

Efecto de las plantaciones de *Pinus patula* (*Pinaceae*) sobre suelo y vegetación en el páramo de Rabanal, Samacá Boyacá

Effect of Pinus patula (Pinaceae) plantations on soil and vegetation in the Rabanal moor, Samacá Boyacá

María Alejandra Cárdenas Cárdenas ^a; Francisco Cortés Pérez ^b

^a Grupo de Investigación Ecología de Bosques Andinos Colombianos, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia; Mail: maria.cardenas02@uptc.edu.co

^b Grupo de Investigación Ecología de Bosques Andinos Colombianos, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia; Mail: francisco.cortes@uptc.edu.co

Correspondencia: maria.cardenas02@uptc.edu.co

Recibido: enero 10, 2024. Aceptado: marzo 06, 2024. Publicado: junio 30, 2024

Resumen

El páramo de Rabanal cubre 4,172 hectáreas, de las cuales el 16% se encuentra en el municipio de Samacá. Esta área incluye dos embalses, una presa para almacenamiento y regulación de agua, y plantaciones de pino. Estas plantaciones causan inmovilización de nutrientes, reducción de la capacidad para realizar procesos de reciclaje y acidificación del suelo. El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de las plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en el suelo y la vegetación del páramo de Rabanal en el municipio de Samacá, Boyacá. Esta evaluación considera la vegetación del páramo y la plantación en términos de altura, cobertura, frecuencia y DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) de las especies. En el páramo, se registraron 16 familias, 35 géneros y 42 especies, con 501 individuos. Las especies más abundantes fueron *Espeletia boyacensis* Cuatrec., *Paepalanthus alpinus* Körn., *Arcytophyllum nitidum* (Kunth) Schltdl. y *Puya nítida* Mez. En contraste, en el páramo plantado con *P. patula*, solo se registraron 6 familias, 6 géneros y 6 especies, con 80 individuos. Se encontraron diferencias significativas en las variables del suelo como calcio, magnesio, saturación de magnesio, Mg/K y K/Mg. La plantación forestal ha eliminado el 88% de las especies nativas del páramo y ha disminuido la cobertura de las 5 especies que aún permanecen allí. A pesar de estos impactos, las propiedades del suelo, como los tipos de elementos e intercambio, fueron similares entre los dos sitios, probablemente debido a la disponibilidad de agua y nutrientes que *P. patula* tiene en el área de estudio. Esta investigación proporciona información valiosa para desarrollar medidas técnicas y de gestión aplicables a los páramos colombianos.

Palabras clave: Pérdida de diversidad; vegetación de páramo; cambios de suelo; plantaciones de pino en páramo.

Abstract

The Rabanal moor covers 4,172 hectares, of which 16% is located in the municipality of Samacá. This area includes two reservoirs, a dam for water storage and regulation, and pine plantations. These plantations cause nutrient immobilization, reduced capacity for recycling processes, and soil acidification. The objective of this study is to evaluate the effect of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. plantations on the soil and vegetation of the Rabanal páramo in the municipality of Samacá, Boyacá. This evaluation considers the vegetation of the moor and the plantation in terms of height, coverage, frequency, and DBH (Diameter at Breast Height) of the species. In the moor, 16 families, 35 genera, and 42 species were recorded, with 501 individuals. The most abundant species were *Espeletia boyacensis* Cuatrec., *Paepalanthus alpinus* Körn., *Arcytophyllum nitidum* (Kunth) Schltdl., and *Puya nítida* Mez. In contrast, in the páramo planted with *P. patula*, only 6 families, 6 genera, and 6 species were recorded, with 80 individuals. Significant differences in soil variables were found in calcium, magnesium, magnesium saturation, Mg/K, and K/Mg. The forest plantation has eliminated 88% of the native species of the moor and decreased the coverage of the 5 species that remain. Despite these impacts, soil properties, such as element types and exchange, were similar between the two sites, likely due to the water and nutrient availability that *P. patula* has in the study area. This research provides valuable input for developing technical and management measures applicable to Colombian páramos.

Keywords: Loss of diversity; páramo vegetation; soil changes; pine plantations in páramo.

1. Introducción

Colombia es considerado un país de páramos debido a que posee aproximadamente la mitad de la superficie de

estos ecosistemas a nivel global, según Rangel [32], los páramos comprenden extensas zonas en las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior de las nieves perpetuas y está definido como una región natural donde interactúan el suelo, el clima, la biota y los seres humanos [28]. Los páramos tienen un gran potencial de almacenamiento y regulación hídrica [19], por lo cual son ecosistemas estratégicos que permiten el suministro de agua para consumo humano y desarrollo de actividades económicas [25].

