



Universidad de los Andes
Facultad de Ciencias
Departamento de Biología
Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas



**IMPACTO DE LA FORESTACIÓN CON PINO (*Pinus patula* Schiede
ex Schltdl. & Cham.) SOBRE LA DIVERSIDAD VEGETAL Y LOS
SUELOS EN EL PÁRAMO DE MUCUBAJÍ, PARQUE NACIONAL
SIERRA NEVADA.**

Autora: Jozulmelly Jeredith Ruiz Hernández
Tutor: Dr. Luis Daniel Llambí Cartaya

Mérida, Marzo 2014

A mis padres por ser la razón de mi vida...

Al páramo, tierra de ensueño

y a Mapalína por brindarme su colaboración...

Agradecimientos

Quiero darle las gracias primeramente a Dios, a mis Santos, y a las ánimas benditas.

Seguido darles las gracias a las dos personas más importantes y fundamentales en mi vida, sinceramente no tengo palabras para expresarles cuanto amor y agradecimiento les tengo, este título también les pertenece a ustedes mis biólogos Nelson y Zuleima, mis padres, son mi pilar y mi motor para seguir luchando, simplemente son mi TODO. Y que conste que un LOS AMO, nunca será suficiente!!! Las niñas de la casa Tatty y Chía, siempre son una vía de escape, y ahora la nueva niña Canela. A quienes ya no están con nosotros físicamente, pero estuvieron siempre, Felino, Zassy y Lucki.

También quiero agradecerles a la ilustre Universidad de los Andes y todos los profesores que fueron parte de mi formación, gracias.

A Sioly Marquez, que sería del Departamento de Biología sin ella.

Al Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, por abrirme sus puertas, a todos los que forman parte de este Instituto, los profesores, especialmente a Eulogio Chacón, Julia Smith y Dimas Acevedo, y por supuesto a los técnicos que siempre me brindaron su colaboración, Zulay, Jhonny y Wuilliam mil gracias.

A mis jurados, Anairamiz Aranguren, Benito Briceño y Teresa Schwarzkopf gracias por sus valiosas correcciones, y el gran apoyo brindado para que esta meta fuese alcanzada.

A mi querido tutor Luis Daniel Llambí, en serio Luis muchísimas gracias por darme la oportunidad de trabajar contigo, por tu confianza, tu amistad, tus consejos, y el gran apoyo que me diste en todo momento, hasta con las carreras que te hice dar, y sobretodo gracias por haberme guiado en este maravilloso e increíble camino de aprendizaje, la tesis más turística del ICAE, o la tesis perfecta, no hubiese sido posible sin ti, o mejor dicho sin el tutor perfecto.

A MI PROFE, Jaime Eduardo Pefáur, agradecida eternamente por compartir conmigo tanto conocimiento y siempre darme la oportunidad de aprender de usted cada día más, y obviamente por la paciencia.

A los dos muchas gracias, los quiero muchísimo, mi admiración hacia ustedes es realmente infinita, son mis dos grandes ejemplos a seguir.

Maricela Angelino, uy, que puedo decir Mari, no tengo como pagarte por todo, mi gran amiga, gracias Mari, eres lo máximo.

A mi tío Carlos Ruiz, muchas gracias por el apoyo inicial. A mis tíos Alberto Hernández y Glaider Surmay, que de una u otra manera siempre me han apoyado, estando presentes en todo momento de este largo camino, al fin lo logre, gracias. A mi abuela Emelly, a pesar de todo, también a ti te dedico este triunfo. A todos mis primos espero que esto les sirva de motivación, el camino no es fácil, pero si se puede. Chucho espero por ti, Manolo actíivate.

A mi Sabrina Uzcategui, mi amiga, mi confidente, mi hermana, mi ahijada y mi comadre, jeje, gracias simplemente por formar parte de mí, te Adoro. A mi bebita linda Samantha, siempre logras sacar mi mejor sonrisa, que Dios te bendiga hoy y siempre mi niña, y también a tí Dani, eres mi príncipe.

A Nayibi Bastos, mi amiga desde la infancia, ni el tiempo ni la distancia han podido con nuestra amistad te adoro mi brujita, a Nancy, tan bella tu hospitalidad es increíble, gracias por tanto.

A toooooodos los amigos que de una u otra manera siempre estuvieron conmigo en todo momento, algunos al inicio, en la mitad o al final de mi carrera, como hago para nombrarlos a todos, son muuuchos, y además no sé si mi memoria sea tan buena, pero entiendan todos que los quiero, y les doy las gracias por estar allí.

A Jesús Delgado, mi amigo incondicional, en las buenas y malas siempre has estado conmigo, te amo mi gordo.

A mis amigas, Thalía, Ariana, Adriana, Mariana, Kharelys, Raquel, Rita, Rocio, Lisbeth, Fabiola, Yelitza, Celeste, Marié, Laura, Angélica, Dexys. A mis amigos, Yon, Xavier, Johnma, Yorman, Eddison, Axel, Aldo. A todos gracias, que momentos tan gratos he podido compartir con ustedes, tantos recuerdos que siempre llevaré conmigo a donde vaya, de verdad excelentes compañeros de estudio, de rumba, de alegrías, tristezas, bue simplemente de vida.

Mario Gus, gracias por estar y regalarme momentos tan bonitos.

A la familia González Pérez, por un tiempo considerable también fueron mi familia, y especialmente agradecida con la Sra Maigualida Pérez, y a ti Nelson Rafael gracias por todo y tanto, siempre tendrás ese lugarcito especial.

También quiero darle unas gracias infinitas a la familia Rojas Mora, a la Sra. Petra Mora y sus hijas Sonia, Nohelia y Rosa, por abrirme las puertas de su casa permitiéndome ser una más de ustedes y hacerme sentir más que en una residencia en mi segundo hogar, a todas las quiero un mundo, y por supuesto a la princesa de la casa, Nahomi.

Espero que nadie se me escape, estoy extremadamente FELIZ, al fin...!!!

Resumen

En Venezuela, el páramo en la Cordillera de Mérida, configura un paisaje dinámico con un mosaico de ecosistemas naturales y transformados. Una de las amenazas más importantes que enfrentan los páramos andinos es la forestación con especies introducidas. En nuestro país, la introducción de varias especies exóticas de pino en la región andina comenzó alrededor de los años sesenta y perseguía como objetivos principales la conservación y protección de los suelos y cuencas hidrográficas. En este trabajo se pretendió aportar elementos para evaluar cuál fue el impacto en el piso del páramo andino, de la forestación de especies de pino, para esto se realizó el análisis comparativo de la estructura de la vegetación y algunas propiedades del suelo dentro de plantaciones de pino establecidas en páramos relativamente bien conservados cercanos a la Laguna de Mucubají y páramos no forestados adyacentes a esta situación. Fueron seleccionadas cuatro situaciones al azar (plantación, borde interno, borde externo y control) y 6 replicas por situación, se trabajó con un total de 24 unidades de muestreo, en cada UM se analizó la abundancia, riqueza y diversidad de las especies presentes utilizando el método de cuadrado puntual, además se analizó el contenido de pH y materia orgánica presente en la superficie del suelo (0-10 cm). Los resultados de las mediciones de pH y el contenido de materia orgánica del suelo muestran una disminución significativa de estas propiedades para el horizonte más superficial del suelo (0-5 cm) al comparar áreas bajo la plantación y páramos no forestados. También se encontró que a pesar que la cobertura de todas las especies no disminuye, e incluso algunas especies se ven beneficiadas, se obtienen cambios marcados en la estructura de las abundancias de las especies, la cual disminuye bajo las plantaciones y aumenta gradualmente hasta la situación control (páramo no intervenido), así como también se observan variaciones en la identidad dominante de las especies para cada localidad.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Ecología de perturbaciones y disturbios	5
1.2 Descripción del Páramo y sus amenazas	5
1.3 Forestación con pinos ¿Disturbio o estrategias de restauración?	8
1.4 Antecedentes de Investigación: efectos ecológicos de las plantaciones con pinos ...	9
CAPÍTULO II. OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS	13
2.1 Objetivos	13
2.1.1 Objetivo general:	13
2.1.2 Objetivos específicos:.....	13
2.2 Justificación.....	13
2.3 Hipótesis	14
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	15
3.1 Área de estudio	15
3.1.1 Ubicación geográfica	15
3.1.2 Uso de la tierra	16
3.1.3 Clima	16
3.1.4 Suelo	17
3.1.5 Vegetación.....	17
3.2 Métodos de muestreo	18
3.2.1 Diseño del muestreo.....	18
3.2.2 Caracterización de la plantación	20
3.2.3 Análisis de vegetación.....	21
3.2.4 Análisis de suelo.....	21
3.3 Análisis de datos	22
3.3.1 Densidad de las especies de pino en pie	22
3.3.2 Calculo del área basal por hectárea de los pinos.....	23
3.3.3Cálculos de Cobertura.....	23
3.3.4Histogramas de la abundancia relativa	23
3.3.5Riqueza y diversidad de especies	23
3.3.6Análisis Multivariado de ordenación	24
3.3.7Pruebas estadísticas	24

