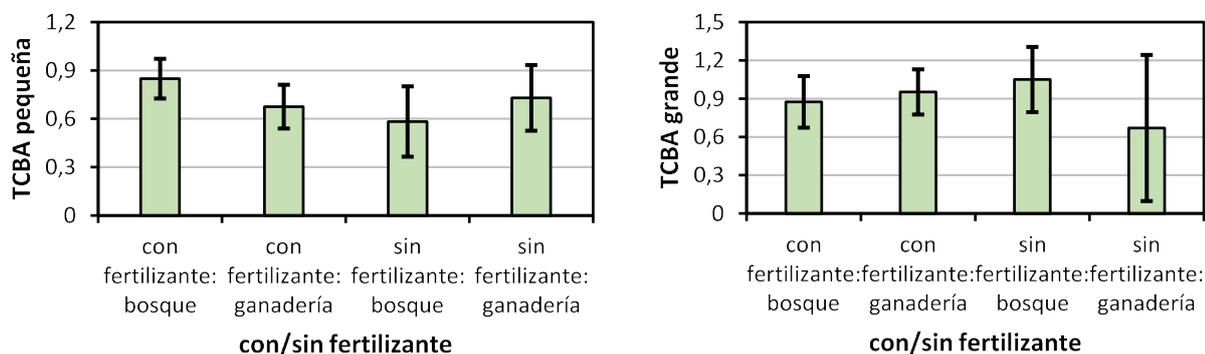
Figura 4. Medias e intervalos de LSD de Fisher de las variables de crecimiento LT, LR, TCT, TCH al 95 % de confianza en el borde de ganadería.

Fuente: elaboración de los autores

La figura 5 ilustra la comparación entre los indicadores de crecimiento de frailejón en los bordes con ganadería y bosque, así como en diferentes tamaños de siembra al 95 % de nivel de confianza. A nivel de campo, la fertilización tiende a favorecer los parámetros de desarrollo (TCBA, LR, TCT y TCH) del frailejón *Espeletia pycnophylla*; sin embargo, en estos cuatro factores de crecimiento no existe una diferencia estadísticamente significativa al 95 % de nivel de confianza. Esta situación es más evidente cuando se analiza la LR del grupo de individuos de tamaño grande. Como se puede observar en el figura 5, los promedios de cada uno de los casos analizados son similares, con un α de 0,05. Es decir, no se tiene una diferencia estadísticamente significativa al 95 % de nivel de confianza cuando se comparan el uso de fertilizante, dependiendo del tipo de borde (ganadería o bosque). El mismo fenómeno se observa sin la utilización de fertilizante.

3.2. Análisis de mortalidad

En el grupo de plantas sembradas con longitud entre 4 y 10 cm, el 24 % murió durante el periodo de estudio (figura 6^a). La mortalidad en los frailejones con longitudes entre 10 y 20 cm fue del 27 %; siendo los fertilizados los que registraron mayor mortalidad (figura 6a). La tendencia de la mortalidad sugiere que la supervivencia disminuye en la medida en que aumenta el tiempo después de la siembra. En ese sentido, Rojas-Zamora et al. [2] reportan que la supervivencia de individuos de frailejón *E. grandiflora* a los 3,1 meses fue superior al 96 %, pero disminuye al 63 % dos años después de la siembra, siendo los individuos de menor tamaño los que presentan mayor mortalidad. El porcentaje de plántulas muertas sembradas en el borde de río con pastizales (n = 100) fue del 51 %, incluyendo todos los grupos de estudio. En otras palabras, 49 % de los individuos sobrevivió hasta los seis meses, menos de lo reportado por Rojas-Zamora et al. [2], quienes establecieron que el porcentaje de plantas vivas estuvo por encima del 85 % a los 8 meses después de la reubicación, en tamaños pequeños, medianos y grandes.