Este ecosistema es vulnerable al cambio climático y las actividades humanas como: la ampliación de la frontera agrícola, la ganadería, la minería, las quemas indiscriminadas, la deforestación y la implementación de las plantaciones forestales [40]. Las plantaciones forestales con especies exóticas, principalmente con pino (*Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham), tienen extensas superficies en los páramos de Colombia, esta especie es endémica del centro de México, tiene atributos como: rápido crecimiento, sistema radical robusto, formación de masas duras y densas, alta resistencia a las heladas y buena calidad maderera [34]. Por algunos de estos atributos, la especie se incorporó como útil maderable en Colombia desde 1970; aunque sus beneficios económicos y ambientales se encuentran en constante controversia, se ha observado que generan impactos en estos ecosistemas debido a que las plantaciones cambian las condiciones del suelo y la vegetación [24].

Algunos efectos en los suelos son: la inmovilización de los nutrientes debido a la producción de hojarasca y acículas, reducción en la capacidad de llevar a cabo procesos de ciclo de nutrientes en los suelos, acidificación del suelo por las resinas que producen las raíces de los pinos, cambios en el patrón de distribución del agua y disminución de la escorrentía [33] pérdida de luminosidad debido a la forma de las copas de los árboles y a la cantidad de acículas que caen al suelo, impidiendo el crecimiento de otras especies [16], reducción en la germinación de semillas, el establecimiento vegetal y cambios en la vegetación por incendios en temporadas de baja precipitación en los páramos [35].

El propósito de la investigación fue cuantificar los efectos que provoca la plantación de *P. patula* sobre los suelos y la vegetación propios del páramo de Rabanal en el municipio de Samacá, Boyacá.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La región del páramo de Rabanal hace parte de un macizo montañoso que se encuentra ubicado en la cordillera oriental, en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, en los municipios Villapinzón, Lenguaque, Guachetá, Ventaquemada, Ráquira y Samacá [14]; este último municipio tiene el 16% del área de este páramo, con 4172 hectáreas [42]. En Samacá coexisten los ecosistemas de páramo, humedales y embalses, praderas, bosques andinos, áreas de cultivo, ganadería y áreas dedicadas a la minería [19].

El estudio se llevó a cabo en el páramo de Rabanal comparando dos áreas: cobertura de páramo (5°27'19,41" N y 73°32'53,55" W) a 3397 m.s.n.m y plantación de *P. patula* establecida hace aproximadamente 40 años (5°27'22,44" N y 73°32'32,37" W) a 3370 m.s.n.m; por encima de cota máxima de inundación del embalse Gachaneca 2, que provee el recurso hídrico, indispensable para el desarrollo de la economía y de la seguridad alimentaria del municipio de Samacá [1].

En la zona se presentan precipitaciones entre 500 y 1000 mm al año, la temperatura promedio anual es inferior a 10°C, la evapotranspiración anual del 765,5 mm, la humedad relativa es del 86% aproximadamente y es de carácter estacional; (máxima en épocas de lluvias y mínima en épocas secas) con alta incidencia de radiación [26].

2.2 Método

En las áreas de cobertura de páramo se realizaron 14 parcelas de 9m² cada una, para un área total de 126 m², y, en la plantación de pino se realizaron 4 parcelas de 100 m² cada una (área total = 400 m²), en ellas se registraron datos de riqueza y abundancia por formas de crecimiento: hierba, arbusto y árboles. La estructura de la vegetación en cada sitio se determinó con datos de altura, cobertura, frecuencia y DAP solo para arbustos y árboles que superaban 1,50 metros de altura [43]. Para la identificación de especies se utilizaron guías [18] disponibles en línea; así como la lista de plantas del páramo de Rabanal del Herbario Nacional Colombiano (COL). Se hizo la revisión taxonómica para actualizar los nombres de géneros y especies con bases de datos como "Trópicos" [37], Global Biodiversity Information Facility [17] y Useful Plants of Colombia. El censo de vegetación se realizó entre junio y diciembre del año 2022 con seis salidas de campo para la toma de datos en las parcelas.