CAPÍTULO IV. RESULTADOS	26
4.1 Características de las unidades de muestreo	26
4.2 Características de la plantación	26
4.2.1 Densidad de pinos en pie y área basal a la altura de pecho	26
4.2.2 Peso seco de acículas	27
4.3 Características edáficas.....	28
4.3.1 Valores de pH a diferentes profundidades	28
4.3.2 Valores de materia orgánica M.O. a diferentes profundidades	30
4.4 Riqueza y Diversidad	31
4.5 Histogramas de patrones de abundancia de las especies.....	33
4.6 Análisis multivariados.....	38
CAPITULO V. DISCUSIÓN	39
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS.....	54

Índice de Figuras

Figura N° 1. Mapa del Estado Mérida. Ubicación del Páramo de Mucubají, Parque Nacional Sierra Nevada	15
Figura N° 2. Climadiagrama de Mucubají	17
Figura N°3. Representación esquemática de la ubicación de las parcelas respecto al borde, en este caso borde interno	18
Figura N°4. Representación esquemática de la ubicación de las parcelas respecto al borde, en este caso borde externo	19
Figura N° 5. Mapa de ubicación de las parcelas de estudio en el Páramo de Mucubají	20
Figura N° 6. Área de la superficie muestreada para la caracterización de la plantación	22
Figura N° 7. Promedio de los valores de pH y su desviación estándar, a diferentes profundidades (A.0 – 5 y B. 5 – 10) para cada una de las situaciones estudiadas en el Páramo de Mucubají	29
Figura N° 8. Promedio del contenido total de materia orgánica del suelo y su desviación estándar, a diferentes profundidades (A.0 – 5 y B. 5 – 10) para cada una de las situaciones estudiadas en el Páramo de Mucubají	31

Figura N° 9. Riqueza promedio de cada situación estudiada en el Páramo de Mucubají y su desviación estándar	32
Figura N° 10. Diversidad promedio de cada situación estudiada en el Páramo de Mucubají, y su desviación estándar, con el Índice de Shannon, con $\alpha=0,05$	33
Figura N° 11. Histograma de patrones de abundancia para el promedio de la cobertura de las especies vegetales en el interior de la plantación de pino (<i>Pinus patula</i>), Páramo de Mucubají	34
Figura N° 12. Histograma de patrones de abundancia para el promedio de la cobertura de las especies vegetales en el Borde interno, Páramo de Mucubají	35
Figura N° 13. Histograma de patrones de abundancia para el promedio de la cobertura de las especies vegetales en el Borde externo, Páramo de Mucubají	35
Figura N° 14. Histograma de patrones de abundancia para el promedio de la cobertura de las especies vegetales en páramo no forestado (Control), Páramo de Mucubají	36
Figura N° 15. Histograma de patrones de abundancia comparando el promedio de la cobertura de las especies vegetales en páramo no forestado (Control) y el interior de las plantaciones de pino, Páramo de Mucubají	37
Figura N° 16. Histograma de patrones de abundancia comparando el promedio de la cobertura de las especies vegetales en páramo no forestado (Control) y el Borde interno, Páramo de Mucubají	37
Figura N° 17. Diagrama de ordenación de las parcelas estudiadas utilizando un escalamiento multidimensional no métrico (MDS) a partir de la matriz de coberturas por especie en diferentes situaciones de muestreo (plantación, borde interno, borde externo y control) en el Páramo de Mucubají	38

Índice de Tablas

Tabla N° 1. Promedio y desviación estándar, máximo y mínimo de la altitud y la pendiente para cada una de las situaciones en estudio, en la localidad de Mucubají	26
Tabla N° 2. Variaciones de la densidad total y el área basal de los individuos de pino de la <i>Pinus patula</i> , en las diferentes situaciones de estudio en el páramo de Mucubají	27
Tabla N° 3. Variaciones de los pesos secos de las acículas presentes en las diferentes situaciones de estudio con presencia de pinos en el páramo de	27
Tabla N° 4. Porcentaje de la cobertura de acículas y suelo y su desviación estándar en las diferentes situaciones de estudio en el Páramo de Mucubají	28

Tabla N° 5. Promedio de los valores de pH, desviación estándar y mediana, de las muestras de suelo tomadas a la profundidad de 0-5 cm y de 5-10 cm respectivamente, en cada una de las situaciones estudiadas en el Páramo de Mucubají 28/29

Tabla N° 6. Promedio de los valores de materia orgánica, desviación estándar y mediana, de las muestras de suelo tomadas a la profundidad de 0-5 cm, en cada una de las situaciones estudiadas en el Páramo de Mucubají 30

Tabla N° 7. Riqueza total de especies para cada una de las situaciones estudiadas 32

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Ecología de perturbaciones y disturbios

La mayoría de todos los ecosistemas que existen en nuestro planeta han sido transformados, por causa de disturbios. Los disturbios son eventos de supresión de uno o más elementos de un sistema ecológico que causa un cambio significativo en el patrón normal de éste (Corredor-Velandia y Vargas 2007) así como también eventos de adición como es la introducción de especies; un disturbio puede ser de origen natural o antrópico. Se considera como disturbio natural la caída de árboles, las plagas, el fuego, el viento y las inundaciones (Mora *et al.* 2007). No obstante, la ocurrencia de estos eventos en un ecosistema no produce una alteración en sus funciones ecológicas, prevaleciendo así un equilibrio dinámico. Caso contrario ocurre en los disturbios antrópicos, donde las actividades humanas como la deforestación, producción agropecuaria, minería, desarrollo industrial, urbanización, introducción de especies exóticas (Vargas y Mora 2008) entre otros, ocasionan una reducción en la integridad de los ecosistemas, alterando sus funciones ecológicas y su biodiversidad.

Un disturbio está influenciado por múltiples factores, entre éstos, la duración, intensidad, espacialidad, frecuencia y magnitud particular, y puede afectar todos los niveles de organización (población, comunidad, ecosistema, paisaje) de forma diferencial (Mora *et al.* 2007). Por lo tanto es muy importante poder categorizar el disturbio (Sarmiento y Smith 2011) para así obtener la mayor información del mismo.

1.2 Descripción del Páramo y sus amenazas

Los páramos andinos pueden ser definidos como los ecosistemas naturales y transformados que se encuentran por encima de la línea de los bosques y por debajo de las nieves perpetuas en lo largo de los andes tropicales (Sarmiento y Llambí 2011). Los páramos en Sudamérica forman un corredor con muchas conexiones y cubren los pisos por arriba de 3.000 m de los Andes tropicales, desde el norte de Perú hasta Venezuela. Incluyen además dos complejos más, los páramos en Costa Rica y la Sierra Nevada de Santa Marta (Hofstede 2003). También se encuentran ecosistemas semejantes a los páramos neotropicales sobre las montañas en el oriente de África y suroriente de Asia (Hofstede 2003). En Venezuela, el páramo ocupa una superficie aproximada de 2.660 Km², correspondiente a los estados Apure, Táchira, Mérida, Barinas, Trujillo, Lara y Zulia, encontrándose el 75% en el estado Mérida con casi 2.000 Km² (Monasterio y Molinillo 2003).

Una característica importante de los páramos es su gran diversidad biológica. La vegetación incluida en este ecosistema no es uniforme: comprende un conjunto de formaciones vegetales diferentes (León-Yáñez 2011) que son determinados por las circunstancias climáticas típicas para cierta altitud (Hofstede 1998). Estas formaciones vegetales ocurren a lo largo de varios pisos altitudinales definidos por Cuatrecasas (1958) como subpáramo, páramo y superpáramo. En el caso de los Andes de Venezuela, la división de estos pisos altitudinales más utilizada es la propuesta por Monasterio (1980c),

que los divide en bosque páramero, páramo andino y páramo altoandino. La flora de estos páramos ha tenido un doble origen, por un lado, elementos extratropicales, tanto australes como boreales, preadaptados a las bajas temperaturas; y por el otro elementos de origen tropical, preadaptados a los climas de ritmo diario (Monasterio y Molinillo 2003). En general se encuentra representada por una vegetación herbácea, dominada por gramíneas en macoya, cojines, rosetas caulescentes y acaules, hierbas no graminoides y arbustos esclerófilos. En la mayoría de las formaciones vegetales destaca además la ausencia de árboles (Hofstede 1998).