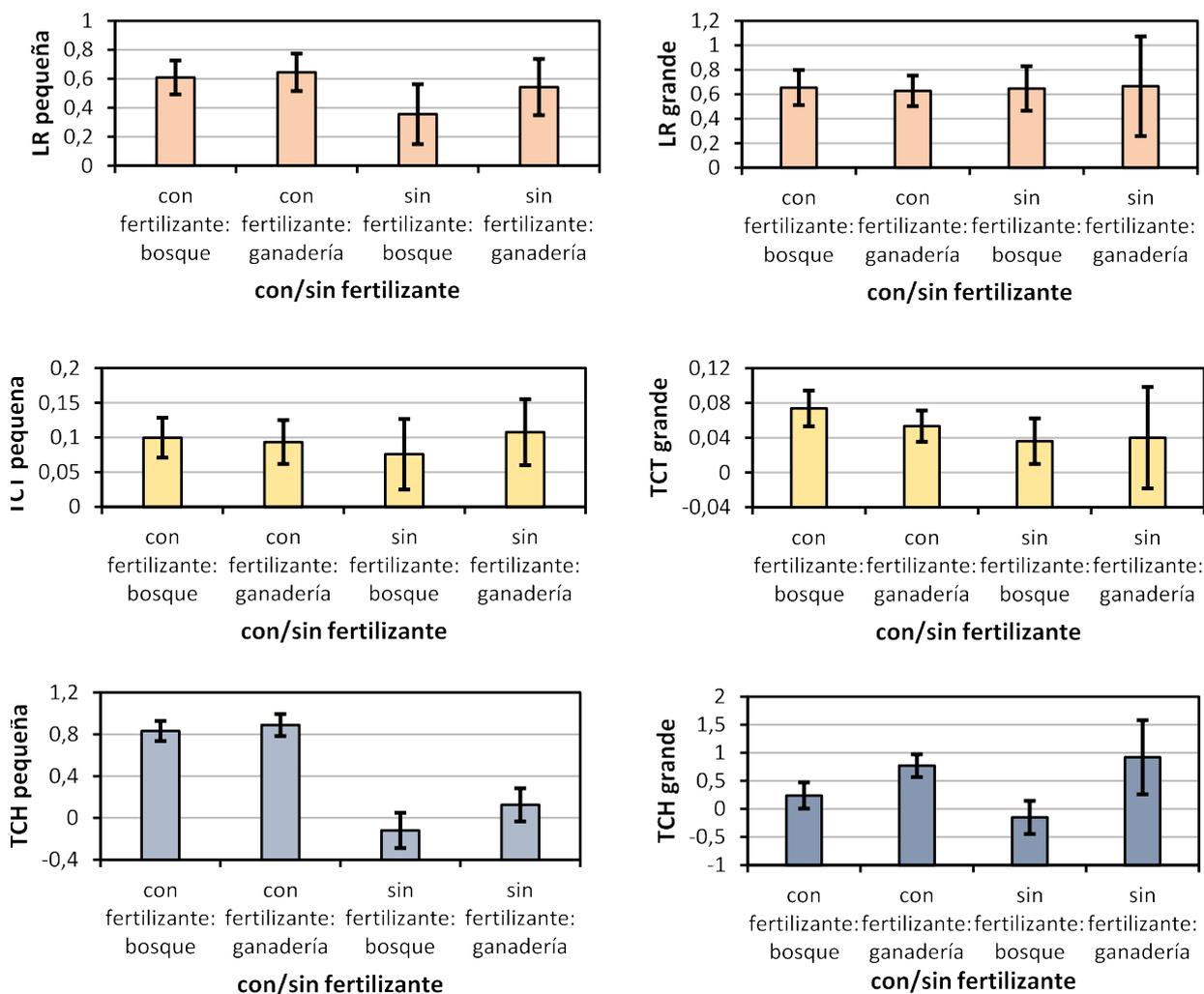


Figura 5. Medias e intervalos de LSD de Fisher de LR al 95 % de confianza (comparación entre borde con ganadería y bosque)