En cuanto al análisis de suelos del ecosistema de páramo y la plantación forestal, se tomaron cuatro muestras en cada una de estas áreas a 20 cm de profundidad, en sitios con una topografía pendiente, en la zona de cobertura de páramo el límite de profundidad fueron las rocas y en la plantación las raíces de pino [3].

2.3 Análisis de datos

Para la composición y riqueza de las plantas se identificó el total de familias, géneros y especies presentes en cada ecosistema. Se estimó la diversidad, con el índice de riqueza de Margalef, el índice de diversidad de Shannon y el índice de dominancia de Simpson; se evaluó la representatividad del muestreo con los estimadores de riqueza Chao y ACE, mediante el programa EstimateS ver. 9.1.0. En cuanto a la estructura horizontal, se tomó en cuenta las formas de crecimiento dominantes según abundancia y riqueza; de igual forma, para identificar las especies con mayor representatividad ecológica se estimó el índice de valor de importancia relativa IVR, [2]. Teniendo en cuenta la cobertura relativa, densidad y frecuencia relativas para hierbas y el Índice de Valor de Importancia (IVI) para los

individuos *P. patula*, en la plantación [23]; teniendo en cuenta lo realizado por [7].

Al mismo tiempo se clasificó la información de los análisis de suelo en variables con datos paramétricos y no paramétricos, teniendo en cuenta un $P < 0.05$, la prueba Kolmogórov- Smirnov y la prueba Kruskal-Wallis para evaluar las diferencias estadísticamente significativas entre los dos sitios objeto de estudio.

3. Resultados

3.1 Composición y diversidad

En áreas de cobertura de páramo:

Se registraron 16 familias, 35 géneros y 42 especies; en los censos realizados la familia más representativa fue Asteraceae (7 géneros/8 especies) seguida por Ericaceae (6/8), Orchidaceae y Melastomataceae con tres géneros y tres especies cada una, Gentianaceae, Rosaceae y Rubiaceae dos géneros y dos especies cada una, Bromeliaceae un género y tres especies y las demás familias Cyperaceae, Eriocaulaceae, Geraniaceae, Iridaceae, Lycopodiaceae, Orobanchaceae, Poaceae y Polygalaceae un solo género y una sola especie. Para un total de 501 individuos censados, las especies más abundantes fueron *Espeletia boyacensis* (167 individuos), *Paepalanthus alpinus* (69), *Arcytophyllum nitidum* (64) y *Puya nitida* (36).

En consecuencia, los estimadores de riqueza fueron: Chao 1 y ACE basados en la abundancia, los cuales muestran un 67% y 69,27% respectivamente, de acuerdo con la literatura el índice no paramétrico Chao 1, basándose en la cuantificación de la rareza de las especies registradas, considera que, si se aumentan los muestreos en el páramo de rabanal, hay baja posibilidad de encontrar nuevas especies, [38] Así mismo, (Abundance-based Coverage Estimator) ACE es alto, teniendo en cuenta que se utiliza para las estimativas con pocos individuos por muestra, situación que ocurre en la plantación de pino, donde se suman las probabilidades de las especies observadas [10]

Tabla 1. Índices de diversidad.

Índice	Cobertura natural de páramo	Páramo con Plantación de pino
Simpson_1-D	0,84	0,38
Shannon_H	2,49	0,86
Margalef	6,59	1,14

En la plantación de *Pinus patula* se registraron 6 familias, 6 géneros y 6 especies distribuidos en 80 individuos censados, donde la familia Pinaceae fue la más abundante con 62 individuos de *P. patula*, que forman parte de la plantación realizada a 2,5 m por 2,5m aproximadamente, la altura promedio osciló entre 39 y 55 m y según la Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de tierras de Samacá [6] se estima que el proceso de establecimiento forestal se realizó hace 40 años.

En la plantación de pino de acuerdo con los estimadores Chao 1 y ACE la eficiencia del muestreo fue del 100%, estadísticamente no hay probabilidad de encontrar especies adicionales. Así mismo se observó la disminución de diversidad en la plantación de pino con respecto a la cobertura natural en el páramo de Rabanal (Tab 1).