En Ecuador, debido al aislamiento en las zonas más altas de la cordillera, el grado de especiación y endemismo en los páramos es muy alto y en ellos se pueden encontrar alrededor de 5000 especies de plantas (Arcos 2010), que representan entre el 10 y el 20% del total de la riqueza florística de Los Andes (Suárez 2000); en Venezuela se puede encontrar al menos 78 familias de dicotiledónias con 319 (34,78%) especies endémicas (Briceño y Morillo 2002), y 17 familias de monocotiledónias con 68 especies endémicas (Briceño y Morillo 2006). Estas plantas tienen características anatómicas y fisiológicas típicas que les permite adaptarse muy bien a condiciones climáticas extremas, como alternancias térmicas diarias, bajas temperaturas del suelo y del ambiente, alta radiación solar, baja presión atmosférica, y estrés hídrico estacional (Azocar y Rada 2006). Así mismo, su fauna exhibe un alto valor endémico, y es el hábitat de muchas especies silvestres, algunas consideradas en peligro de extinción (Hofstede 2003), incluyendo el oso frontino (*Tremarctos ornatus*), el cóndor (*Vultur gryphus*), el pato de torrentes (*Merganetta armata*), sapo amarillo de páramo (*Atelopus mucubajiensis*), entre otras.

Gracias a las características ecológicas especiales, el páramo brinda servicios ambientales que son fundamentales. Entre estos se encuentra, la provisión continua de agua. Aunque generalmente no se evidencia una alta precipitación, por el frío y la alta nubosidad a esta altura, la evaporación es muy baja (Hofstede 1997), lo que favorece la regulación hídrica. La descomposición de la materia orgánica es muy baja, debido a las bajas temperaturas y la alta humedad relativa (Hofstede 1997) por lo cual, los suelos tienen un alto contenido de materia orgánica, alta porosidad y buena conductividad hidráulica (Díaz-Granados Ortiz *et al.* 2005). Estas condiciones permiten que los suelos del páramo tengan una muy alta capacidad de retención de agua (De Bièvre *et al.* 2011) y que sus suelos almacenen grandes cantidades de carbono. Otro servicio ambiental del páramo es su diversidad de especies y de paisajes, lo que constituye un atractivo turístico muy importante en el caso de Venezuela (Monasterio y Molinillo 2003). Sin embargo, estas funciones se ven cada vez más amenazadas por la intervención humana en estos ecosistemas. El ser humano ha estado presente y ha usado el medio ambiente andino durante por lo menos 10.000 años (van der Hammen 2008 y Hofstede 1998). En el caso de Venezuela las transformaciones antrópicas más significativas se iniciaron a partir del siglo XVI con la llegada de los conquistadores. Durante este proceso se estableció en los Andes una economía mercantil basada en la producción agropecuaria de alimentos, para el comercio interno regional. El comercio se organizó en un conjunto de redes sustentadas sobre la base de la diversidad de los recursos agrícolas que ofrecía la variada topografía y ecología de la zona (Velázquez 2004). Las actividades humanas que

se realizan en el páramo tienen un impacto sobre éste y pueden ser serios limitantes para su conservación (De Bièvre *et al.* 2011). Entre estos impactos podemos mencionar el pastoreo extensivo por el ganado introducido, las actividades agrícolas, las actividades de extracción y minería, la quema y la aforestación con especies exóticas (Sarmiento y Llambí 2011). Así, a nivel de los Andes del Norte se estima que un 60% de todos los páramos están bajo uso continuo (Hofstede 2003). No obstante, la importancia y la extensión del impacto de estas actividades varían de país en país y de región en región dentro de un mismo país (Llambí y Cuesta *en prensa*). En el caso de Venezuela, cerca del 80% de los páramos se encuentran dentro de áreas protegidas (Parques Nacionales y Monumentos Naturales), por lo que su estado de conservación es mejor que el de otros países de los Andes del Norte (Monasterio y Molinillo 2003).

En varias zonas del páramo ecuatoriano existe una presión de cultivo. Se trata principalmente del cultivo de la papa, pero también son importantes las flores, hortalizas, ajo, cereales, habas, chochos, quínoa, oca, ollucos (Hofstede 2003). Tradicionalmente la agricultura paramera en Venezuela manejaba las parcelas mediante la práctica del descanso (Monasterio y Molinillo 2003), pero desde hace algunos años han comenzado a presentarse cambios en las tecnologías agrícolas utilizadas (como la introducción de semillas importadas, fertilizantes inorgánicos y plaguicidas), el avance en la frontera agrícola, así como la disminución de las prácticas de descanso de la tierra (Sarmiento y Llambí 2011). Por su naturaleza, la agricultura afecta drásticamente al ambiente, en particular al suelo (Crissman 2001) y el principal efecto en los suelos es la degradación de la estructura, principalmente en relación al contenido de materia orgánica y de nutrientes minerales (De Bièvre *et al.* 2011).

El ganado fue introducido en los páramos tropicales por los españoles en el tiempo de la colonia (Cobo 2001), y desde entonces ha sido una actividad que representa un complemento de la agricultura (Sarmiento y Llambí 2011). La ganadería extensiva tiene dos tipos de impacto, y es probablemente el uso de la tierra que ocupa más superficie de los páramos (Hofstede 2003). El primer tipo de impacto es el causado por la presencia y pastoreo de las reses, ovejas o cabras, y el segundo es el causado por las quemaduras asociadas, especialmente en Colombia y Ecuador (van der Hammen 2008). Las prácticas asociadas al ciclo fuego-pastoreo utilizadas en los páramos de Ecuador y Colombia no son usadas en Venezuela, pero sí se practica una ganadería extensiva (Molinillo y Monasterio 2002).

En las últimas décadas, las plantaciones de especies de árboles exóticos de rápido crecimiento se han convertido en uno de los usos más importantes en los Andes tropicales (Farley y Kelly 2004). Estas plantaciones forestales fueron implementadas a lo largo de la región andina, con el objetivo de mejorar el medio ambiente a través de la conservación del suelo y la regulación hidrológica, la producción de madera y en algunos de los casos, la captura de carbono (Lips y Hofstede 1998). Sin embargo, estudios relacionados con el impacto ecológico que generan estas plantaciones demuestran la existencia de procesos de deterioro del suelo y la vegetación en vez de la recuperación propuesta por los entes promotores de actividades forestales en el páramo.

1.3 Forestación con pinos ¿Disturbio o estrategias de restauración?

La transformación de la vegetación natural hacia plantaciones forestales de especies de rápido crecimiento se ha convertido en una actividad emergente a nivel global, y Sudamérica presenta, después de Asia, la tasa más alta de crecimiento de esta actividad (Jobbágy 2009). La mayoría de estas especies son de los géneros *Pinus*, *Cupressus* y *Eucaliptus*. Son originarias de paisajes totalmente distintos de los que encontramos en los Andes. Siendo especies importadas de otras áreas, se las denomina exóticas (Hofstede 2000). No obstante la introducción de especies exóticas a regiones lejanas de sus límites naturales, va generalmente acompañada por problemas de carácter ecológico (Brandbyge 1991). Los impactos negativos más importantes de las plantaciones de pinos posiblemente se relacionan con el suelo y la hidrología de los páramos. La alteración en las condiciones microclimáticas y edáficas provocan a su vez, cambios importantes en la estructura y diversidad de la vegetación natural. Sin embargo, estos impactos negativos se han registrado cuando las plantaciones se realizan en páramos relativamente bien conservados. Según Farley (2011) el establecimiento de estas plantaciones forestales en áreas de páramo degradado, con suelos en procesos de erosión activos y muy compactados, pudiera ofrecer efectos positivos sobre la cantidad de agua y carbono en el suelo, mejorándose la capacidad de retención de agua por lo que sugiere que estas actividades pudieran ser una alternativa como estrategia de rehabilitación de áreas muy degradadas.

Las plantaciones forestales empezaron a establecerse en los páramos desde mediados del siglo XX aproximadamente. Las metas perseguidas eran diversas, desde económicas, como producción de madera (producción interna y de exportación), algunas biofísicas, en las cuales se incluía el control de la erosión y la fijación de dióxido de carbono atmosférico, así como simplemente la producción de “bienes y servicios”. En otros casos la forestación, en sí misma, fue la meta planteada. Extensiones de estas plantaciones se encuentran en Mucubají (Venezuela), Cundinamarca, Cauca-Nariño (Colombia), Cotopaxi, Chimborazo, Oña-Saraguro (Ecuador) y Cajamarca (Perú) (Hofstede 2003).