Fuente: elaboración de los autores

En relación con la mortalidad de frailejones sembrados en bordes con bosque, 18 casos se presentaron en el grupo de tamaño de siembra pequeño (4 a 10 cm) y en los cuales no se utilizó fertilizante; sólo hubo tres muertes en el grupo en el que sí se utilizó fertilizante. Algo similar se observó en el grupo de 10 a 20 cm, en el cual los ejemplares sin fertilización presentaron mayor número de muertes (figura 6b). La mortalidad total alcanzó el 45 % de individuos reubicados en el borde de río con bosque ($n = 100$), siendo menor a la registrada en los sembrados en el borde de río con pastizales (51 %). Como en el caso de la mortalidad de las plántulas de frailejón *Espeletia pycnophylla* sembradas sobre el borde de río con pastizales, esta tiende a aumentar a medida que pasa el tiempo, que son resultados similares

a los obtenidos por Rojas-Zamora *et al.* [2]. Los factores que más afectan la mortalidad son: a) estrés hídrico, que posibilita la patogenicidad de hongos endófitos, lo cual repercute en el desarrollo/estabilidad del frailejón [20,21]; b) cambios fisicoquímicos del suelo, tanto en pastizales como en bosques, que es ligeramente más básico y pudo haber influido en la mortalidad de los trasplantes; c) factores bióticos como insectos, hongos, entre otros; durante el trabajo en campo se observó que dichos agentes pueden estar relacionados con la mortalidad de las plantas [20]. Por su parte, Burbano-Figueroa *et al.* [21] reportan que en el área de influencia de este estudio los hongos de los géneros *Nigrospora*, *Claviceps*, *Apergillus*, *Pestalotiopsis* e *Hipoxylon* están asociados con lesiones de tipo necrosis, clorosis y entorchamiento en frailejones *Espeletia pycnophylla*.

3.3. Análisis de supervivencia

Para el análisis de supervivencia se siguió el método de Kaplan-Meier (figura 7), siendo DT el diámetro del tallo [2]. Las plántulas de frailejón *Espeletia pycnophylla* con mayor longitud de tamaño de siembra (10 - 20 cm) y con uso de fertilizante son las que presentaron más probabilidad de supervivencia. Por ejemplo, los reubicados en el borde de río con bosque y a los que se les aplicó fertilización son los que presentaron un mayor nivel de supervivencia. En la figura 7 se observa que la probabilidad de supervivencia a los seis meses está alrededor del 65 % para un individuo con fertilización, mientras cae al 40 % en frailejones sin fertilización. Estos valores son inferiores a los reportados por Rojas-Zamora *et al.* [2].

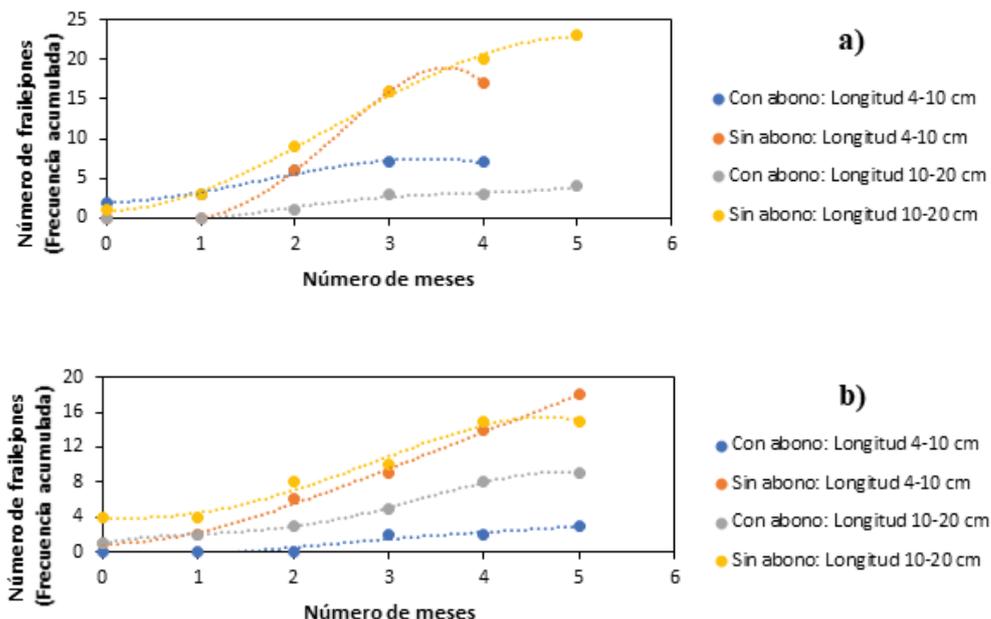


Figura 6. Mortalidad de frailejones en a) bordes de río con ganadería y b) bordes de río con bosque