3.2 Especies de importancia ecológica

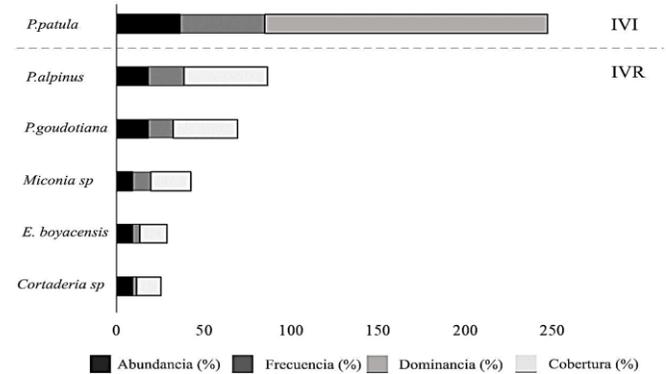


Fig. 1. Las 15 especies más importantes en áreas de cobertura de páramo a partir del IVR.

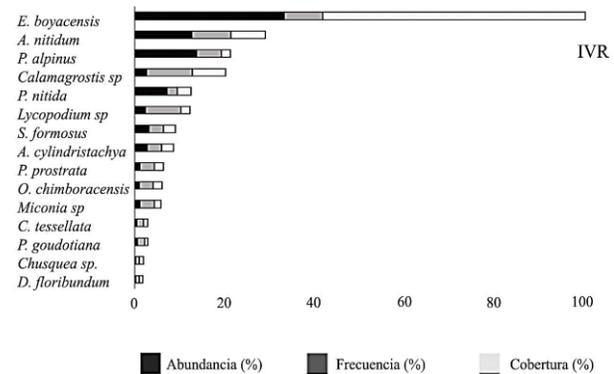


Fig.2. Importancia de las especies en la plantación de pino a partir del IVI e IVR.

En la cobertura de páramo *Paepalanthus alpinus*, *Arcytophyllum nitidum* y *Espeletia boyacensis* fueron las especies más representativas, esta última presenta el valor más alto de importancia y el mayor valor de cobertura (58,5%), mientras que las especies que le siguen en IVR, *Espeletia boyacensis* y *Arcytophyllum nitidum* se caracterizan por ser frecuentes con el (8,66%), las especies restantes presentan IVR inferiores al 20% (fig. 1).

En la plantación, la especie que presenta mayor importancia es: *P. patula* el IVI es de (247,1%) en valor absoluto con una abundancia de (36,36%), frecuencia de (48,45%) y dominancia (162,31%), seguida por *Paepalanthus alpinus*, *Hesperomeles goudotiana* (Decne.) Killip y *Miconia sp*, especies con coberturas de (47,55%), (37,29%) y (23,21%)

respectivamente. El IVR más bajo fue para *Cortaderia sp* con un valor de (25,33%) (fig 2).

4. Discusión

Variable	Paramétrico				No paramétrico Kruskal-Walli's test
	SS	MS	F	P	
PH***	2,36	2,36	1,19	0,31	H (1, N= 8) =1,707831 p=,1913
%MO***	8,04	8,04	1,13	0,32	H (1, N= 8) =,7500000 p=,3865
Ac, Inter*	3,64	3,64	1,62	0,24	H (1, N= 8) =1,333333 p=,2482
Al***	0,84	0,84	0,05	0,82	H (1, N= 8) =,7500000 p=,3865
Ca*	0,00	0,00	7,21	0,03	H (1, N= 8) =3,189873 p=,0741
Mg*	0,00	0,00	34,93	0,00	H (1, N= 8) =5,397590 p =,0202
K**	0,00	0,00	0,00	1,00	H (1, N= 8) =0,000000 p=1,000
Na*	0,00	0,00	0,36	0,57	H (1, N= 8) =,3414634 p=,5590
SB***	0,28	0,28	0,57	0,47	H (1, N= 8) =1,333333 p=,2482
CICE*	3,00	3,00	1,35	0,28	H (1, N= 8) =1,333333 p=,2482
P*	7,41	7,41	2,22	0,18	H (1, N= 8) =1,794304 p=,1804
%Sat de Al*	9,83	9,83	17,3	0,00	H (1, N= 8) =5,333333 p =,0209
%Sat de Na*	0,01	0,01	0,82	0,39	H (1, N= 8) =,1897590 p=,6631
CE***	0,00	0,00	1,80	0,22	H (1, N= 8) =1,750000 p=,1859
%Sat de Ca*	0,93	0,93	5,71	0,05	H (1, N= 8) =3,000000 p=,0833
%Sat de Mg*	0,46	0,46	31,01	0,00	H (1, N= 8) =5,333333 p=,0209
%Sat de K*	0,00	0,00	5,53	0,49	H (1, N= 8) =,5271084 p =,4678
Ca/Mg**	0,00	0,00	6,01	0,89	H (1, N= 8) =,3373494 p=,5614
Ca/K*	1,20	1,20	5,77	0,05	H (1, N= 8) =3,000000 p=,0833
Mg/K*	0,61	0,61	16,13	0,00	H (1, N= 8) =5,333333 p =,0209
K/Mg*	1,94	1,94	11,21	0,01	H (1, N= 8) =5,333333 p =,0209
IK**	0,02	0,02	4,69	0,07	H (1, N= 8) =3,563253 p=,0591

Tabla 2. Variables del suelo.