En Venezuela, la introducción de varias especies de pino en la región andina comenzó en la década de 1960 (Gómez y Delgado 1989). En Mucubají esta introducción fue promovida mediante un proyecto ULA – CORPOANDES, el cual perseguía como objetivos principales la conservación y protección de los suelos y cuencas hidrográficas, además de crear un bosque productor de madera, recreativo y de investigación (Gómez y Delgado 1989). Las especies plantadas en Mucubají fueron *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl., *P. radiata* D. Don, *P. greggii* Engelm. ex Parl., *P. lutea* Walter, *P. montezumae* Lamb., *P. pátula* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. michoacana* Martínez, *P. pseudostrobus* Lindl. y *Cupressus lusitánica* Mill. (Gómez y Delgado 1989).

Estas prácticas forestales pudieran haber ocasionado problemas ambientales, como la pérdida dentro de las plantaciones de muchas especies vegetales nativas, sequedad de los suelos, así como problemas socioeconómicos debido a la falta de preparación de la población campesina en el aprovechamiento de estas nuevas especies (Velázquez 2004). Estos problemas potenciales pueden atribuirse a transferencias tecnológicas sin

conocimiento de cuáles serán las implicaciones a largo plazo o de que tan apropiadas resultarían estas variedades no autóctonas en el ambiente tropical de montaña característico de Los Andes. Sumado a esto, el escaso seguimiento de las plantaciones ha generado una falta de información de cómo ha sido su evolución y cuál es el estado actual en el cual se encuentran. En particular, no existen en Venezuela estudios detallados sobre los efectos ecológicos de estas plantaciones sobre la vegetación y los suelos en las zonas en que fueron establecidas.

En Colombia, durante el período de 1940 a 1996 se incrementaron rápidamente las plantaciones forestales, como una alternativa económica y como una estrategia en la reforestación de bosques y forestación de páramos intervenidos (Velasco-Linares y Vargas 2008). Extensas áreas fueron cubiertas por especies como pino (*Pinus patula*), acacia (*Acacia sp.*), ciprés (*Cupressus sp.*), urapan (*Fraxinus chinensis* Roxb.) y eucalipto (*Eucalyptus sp.*) (León 2007). Las alternativas para el manejo de estas plantaciones son muy pocas, a pesar de una larga historia de permanencia en el país. Sin embargo, el gobierno Colombiano en los últimos años ha generado iniciativas que recomiendan algunas estrategias de manejo, como el “Protocolo Distrital de Restauración” (Camargo y Salamanca 1997 cit. por León 2007) y la “Guía técnica para la restauración ecológica en áreas con plantaciones forestales exóticas en el Distrito Capital” (Dama 2004 cit. por León 2007).

En el caso del Ecuador, las razones de su introducción aún no son claras. Estas plantaciones empezaron a desarrollarse en grandes extensiones, sobre suelos degradados, entre pajonales y zonas donde preexistía una vegetación herbácea y arbustiva compuesta por especies nativas, desde la década de los sesenta y así continuó bajo varios programas gubernamentales (Farley 2011), entre ellos: MAG, FONAFOR/Plan Bosque, BID y PLANFOR, los cuales seguían objetivos tanto económicos, biofísicos, de “reforestación” y de secuestro de carbono. Sin embargo, la ausencia de objetivos claros, sin una planificación coherente trajo consecuencias económicas negativas, especialmente dado el bajo precio actual que tiene la madera de pino. Así mismo, se ha sugerido que las consecuencias ambientales han sido en balance negativas en función de la pérdida de vegetación nativa, su fauna asociada y la fertilidad del suelo (Ansoloni y Chacón 2003).

En Perú, especies como *P. radiata* y *Cupressus sp.* son consideradas en programas de reforestación en la época de los 70's, aunque en muy pequeña escala, debido a que la especie que dominaba estos programas era *Eucalyptus globulus* Labill. En este caso, no se cuenta con una evaluación detallada de las consecuencias socio-ambientales de las plantaciones establecidas.

1.4 Antecedentes de Investigación: efectos ecológicos de las plantaciones con pinos

El establecimiento de plantaciones forestales ocasiona graves impactos ambientales para los ecosistemas originales (León 2007). Uno de los principales impactos que afecta no solo a los ecosistemas sino también a las poblaciones humanas es la alteración que

implica en las propiedades hidrológicas, la cual es especialmente grave porque estos ecosistemas de alta montaña son estratégicos para la regulación del sistema hidrológico de los valles interandinos ampliamente poblados (Hofstede *et al.* 2002). En un estudio realizado en Ecuador por Farley *et al.* 2005 (*cit. por* Farley 2011) se observó una reducción en el flujo de agua, que incluyó 26 juegos de datos con 504 observaciones, después del establecimiento de las plantaciones forestales en comparación con áreas no forestadas. Estas reducciones en flujo ocurren como consecuencia de dos mecanismos principales: un incremento de la evapotranspiración, que ocurre con el crecimiento en el área total de hojas, y un mayor acceso al agua profunda, que ocurre con el crecimiento de raíces más profundas (Farley 2011). En otro estudio realizado por la Universidad de Cuenca, se monitorearon dos microcuencas, ubicadas al noreste de la ciudad de Cuenca - Ecuador, que tienen diferente cobertura vegetal: pajonal y pino. Este estudio reveló que el caudal específico mínimo de la cuenca con pajonal es aproximadamente tres veces más alto con respecto a la cuenca con pinos, debido a la mayor pérdida de agua por transpiración que hacen los árboles (De Bièvre *et al.* 2011). Existen muchos estudios que analizan el efecto de tratamientos silviculturales sobre la hidrología comparando cuencas aledañas con cobertura vegetal distinta y los mismos revelan que plantaciones forestales muestran una evapotranspiración mayor y una escorrentía reducida en comparación con vegetación baja (Lips y Hofstede 1998). Así mismo, la calidad de agua también se ve afectada por patrones observados, que indican la acidificación por la retención de cationes en la biomasa de los árboles (Farley 2011).

Otra de las características propias de estas plantaciones es que impiden la penetración de luz, debido a que poseen un dosel cerrado y uniforme de amplia cobertura, lo cual limita el tipo y la cantidad de radiación disponible en un bosque (Corredor-Velandia y Vargas 2007).

Los suelos de los páramos son, en muchas zonas de Colombia y Ecuador de origen volcánico y se caracterizan por ser húmedos y ácidos, con pH entre 3.9 y 5.4 (Díaz-Granados Ortiz *et al.* 2005). Por sus características particulares, estos suelos son extremadamente eficientes para absorber agua y regular su flujo, contribuyendo de esta forma al mantenimiento de caudales constantes en los ríos y fuentes de agua provenientes de los páramos. Pero al mismo tiempo son extremadamente sensibles a las alteraciones antropogénicas (Arcos 2010). La degradación antrópica genera cambios profundos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos (Podwojewski y Poulénard 2000). Una de las propiedades físicas más afectadas por los pinos es el secamiento irreversible del suelo, y el desarrollo de la hidrofobia. Así, los páramos pierden parcialmente su función de regulador de flujos de agua (De Bièvre *et al.* 2011). Además, la acumulación de las acículas de pino también juega un papel importante, por su resistencia a la descomposición, debido a la pobre calidad (relación C/N alta, altos contenidos de polifenoles) del material (Lips y Hofstede 1998). Esto inmoviliza los nutrientes, disminuyendo la producción de materia orgánica. La materia orgánica del suelo ayuda en la retención de agua e incide en su fertilidad (Velasco-Linares y Vargas 2008). La presencia de un alto contenido de lignina en las acículas, así como de resinas y fenoles, acidifican el suelo. Aunque ha sido difícil probar estadísticamente este efecto a

escalas muy amplias por las grandes diferencias entre regiones, un fenómeno general es que el pH del suelo disminuye bajo plantaciones (Lips y Hofstede 1998 para el caso de Ecuador), lo que pudiera afectar el establecimiento de otras especies, y además por ser materiales inflamables, pueden promover grandes incendios.