Fuente: elaboración de los autores

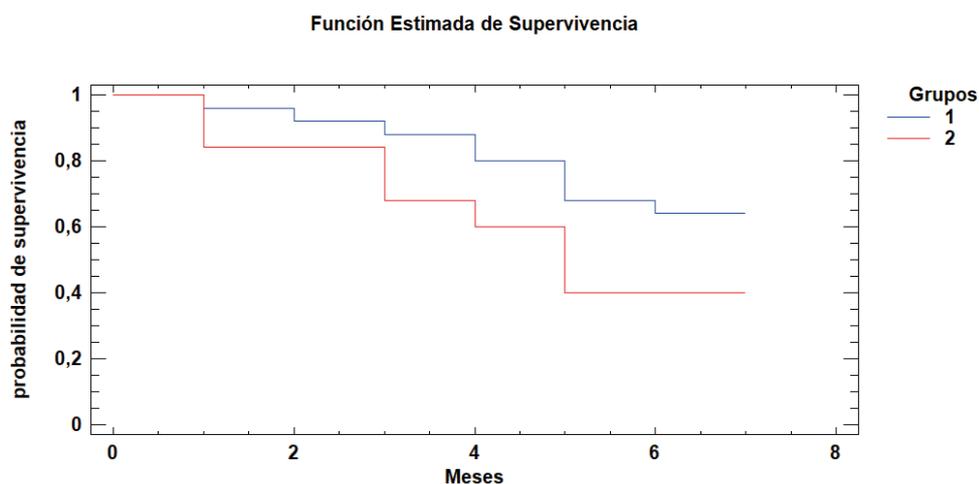


Figura 7. Curva de supervivencia para individuos reubicados en bordes de río con bosque. Convenciones: línea azul (con fertilización), línea roja (sin fertilización)

Fuente: elaboración de los autores

4. CONCLUSIONES

En esta investigación se evaluó el crecimiento de *E. pycnophylla* en procesos de reubicación y trasplante; para lo cual se valoró el desarrollo de *E. pycnophylla* en bordes de ríos que limitan con bosque nativo y con zonas perturbadas por ganadería en un entorno de páramo. La mortalidad general fue del 48 % (n = 200), siendo los individuos reubicados en el borde de ríos con ganadería los que mayor tasa de mortalidad alcanzaron (51 %), mientras que en los sembrados en bordes con bosques nativos fue del 45 %. El uso de fertilizante orgánico de tipo radicular y foliar favoreció el crecimiento de las plántulas de frailejón y disminuyó su mortalidad, con excepción del crecimiento de hojas, en el que el fertilizante estimula el crecimiento del número de hojas. El proceso de trasplante de la especie de frailejón *E. pycnophylla* no presentan diferencias estadísticamente significativas al 95 % de nivel de confianza cuando se evalúan los indicadores de crecimiento y mortalidad en ejemplares de frailejón sembrados en el borde de río con ganadería y con bosque, así como también con el uso o no de fertilizante orgánico. Se hacen necesarios trabajos futuros para incluir más variables bióticas y abióticas, y un periodo de estudio más largo.

REFERENCIAS

- [1] R. Rodríguez, N. Tigmasa, K. García, R. Pazmiño, C. Renzo, "*Espeletia pycnophylla* subsp. *angelensis*, el ángel del norte", *Bionatura*, vol. 2, no. 1, pp. 273-276, febrero 2017.