Prueba Kolmogorov-Smirnov:
 * Normal (Lilliefors p>0.2),
 ** Posible normal (Lilliefors p<0.2)
 *** No normal (Lilliefors p<0.05)

Los censos realizados en el páramo de rabanal registraron 42 especies y 16 familias, autores [15] mencionan que aún hay zonas de esta región del páramo en las que no se han realizado caracterizaciones de la vegetación y que podrían ampliar el conocimiento de su diversidad.

Sin embargo, [13] trabajaron en el mismo páramo y en un área 10 veces mayor (1277 m²) reportaron 50 especies y 30 familias; Asteraceae y Ericaceae fueron las familias más representativas, teniendo en cuenta que su objetivo no fue comparar la vegetación nativa con la plantación de pino, pero se destacan como especies representativas por estratos: *Pinus patula*, *Pernettya prostrata* (Cav.) DC, *Paepalanthus alpinus* Körn y *Paspalum bonplandianum* Flügge. De las cuales, *Paspalum bonplandianum* no se registró en nuestro estudio, a pesar de que es una especie cosmopolita se caracteriza por pertenecer a zonas más templadas y en este estudio no se consideró la parte baja del sub paramo [21].

Así mismo se observó que la presencia de la plantación forestal está relacionada con una menor diversidad vegetal en este ecosistema tal como ha ocurrido en otros lugares con características similares donde *P. patula* es una especie exótica [20].

En las plantaciones de *P. patula* se evidencian 37 especies menos, propias del páramo, entre las cuales se destacan: *A. nitidum*, *Calamagrostis sp*, *P. nitida*, *Acaena cylindristachya* Ruiz & Pav., *Senecio formosus* Kunth, *Pernettya prostrata* (Cav.) DC., *Orthrosanthus chimboracensis* (Kunth) Baker, *Lycopodium sp*, *Chusquea sp* y *Chusquea tessellata* Munro (fig. 1) La mayoría de estas especies presentan áreas foliares reducidas, habito de crecimiento herbáceo y requieren bastante luz para realizar el proceso de fotosíntesis, que sirve para impulsar el crecimiento y floración [36].

Espeletia boyacensis, *Paepalanthus alpinus*, *Puya goudotiana*, *Miconia sp* y *Cortaderia sp* son las únicas especies que han sobrevivido en la plantación de pino. Una de las razones que exponen [27] es que las especies dominantes en las fases tardías del proceso de paramización, de crecimiento lento con formación de roseta como: *E. boyacensis*, *P. alpinus* y *P. goudotiana*, tienen una fotosíntesis más baja y son más resistentes al estrés hídrico que las hierbas de rápido crecimiento [5]. A su vez, estas especies que se encuentran más cerca del suelo están expuestas a temperaturas bajas en la noche, pero a una temperatura más estable en horas de mayor radiación [30] atributos que quizás les permiten sobrevivir bajo el efecto de sombra que ocasiona el dosel de los pinos [31].

En este ambiente, las acículas de *P. patula* caen sobre otras plantas y el suelo, afectando su desarrollo, rompiendo el balance ecológico [11], modificando la estructura de las comunidades propias del páramo y causando degradación del banco de semillas a medida que van creciendo los árboles de pino [8] y comienzan a desplazar a las especies nativas del ecosistema páramo.

Esto ocurre también porque los individuos de *P. patula*, tienen raíces que alcanzan mayor profundidad facilitando la obtención de agua y nutrientes para el crecimiento de los pinos, y dentro de la plantación inhiben algunos procesos de germinación de especies que estaban allí hace bastante tiempo [42] porque obstaculizan el paso de luz al sustrato y arrojan acículas secas sobre el suelo, que forman una capa de más de 25 cm de grosor en el área plantada, esta capa generalmente almacena pocos nutrientes y contiene algunas sustancias resinosas colorantes, xilócromas que disminuyen el humedecimiento del suelo [29] e impregnan las paredes celulares de otras plantas y modifican su fisiología [9] lo que afecta a las especies vegetales propias del páramo.