Los efectos de las plantaciones sobre la vegetación paramera han sido analizados en algunos estudios en Colombia, Ecuador y Venezuela. van Wesenbeeck *et al.* (2003) en los Andes Colombianos, realizaron un estudio comparativo entre la vegetación de una plantación con *Pinus patula* y la vegetación del subpáramo en los alrededores de la plantación, donde se determinó que ocho años después de la forestación con *Pinus patula*, la diversidad de la vegetación del subpáramo disminuyó con el incremento de la cobertura de pinos, además de registrarse pérdida de hábitat para las especies, deduciendo que existe una fuerte influencia negativa de la forestación con *Pinus patula* sobre la vegetación nativa del subpáramo. Un estudio realizado en Venezuela, específicamente en el páramo de Mucubají por Ohep y Herrera (1985), cuyo objetivo fue estimar por comparación el impacto de las plantaciones de coníferas sobre la vegetación originaria, para lo cual utilizaron el método de intercepción lineal, evaluando la presencia-ausencia de una determinada especie a lo largo de la transecta, los resultados los compararon con la información existente y construyeron diferentes matrices. Encontrando la existencia de una correlación negativa entre la cobertura de coníferas y la cobertura de especies arbustivas y de las especies autóctonas en general. Además, Farley *et al.* 2004 al analizar los cambios en el carbono orgánico del suelo y la retención de agua después de la conversión de pastizales a plantaciones de pinos en los Andes ecuatorianos (las plantaciones estudiadas tenían múltiples edades, lo cual les permitió evaluar si existía una diferencia entre estas características y si las mismas se relacionaban con la edad de la plantación). Encontraron que la pérdida del carbono del suelo se incrementa con la edad de la plantación y los cambios en la capacidad de retención de agua son atribuidos a la intercepción del dosel y la elevada evapotranspiración que presentan estas plantaciones. También en el Ecuador para el año 2004, Farley y Kelly realizaron un estudio de los efectos de la forestación con *Pinus radiata* en los pastizales de páramo sobre los nutrientes del suelo, para ello examinaron los cambios en la dinámica del nitrógeno, fósforo y acidificación de los suelos en plantaciones con edades comprendidas entre los 0 a 25 años. Los resultados revelaron que los cambios en la vegetación pueden originarse a consecuencia de las alteraciones ocurridas en las propiedades del suelo, como acidificación y la nitrificación. No obstante, Hofstede *et al.* (2002), en su investigación sobre el impacto de las plantaciones en los suelos y la vegetación de los altos Andes del Ecuador, demuestran que el efecto de la plantación sobre las especies que tienen una distribución general no es el mismo que para las especies que presentan una distribución restringida, ya que las primeras no se ven tan afectadas. En este estudio muestran que en algunos casos estas plantaciones pueden tener efectos positivos (aunque las condiciones bajo las cuales las plantaciones tienen un efecto positivo en la vegetación son más difíciles de analizar, se observa una buena regeneración cuando las plantaciones se establecen en pastizales donde había presencia de especies leñosas) o efectos negativos, pero que en muchos casos el efecto sobre la vegetación herbácea del páramo es neutral, con lo cual se concluye que el

impacto de las plantaciones de pino en ecosistemas altoandinos no se puede generalizar, puesto que los mismos van a variar dependiendo de la región y sus características como suelos y clima, además del manejo que ha presentado una determinada plantación y la historia de uso de la región antes de ser objeto de la forestación.

Así, estos estudios sugieren que el establecimiento de las plantaciones algunas veces representa problemas para la persistencia de las especies nativas, que pueden ser consecuencia de la acumulación de acículas que reduce la frecuencia y cobertura de especies herbáceas, ya que actúa como un factor limitante en el establecimiento de las plántulas; la disminución de la dispersión de semillas dentro de la plantación, o que las semillas que llegan no logran germinar (Velasco-Linares y Vargas 2008). Más comúnmente, la forestación de los páramos con pinos implica una alteración de las propiedades del suelo, pero estos resultados no pueden ser generalizados para todos los ecosistemas altoandinos (ej. en Venezuela los suelos no son de origen volcánico como los de muchas áreas de Colombia y Ecuador).

No obstante, un estudio llevado a cabo en el páramo de Mucubají por Molina (1996) revela como las plantaciones de coníferas y algunas especies nativas han sido importantes para la supervivencia del venado del páramo al servir como protección cuando las condiciones climáticas son adversas (viento y la lluvia) y como escondite contra los depredadores, por lo cual estas plantaciones favorecen algunas especies de animales que habitan estos ecosistemas.

CAPÍTULO II. OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general:

Estudiar los efectos producidos por la forestación con una especie exótica de pino (*Pinus patula*) sobre la estructura y diversidad de la vegetación y algunas características importantes de los suelos, en páramos de rosetal-arbustal en los Andes de Venezuela.

2.1.2 Objetivos específicos:

1. Identificar en el páramo de Mucubají plantaciones de pino y áreas adyacentes de páramo no forestados que sean comparables con las áreas donde se encuentran las plantaciones.
2. Determinar en las plantaciones seleccionadas, la especie de pino utilizada, y estimar la densidad actual de la plantación, la distribución de diámetros de los individuos presentes, y la necromasa superficial de acículas sobre el suelo.
3. Evaluar y comparar en diferentes condiciones de muestreo (dentro de la plantación, borde de la plantación, áreas adyacentes no forestadas) las siguientes variables:
 - 3.1. El contenido de materia orgánica y pH del suelo.
 - 3.2. La cobertura de las especies de plantas presentes.
 - 3.3. La riqueza y diversidad de especies vegetales

2.2 Justificación

La forestación con especies introducidas de pino es una de las amenazas más importantes que enfrentan los páramos andinos. Los impactos más negativos de estas plantaciones se relacionan con el suelo, la hidrología y la diversidad de la vegetación nativa. Entre los efectos que se han reportado en estudios en Ecuador y Colombia, generados por estas plantaciones están la sustitución de la diversidad nativa, la acidificación y pérdida de materia orgánica y una disminución de la producción de agua y desecación de los suelos (Hofstede *et al.* 1998). Sin embargo, no existen estudios sobre esta temática en Venezuela, donde la forestación con pinos en zonas de páramo se desarrolló a partir de la década de 1960. Estas plantaciones se establecieron con fines experimentales, planteando como objetivo el “proteger y conservar los suelos y las cuencas hidrológicas” (Ohep y Herrera 1985) cubriendo extensiones importantes en el estado Mérida. Así, en este trabajo se pretende estudiar cuál ha sido su impacto en el páramo andino, específicamente en las zonas adyacentes a la Laguna de Mucubají, de la forestación con una especie introducida de pino mediante diversos análisis de vegetación y suelos.

2.3 Hipótesis

Si páramos andinos de rosetal arbustal relativamente bien conservados son sometidos a la forestación con especies introducidas de pino; entonces, al comparar áreas dentro de plantaciones y páramos no forestados adyacentes, debería encontrarse una relación negativa entre la presencia de un dosel continuo de coníferas y la abundancia, riqueza y diversidad de las especies nativas del páramo, así como un cambio en las condiciones de los suelos bajo las plantaciones debido a la acidificación y disminución del contenido de materia orgánica en los horizontes superficiales del suelo.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la plantación forestal que se encuentra en las adyacencias de la Laguna de Mucubají, en el Municipio Cardenal Quintero, en la Cordillera de Mérida (Fig.1).