- [2] O. Rojas-Zamora, J. Insuasty-Torres, C. Cárdenas, O. Vargas, "Reubicación de plantas de *Espeletia Grandiflora* (Asteraceae) como estrategia para el enriquecimiento de áreas de páramo alteradas (PNN Chingaza, Colombia)", *Revista de Biología Tropical*, vol. 61, no. 1, pp. 363–76, marzo 2013.
- [3] M. Díaz-Granados, J.C. Barber, "Geography shapes the phylogeny of frailejones (*Espeletiinae Cuatrec.*, Asteraceae): a remarkable example of recent rapid radiation in sky islands," *Peer J*, vol. 5, pp. 1-35, febrero 2017.
- [4] G. Williams-Linera, V. Domínguez-Gastelú, M.E. García-Zurita, "Microenvironment and Floristics of Different Edges in a Fragmented Tropical Rainforest", *Conservation Biology*, vol. 12, no. 5, pp. 1091-1102, octubre 1998.
- [5] V. Velasco, "Biología reproductiva de una población *Espeletia Curialensis* Var Exigua Rodr-Cabeza & S Díaz, (Cordillera Oriental, Colombia)", tesis de maestría, Universidad Distrital de Colombia, Bogotá, Colombia, 2018.
- [6] M. Gaitán, "Identificación de hongos asociados a lesiones de frailejones (*Espeletia spp.*) en páramos de Cundinamarca", tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2018.
- [7] K. Lara, J. Cárdenas, "Aspectos de la propagación sexual de *Espeletia Grandiflora* en un sector intervenido del páramo de Chisacá (PNN Sumapaz, Colombia)", tesis de maestría, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia, 2015.
- [8] G. Herrera, "Perfil del municipio de Cumbal en Nariño para el desarrollo y la competitividad territorial," tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia, 2020.
- [9] P. Narváez, M. I. Baquero, "Percepciones del riesgo asociadas al Complejo Volcánico Cumbal en estudiantes del municipio de Cumbal–Nariño, Colombia", *Equidad y Desarrollo*, vol. 1, no. 38, pp. 1-26, diciembre 2021.
- [10] C. Marín, S. Parra, "Bitácora de flora: guía visual de plantas de páramos en Colombia," Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 2015.
- [11] M. Cabrera, W. Ramírez, "Restauración ecológica de los páramos de Colombia: transformación y herramientas para su conservación". Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2014.
- [12] A. Mendoza, J. Martínez, "Propagación, adaptación y crecimiento del frailejón *Espeletia conglomerata* en vivero", trabajo de grado especialidad, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, 2011.
- [13] Fertiorgánicos Galeras (2022, mayo 8). Fertilizante Orgánico Mineral Granulado. [Online]. <https://agroactivocol.com/producto/nutricion-vegetal/fertilizantes-edaficos/abono-y-fertilizante-para-pastos-tropi-pastos/>.
- [14] Soluplant. (2019, diciembre 10). B-ACTIVER Aminoácidos para aplicación foliar. [Online]. <https://agroactivocol.com/wp-content/uploads/2020/08/B-Activer.pdf>.
- [15] L.D. Llambí, A. Soto, R. Céleri, B. Blevre, B. Ochoa, P. Borja, "Páramos andinos: ecología, hidrología y suelos de páramos", Proyecto Páramo Andino, Ecuador.

- [16] M. Solarte, G. Narváez, G. Rivas, A. Baca, D. Muñoz, J. Calderón, C. Torres, F. Figueroa, J. Rengifo, "Proyecto estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño", Tomo I, Introducción, Descripción Generales, Marco Conceptual y Metodológico. Pasto, 2007.
- [17] S. Sadeghian, J. Rivera, M. Gómez, "Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los andes de Colombia", conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en Latinoamérica, CIPAV-FAO, 1998.
- [18] F. Lemeillet, C. Sainato, H. Malleville, L. Carbó, A. Herrero, "Conductividad eléctrica de un suelo tratado con efluentes ganaderos", *Geoacta*, vol. 41, no. 2, pp. 57-73, diciembre 2017.
- [19] D.C. Montgomery. Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons, 2017.
- [20] J. Rojas, A. Valera, K. Osher, "Plan de conservación y manejo de las especies de frailejones presentes en el territorio CAR (primera)", Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana (PUJ); Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), 2018.
- [21] O. Burbano-Figueroa, E. Galíndez-Chicaíza, A. Benítez-Arteaga, A.V. Álvarez, C.A. Flórez, C. Betancourth-García, C. Salazar -González, A. David-Figueroa, L.E. Lagos. (2022, mayo 8). "Declive y muerte de los frailejones en los ecosistemas alpinos de los andes del norte: modelo conceptual,". CABI, 26. <https://doi.org/10.31220/agriRxiv.2020.00003>.