Esta disminución de especies vasculares, briofitos y líquenes, que cumplen funciones de retención de humedad, genera un impacto negativo en el recurso hídrico.

En cuanto al suelo con cobertura de páramo se presenta formación de agregados y una menor densidad aparente en comparación con el suelo de la plantación de *P. patula*. Respecto a la composición química, el contenido de materia orgánica, medido como porcentaje de carbono orgánico, fue similar entre la plantación y la cobertura vegetal de páramo. Por el contrario, elementos como el calcio y el magnesio, y la relación catiónica de saturación de magnesio registrados en las parcelas fueron más bajos en la plantación de pino y presentó diferencias significativas con respecto a los suelos de las parcelas con la cobertura de páramo. Estas diferencias afectan los procesos de crecimiento y desarrollo de las raíces, dificultan la absorción de nutrientes y agua presentes en el suelo e interviene en la regulación estomática de la vegetación [39]

No obstante, [15] evidencio que el suelo de las plantaciones de pino presenta alta susceptibilidad al deterioro, bajos niveles de fertilidad, fuerte acidez, temperatura edáfica baja, pedregosidad, escaso desarrollo genético, evolución lenta y alto consumo hídrico, estos aspectos son menos evidentes en el análisis de suelos probablemente por la cercanía de la plantación a los embalses Gachaneca 1 y 2.

Estos embalses son muy importantes en la región por la provisión del recurso hídrico para el municipio de Samacá y los municipios aledaños entre ellos Tunja, capital del departamento de Boyacá. Se estima que en el páramo de Rabanal las plantaciones forestales ocupan 405 hectáreas, lo que equivale al 10% del complejo de páramo aproximadamente [15], la mayor concentración de las plantaciones está en el área de influencia del embalse Gachaneca 2, donde nace el Río Gachaneca, perteneciente a la cuenca alta del río Suárez que a su vez es tributario de río Magdalena [15].

5. Conclusiones

La introducción de la especie exótica e invasora *P. patula* mediante plantaciones en el páramo de Rabanal, ha provocado la eliminación de 37 especies propias del páramo, entre las cuales se destacan: *A. nitidum*, *Calamagrostis sp.*,

P. nitida, *A. cylindristachya*, *S. formosus*, *P. prostrata*, *O. chimboracensis*, *Lycopodium sp.*, *Chusquea sp.* y *C. tessellata*. La regeneración natural de la vegetación nativa en el páramo afectado por la plantación de pinos estará ligada a la eliminación de la plantación forestal y de los residuos que se generen después del aprovechamiento [22].

Se recomiendan alternativas de restauración ecológica que contribuyan a agilizar los procesos de sucesión ecológica de estos sistemas perturbados por la plantación [4]. Se han realizado procesos exitosos de restauración ecológica y educación ambiental, entre ellos, el de plantaciones de *P. patula* del embalse del Neusa en cercanías de la ciudad de Bogotá-Colombia. Estos trabajos sirven de insumo para realizar procedimientos similares, teniendo en cuenta que el suelo de la plantación de pino no presentó cambios significativos en muchas de las variables medidas, por lo que se podría lograr la recuperación de la vegetación y de los suelos del páramo Rabanal afectados por estas plantaciones, en tiempos cortos.

Reconocimientos

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, con el proyecto SGI 3286 del grupo Ecología de Bosques Andinos Colombianos (EBAC) y a la comunidad del municipio de Samacá.