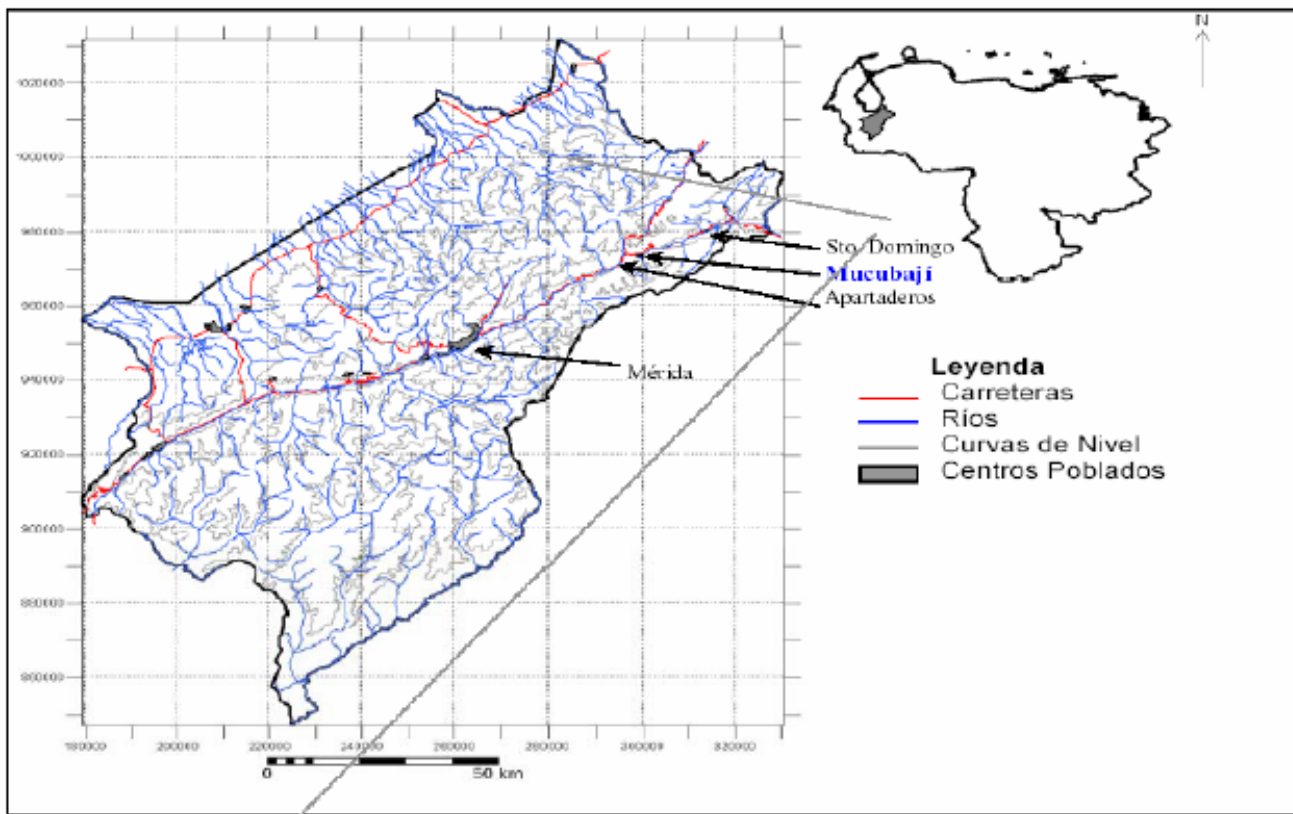


Figura N° 1. Mapa del Estado Mérida. Ubicación del Páramo de Mucubají, Parque Nacional Sierra Nevada (Pírela 2006 cit. por Torres 2008).

3.1.1 Ubicación geográfica

El páramo de Mucubají se encuentra en la Sierra de Santo Domingo, en la Cordillera de Mérida, a una altitud de 3500 msnm. Forma parte del mayor núcleo de páramo andino existente en Venezuela (Monasterio 1980a) y se encuentra ubicado dentro del Parque Nacional "Sierra Nevada" (Gómez y Delgado 1989).

El área seleccionada para este estudio se encuentran entre las coordenadas 8°47'40" y 8°48'31" de latitud Norte y 70°48'10" y 70°49'93" de longitud Oeste.

3.1.2 Uso de la tierra

El páramo de Mucubají.

Gracias a sus condiciones climáticas de alta montaña tropical, Mucubají no representó un sitio de interés para el asentamiento de las poblaciones humanas, ni para el desarrollo agrícola, lo que permitió que las cabeceras del río Santo Domingo se hayan conservado y no presenten fenómenos de erosión (Monasterio 1980a). La historia y uso de manejo de este sector reseña una presión de pastoreo con ganado vacuno y equino. El impacto de los rebaños sobre el ambiente del páramo está relacionado directamente con la falta de adecuación de los animales introducidos para consumir el forraje ofrecido por la vegetación natural dominante y a la baja capacidad de la cobertura vegetal para soportar altos niveles de herbivoría (Monasterio y Molinillo 2003). Sin embargo, el 2 de mayo de 1952 fue decretado el Parque Nacional “Sierra Nevada”, según Gaceta Oficial N° 23821 y ampliada en Gaceta Oficial N° 33288. Esto favoreció la disminución de la presión de pastoreo con ganado vacuno. No obstante, el incremento de la actividad turística está asociado a la presencia de caballos utilizados en los paseos turísticos, lo cual ha generado una importante presión sobre algunas áreas (especialmente los céspedes de los fondos de valle). Por otro lado, el establecimiento de las plantaciones de pino a partir de los años 1960s ha significado una importante transformación de los páramos presentes en el área. Estas parcelas forestadas son más sensibles a los incendios polianuales que ocurren en los años más secos (Monasterio 1980a).

3.1.3 Clima

En la alta montaña tropical las condiciones climáticas no son homogéneas. Estas van a estar determinadas por diferentes factores como, la latitud, altitud, topografía y orientación. Según la clasificación de Köppen, el clima de la región de páramo de la zona andina venezolana corresponde al tipo H (Torres 2008). Monasterio y Reyes (1980) muestran que los páramos de Venezuela presentan una gama muy amplia de condiciones en lo que respecta al rango anual de precipitaciones, temperatura media anual y número de días con heladas. Desde el punto de vista climático, Mucubají se encuentra dentro de la zona periglacial andina. Presenta una temperatura media anual de 5,9 °C (Torres 2008), con ritmos diarios definidos, llegando a ser de mayor amplitud que el ciclo anual (Gómez y Delgado 1989), (Fig.2). Las diferencias entre las temperaturas del día y de la noche son mucho mayores que en las altas latitudes (Ohep y Herrera 1985). La ocurrencia de mayores amplitudes térmicas se observa en la estación seca, que comprende los meses de Diciembre a Marzo, y las menores en la estación húmeda, en los meses, de Abril a Noviembre. Las heladas son frecuentes durante todo el año y más comunes en los meses secos. El régimen pluviométrico presenta un patrón biestacional muy pronunciado, con una media anual de 932 mm (Torres 2008).

Este climadiagrama se elaboró con los datos de la antigua estación de Mucubají, manejada por el MARNR actualizados hasta el año 2000 cuando se desmanteló dicha estación meteorológica, con 26 años de registro de la precipitación (Enero 1969 –

Diciembre 1995) y 14 años de registro de temperatura (Enero 1970 – Diciembre 1983) (Torres 2008).

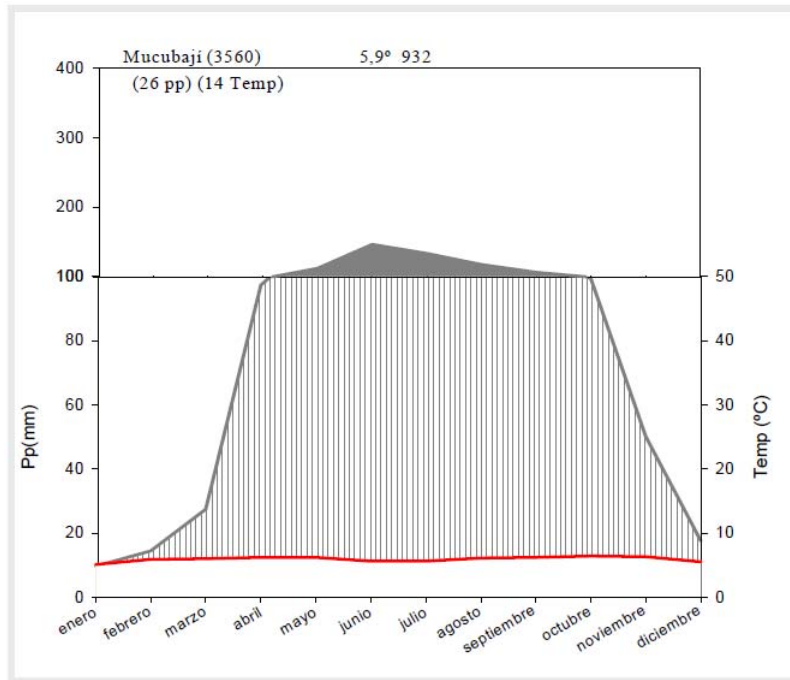


Figura N° 2. Climadiagrama de Mucubají (Torres 2008)

3.1.4 Suelo

Los páramos presentan suelos relativamente jóvenes, por tratarse de una zona montañosa con gran actividad morfogenética (Fariñas y Monasterio 1980). Estos suelos se han desarrollado sobre sedimentos de origen glaciar y fluvio-glaciar, derivados de rocas igneometamórficas del Precámbrico (Grupo Iglesias) y pertenecen a los órdenes de entisoles e inceptisoles (Monasterio 1980a). Según Fariñas y Monasterio (1980) los suelos de Mucubají presentan una textura media, de bajo porcentaje de saturación de bases, ácidos, con muy bajo contenido de calcio, magnesio y fósforo; un contenido de potasio de bajo a mediano, un alto contenido de carbono orgánico y de nitrógeno total; una relación C/N también alta, alta capacidad de intercambio catiónico y baja capacidad de retención de agua.

3.1.5 Vegetación

En el páramo de Mucubají la vegetación presenta una variación local entre varios tipos fisionómicos (Fariñas y Monasterio 1980), con al menos 78 familias de dicotiledóneas, 267 géneros y 917 especies (Briceño y Morillo 2002), en cuanto a las monocotiledóneas se cuenta con 17 familias, 123 géneros y 520 especies (Briceño y Morillo 2006).

En las partes húmedas del fondo del valle se encuentran comunidades herbáceas bajas dominadas por graminiformes; sobre las morrenas se localiza el rosetal-arbustal de *Espeletia schultzi* Wedd. e *Hypericum laricifolium* Juss.; en tanto que sobre los afloramientos rocosos y en las zonas adyacentes a lagunas glaciares como La Negra y Mucubají existen bosques nativos de *Polylepis sericea* Wedd. (Monasterio 1980). La vegetación del valle morrénico de Mucubají (rosetal-arbustal) se caracteriza por la importancia que presentan las familias Asteraceae, Poaceae y Cyperaceae (Vivas 1999). A pesar de ser una región que cuenta con especies vegetales y animales endémicas y en peligro de extinción (Torres 2008), cada vez existe mayor intervención humana, es por ello que las plantaciones de coníferas constituyen parte importante del paisaje actual.

3.2 Métodos de muestreo

3.2.1 Diseño del muestreo

En la localidad de Mucubají, se seleccionaron al azar sitios de estudio, los cuales cumplían con ciertas características que fueron establecidas en una salida de prospección, con el fin de analizar la variabilidad en la vegetación y suelos a escala del paisaje. Se identificaron cuatro situaciones de muestreo:

1. Zonas con plantaciones de pino en pie (plantación): para la selección de estas parcelas, la marca que identificaba el centro de la misma (barra metálica) debía estar a un mínimo de 12 metros de distancia a cualquier tipo de claro o borde del bosque.
2. Zonas de borde entre la plantación de pino y el rosetal-arbustal (borde interno): una vez ubicados en el borde de la plantación, se tomó como referencia la proyección vertical de la última rama de pino, y a partir de allí, se midió 2.5 metros hacia el interior de la plantación de pino, donde se colocó la marca que identificaba el centro de la parcela en estudio (Fig.3).

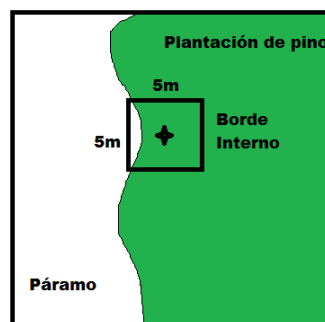


Figura N°3. Representación esquemática de la ubicación de las parcelas respecto al borde, en este caso borde interno.

3. Zonas de borde entre la plantación de pino y el rosetal-arbustal (borde externo): para seleccionar estas parcelas, una vez ubicados en el borde, se tomó como referencia la proyección vertical de la última rama de pino presente, y justo allí se colocó la marca que identificaba el centro de la parcela en estudio (Fig.4).

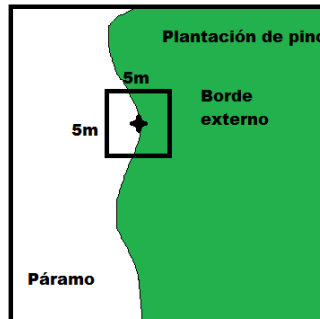


Figura N°4. Representación esquemática de la ubicación de las parcelas respecto al borde, en este caso borde externo.

4. Zonas de páramo de rosetal-arbustal no forestadas (controles): Los criterios utilizados para seleccionar estas parcelas fueron los siguientes, se evitaron posiciones topográficas de fondo de valle en donde existía predominio de una vegetación de céspedes y ciénagas, además se evitaron áreas con evidencias de degradación por sobrepastoreo (lo mismo aplica para las zonas de borde), escogiéndose así áreas de páramo sin indicios de intervención.

En cada una de estas situaciones se seleccionaron 6 parcelas réplica de 5 x 5 m, las cuales son las unidades de muestreo (UM) (Fig.5). Estas UM fueron georeferenciadas mediante el empleo de un GPS, se registró la altitud sobre el nivel del mar y se determinó la pendiente predominante con un clinómetro. Se trabajó con un total de 24 UM (6 réplicas x 4 situaciones en el Páramo de Mucubají). En el centro de cada parcela se estableció una marca permanente con una barra metálica de 30cm parcialmente enterrada.

Todas las UM se encuentran hacia el Noreste de la morrena lateral derecha que desemboca en la Laguna de Mucubají. Además, la exposición específica de todas las parcelas seleccionadas en las diferentes situaciones (plantación, bordes, páramo) fué la misma Noreste.

En el anexo 1 se presenta una tabla con la altitud, las coordenadas en UTM y la pendiente para cada una de las parcelas.

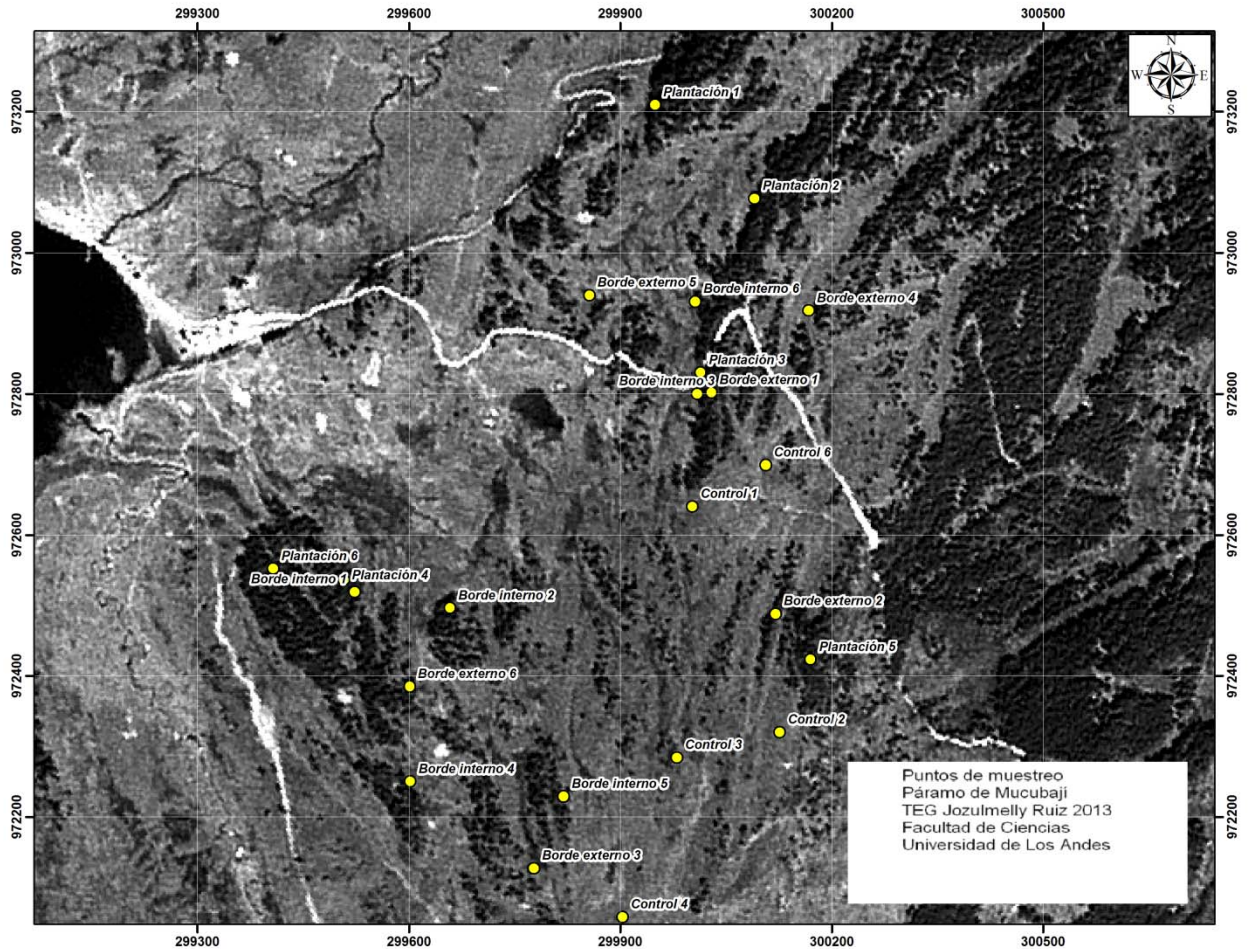


Figura N° 5. Mapa de la ubicación de las parcelas de estudio en el Páramo de Mucubají, Parque Nacional Sierra Nevada.

3.2.2 Caracterización de la plantación

En las UM ubicadas en las situaciones de muestreo con plantación de pino en pie y en zonas de borde de la plantación de pino, se determinó la especie de pino presente, y la densidad total de pinos, mediante la realización de un censo de todos los árboles en pie; así mismo se determinó el diámetro altura de pecho (DAP, cm) de cada individuo. El censo y el DAP de los pinos presentes se establecieron en un área de 75 m² para plantaciones de pino en pie y en un área de 50 m² para zonas de borde de la plantación de pino.