Referencias

- [1] Alcaldía municipio de Samacá. (2020). Plan de Desarrollo Municipal.
- [2] Álvarez-Lopezello, J., Rivas-Manzano, I. V., Aguilera-Gómez, L. I., y González-Ledesma, M. (2016). Diversidad y estructura de un pastizal en El Cerrillo, Piedras Blancas, Estado de México, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 980-989. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.006>
- [3] Ballén Ramírez, M. J. (2021). Descomposición con potencial de aprovechamiento de las Acículas del *Pinus patula* l. Provenientes de plantaciones establecidas en el páramo Rabanal, Colombia.
- [4] Ballen, C. J., Wieman, C., Salehi, S., Searle, J. B., & Zamudio, K. R. (2017). Enhancing diversity in undergraduate science: Self-efficacy drives performance gains with active learning. *CBE—Life Sciences Education*, 16(4), ar56.
- [5] Basto Mercado, S. I., Moreno Cárdenas, A. C., y Barrera Cataño, J. I. (2018). Restauración ecológica en áreas post-tala de especies exóticas en el Parque Forestal Embalse del Neusa. Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- [6] Basto, S., Roa-Fuentes, L., Moreno, A. C., y Barrera-Cataño, J. I. (2020). Seed bank responses after clearcutting *Pinus patula* plantations in Andean high montane areas. *Universitas Scientiarum*, 25(3), 517-543.
- [7] Castiblanco, A. (2023). Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de tierras de Samacá.
- [8] Castro-Martínez, A. L., Gil-Leguizamón, P. A., y Morales-Puentes, M. E. (2020). Vegetación asociada con helechales en el Parque Nacional Natural Serranía de Los Yariquíes, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 68(4), 1107-1115. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i4.40451>
- [9] Cavelier, J., & Santos, C. (1999). Efectos de plantaciones abandonadas de especies exóticas y nativas sobre la regeneración natural de un bosque montano en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 47(4), 775-784.
- [10] Colwell, R. K., Mao, C. X., & Chang, J. (2004). Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85(10), 2717-2727.

- [11] Cortés-Duque, J., y Sarmiento Pinzón, C. E. (2013). Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana. Memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- [12] Cuapio Hernández, L. (2017). Características anatómicas, densidad de la madera y estudio fitoquímico de la raíz de *Fagus grandifolia* subsp. mexicana (Martínez).
- [13] Cuello Salinas, M. J., & Galvis Rueda, M. Diversidad y composición de plantas vasculares en humedales del páramo Rabanal, Boyacá-Colombia Diversity and composition of vascular plants in wetlands of the paramo Rabanal, Boyacá-Colombia.
- [14] Escobar, E. S., Garavito, M. A., & Santacruz, S. R. (2021). Monitoreo de experiencias de restauración ecológica en páramos afectados por plantaciones forestales de *Pinus patula*. Un estudio de caso en el páramo de Rabanal, Boyacá-Colombia. Biodiversidad en la Práctica, 6, e919-e919.
- [15] Estupiñan Bravo, L. H. (2002). Estudio del impacto causado en la vegetación nativa por el establecimiento de plantaciones de pino en el páramo de Gachaneca.
- [16] Estupiñan, L. (2002). Estudio del Impacto causado en la vegetación nativa por el establecimiento de plantaciones de pino en el páramo de Gachaneca. En Actualidad Y Divulgación Científica (Vol. 5, Número 1, pp. 31-41).
- [17] GBIF: Fondo Mundial de Información sobre Biodiversidad (2024)
- [18] Gutiérrez Domínguez, L. Formulación de un manual de operaciones en el Jardín Botánico Helia Bravo Hollis, Zapotitlán Salinas, Puebla.
- [19] Hofstede, R. G. M., Groenendijk, J. P., Coppus, R., Fehse, J. C., y Sevink, J. (2002). Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes. Mountain Research and Development, 22(2), 159-167. [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2002\)022\[0159:IOPPOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2002)022[0159:IOPPOS]2.0.CO;2)
- [20] Hofstede, R. G. M., Lips, J. M., & Jongasma, W. (1998). Geografía, ecología y forestación de la Sierra Alta del Ecuador: Revisión de literatura.
- [21] IAVH, CAR, CORPOBOYACÁ, C. (2008). Estudio sobre el Estado Actual del Macizo del Páramo de Rabanal. Estudio sobre el Estado Actual del Macizo del Páramo de la AvH, CAR, CORPOBOYACÁ, C. (2008). Estudio sobre el Estado Actual del Macizo del Páramo de Rabanal. Estudio sobre el Estado Actual del Macizo del Páramo de Rabanal, 048(07), 500. Rabanal, 048(07), 500.
- [22] Instituto Humboldt. (2019). Mapa de Samacá-Bogotá, Colombia en Google maps. <http://www.humboldt.org.co/es/test/item/559-paramos-y-sistemas-de-vida-rabanal>
- [23] Jaksic, F. (2007). Ecología de comunidades. Ediciones UC.
- [24] Jofré, C., & Contreras, F. (2013). Implementación de la metodología ABP (Aprendizaje Basado en Problemas) en estudiantes de primer año de la carrera de Educación Diferencial. Estudios pedagógicos (Valdivia), 39(1), 99-113.
- [25] Körner, C., Neumayer, M., Menendez-Riedl, S. P., y Smeets-Scheel, A. (1989). Functional Morphology of Mountain Plants. *Flora*, 182(5-6), 353-383. [https://doi.org/10.1016/s0367-2530\(17\)30426-7](https://doi.org/10.1016/s0367-2530(17)30426-7)
- [26] Lamb. (2005) Ante el cambio climático. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(25), 18-33.
- [27] Llambí, L. D., Fontaine, M., Rada, F., Saugier, B., y Sarmiento, L. (2003). Ecophysiology of Dominant Plant Species during Old-Field Succession in a High Tropical Andean Ecosystem. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 35(4), 447-453. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2003\)035\[0447:EODPSD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2003)035[0447:EODPSD]2.0.CO;2)
- [28] Medina, A., Macias, J. P., Obregón, N., Del, D., Ordenamiento, P. D. E., Alta, C., Del, Y. M., Chicamocha, R. Í. O., Planificación, E. D. E., Media, A. Y., y Río, D. E. L. (2016). LA CUENCA MEDIA Y ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA Versión Preliminar.
- [29] Ochoa Gutiérrez, L. C. (2016). Práctica profesional en el Departamento de Gestión Ambiental de la Industria Carbonífera de Samacá SAS Boyacá.
- [30] Pérez Miranda, R., Moreno Sánchez, F., González Hernández, A., y Arriola Padilla, V. J. (2014). Distribución de *Abies religiosa* (Kunth) Schldl. et. Cham. y *Pinus montezumae*
- [31] Raffaele, E., y Schlichter, T. (2000). Efectos de las plantaciones de pino ponderosa sobre la heterogeneidad de micrositios en estepas del noroeste patagónico. *Ecología austral*, 10(2), 151-158.
- [32] Rangel, L., Garralda, M. E., Levin, M., & Roberts, H. (2000). The course of severe chronic fatigue syndrome in childhood. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 93(3), 129-134.
- [33] Recharte, J., Torres, J., Medina, G., Ponce, A. maria, y Echandia, E. (2000). Los paramos Como fuente de Agua, Mitos, Realidades, Retos y Acciones. II Conferencia Electrónica sobre Usos Sostenibles y Conservación del Ecosistema Páramo en los Andes, 214.
- [34] Rivera-Rodríguez, M. O., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., Villegas-Monter, Á., & Jiménez-Casas, M. (2016). Enraizamiento de estacas de *Pinus patula*. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(4), 385-392.
- [35] Rojas, J. E., Ramírez, A. V., y Altsjor, K. O. (2017). Plan de conservación y manejo de las especies de frailejones presentes en el territorio de la CAR.
- [36] Silva Monsalve, A. M., García, P. G., Sandoval Serrano, M. A., Bohórquez Ramírez, G., y Benitez, A. (2022). Fortalecimiento de la cultura ambiental y la protección de los ecosistemas estratégicos mediante la incorporación de tecnologías digitales. Available at SSRN 4161158.
- [37] Tropicos Publicado en internet: <http://www.tropicos.org/>[Abril de 2016] Turner, P., & Pharo, E.(2024). Influence of substrate type and forest age on bryophyte species distribu. *Rev. Biol. Trop.*, 65(4), 1397-1406.
- [38] Toti, P., De Felice, C., Stumpo, M., Schürfeld, K., Di Leo, L., Vatti, R., ... & Luzi, P. (2000). Acute thymic involution in fetuses and neonates with chorioamnionitis. *Human pathology*, 31(9), 1121-1128.
- [39] Torres-guerrero, C. A., B, J. D. E., Fuentes-ponce, M. H., Govaerts, B., León-gonzález, F. De, y Manuel, J. (2013). INFLUENCIA DE LAS RAÍCES SOBRE LA AGREGACIÓN DEL
- [40] Vargas, R., Mosquera, L. B., y Armando, W. (2019). Sistemas agroforestales: una alternativa sostenible para mejorar los ecosistemas del departamento del Tolima.
- [41] Vásquez Cerón, A., & Buitrago Castro, A. C. (2011). El gran libro de los páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- [42] Vergara-Buitrago, P. A. (2019). Experiencia de reconocimiento territorial con estudiantes pobladores de los municipios de Ventaquemada (Boyacá) y Sabanalarga (Casanare). *Equidad y Desarrollo*, 1(34), 101-120.
- [43] Villarreal, et al. (2004). MANUAL DE MÉTODOS PARA EL DESARROLLO DE