Dado que la acumulación de las acículas de pino en el suelo también juega un papel importante por su resistencia a la descomposición, pudiendo afectar procesos como la producción de materia orgánica, la germinación y establecimiento de plantas nativas del páramo, dentro de cada una de las UM se estimó el peso seco de acículas presentes en el sustrato por unidad de área. Para ello, se escogieron al azar 4 puntos y delimitando una

cuadrata de 25x25 cm, se colectaron todas las acículas presentes. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio y pesadas luego de secarlas en la estufa. Los pesos obtenidos fueron promediados para cada UM en estudio.

3.2.3 Análisis de vegetación

En cada UM se analizó la estructura de la comunidad vegetal en términos de la abundancia de cada una de las especies presentes, así como la riqueza y diversidad total por parcela, para lo cual se utilizó el método de cuadrado puntual (Greig-Smith 1983). Para esto, dentro de cada UM se ubicaron aleatoriamente 100 puntos de muestreo. En cada punto, una varilla delgada fue colocada verticalmente y los contactos con todas las especies presentes fueron registrados. Esto permitió estimar la cobertura de cada especie, a partir del número de contactos de cada especie con la varilla, logrando así registrar plantas vasculares (identificadas hasta el nivel de especie); los musgos y líquenes también fueron registrados, pero no identificados. Así mismo, se cuantificó la cobertura de suelo desnudo, rocas superficiales y hojarazca (necromasa vegetal sobre el suelo). El Licenciado Nelson Márquez del ICAE identificó las especies por comparación con las registradas en Vareschi (1970), Morillo (2011) y Briceño (2011), para la actualización de los nombres se utilizó la página web <http://www.theplantlist.org>. El listado de las especies se encuentra en el anexo 8.

3.2.4 Análisis de suelo

Para realizar los análisis de pH y materia orgánica total se tomaron muestras compuestas de suelo en cada UM. Para esto se seleccionaron al azar cuatro puntos en cada parcela y se muestreó el suelo a dos profundidades: 0-5 y 5-10 cm (luego de remover la capa superficial de acículas). Una muestra compuesta consiste en la homogenización de todas las muestras tomadas de suelo. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio para realizar las determinaciones correspondientes. En el caso del pH se aplicó una valoración potenciométrica (León 2007). Primer paso, se tamizó el suelo con un tamiz de 2mm, seguido, se pesaron 10 g de suelo en un vaso precipitado, en el siguiente paso se agregó agua destilada hasta llegar a los 50 ml, se agitó con una varilla de vidrio, se dejó reposar 15 minutos y se volvió a agitar; finalmente, luego de 7 minutos se registró el valor de pH con un phmetro (marca: TITRINO, modelo: 702 SM). Para la materia orgánica total (MO) se aplicó el método de pérdida de peso por ignición (La Manna *et al.* 2007). Para esto, se pesaron 2 gr de suelo en crisoles previamente identificados (tres réplicas analíticas por cada muestra). Los crisoles con las muestras fueron secados en la estufa a una temperatura entre 100 a 110 °C, durante aproximadamente 3 horas. Luego de sacarlos de la estufa se dejaron enfriar en una desecadora y se pesaron nuevamente a temperatura ambiente. Finalmente, se calcinaron las muestras en un mufla a 400°C por un lapso de 4 horas, se dejaron enfriar en una desecadora, y se pesaron a temperatura ambiente.

3.3 Análisis de datos

3.3.1 Densidad de las especies de pino en pie

La densidad de pinos (*Pinus patula*) ubicados en las situaciones de muestreo con plantación de pino en pie y en las zonas de borde de la plantación, fue calculada de la siguiente manera (Ramírez et al. 2009), la densidad absoluta (individuos/m²), se calculó en cada una de las situaciones en cada una de las UM replica (D_s) mediante la ecuación N° 3.1.

$$\text{Ecuación N° 3.1 } D_s = \frac{N_p}{\text{Area}}$$

Donde, N_p es el número de individuos de pino presentes en cada situación y el Area corresponde a la superficie muestreada (75m² en el interior de la plantación y 50m² en los bordes (Fig. 6)).

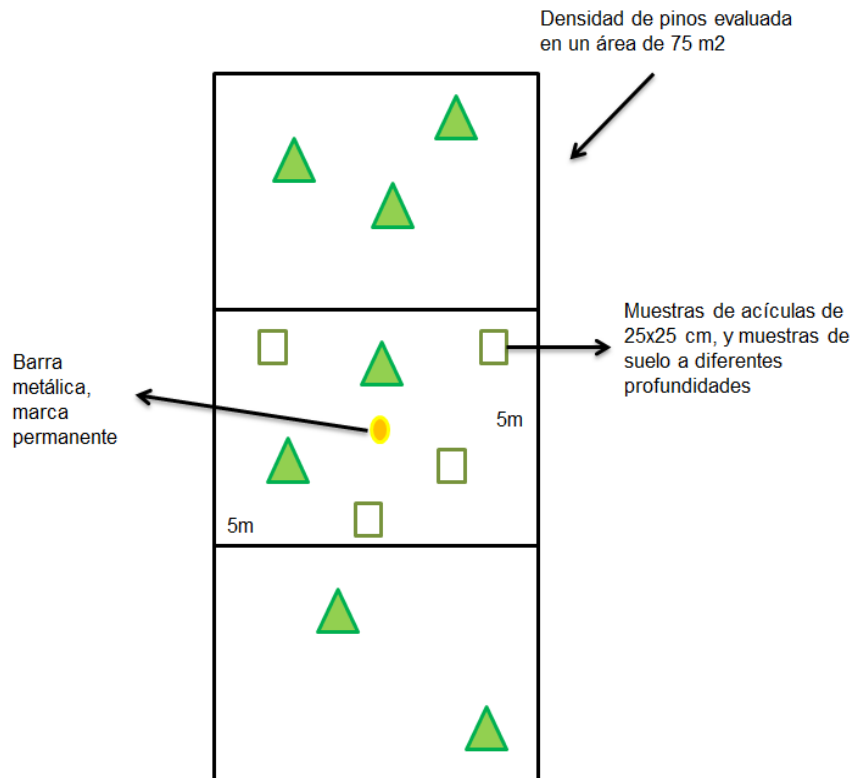


Figura 6. Área de la superficie muestreada para la caracterización de la plantación.

Luego se calculó la densidad promedio por situación (D_p) (plantación, borde interno y borde externo).

3.3.2 Calculo del área basal por hectárea de los pinos

Se registró la circunferencia a la altura del pecho (a 1,30 m) de cada individuo presente en las unidades muestrales de interior de la plantación y bordes. A partir de estas medidas se calculó el área basal de cada individuo (Mostacedo y Fredericksen 2000). Luego se sumaron las áreas basales de todos los individuos en cada parcela y se expresaron en m². Finalmente, se dividió el área basal total por el área muestreada (75m² en el interior de la plantación y 50m² en los bordes). Finalmente, se expresaron los resultados obtenidos en cada UM en m² de área basal de pinos por hectárea, el cálculo se realizó mediante la ecuación N° 3.2.

$$\text{Ecuación N° 3.2} \quad A = \frac{C^2}{4\pi}$$

3.3.3 Cálculos de Cobertura

Los muestreos se realizaron entre Marzo y Julio del 2013. La cobertura de cada especie en cada UM fue estimada a partir de los datos obtenidos por el método del cuadrado puntual (Greig-Smith 1983), utilizando la ecuación N° 3.3.

$$\text{Ecuación N° 3.3} \quad \% \text{Cobertura por especie} = \frac{\text{N° de contactos de la especie con la varilla}}{\text{N° de Puntos de muestreo}} \times 100$$

En este caso, se utilizaron 100 puntos de muestreo por UM.

3.3.4 Histogramas de la abundancia relativa

Se realizaron gráficos del promedio de las abundancias de cada especie para cada situación (plantación, bordes, páramo) usando los porcentajes de cobertura por especie en cada UM, ordenando las especies para de mayor a menor porcentaje promedio de cobertura.

3.3.5 Riqueza y diversidad de especies

La riqueza de especies corresponde al número total de especies que se encuentra presente en cada unidad muestral, sin tener en cuenta sus abundancias (Moreno 2001). Se determinó la riqueza en cada UM, calculando además el promedio, desviación estándar y la mediana de la riqueza para cada una de las situaciones de muestreo. Adicionalmente, se determinó la riqueza total de especies en cada situación de muestreo, integrando las listas de especies obtenidas en las 6 UM para cada una (plantación, bordes, páramo).

La diversidad específica se determinó mediante el cálculo del índice Shannon, el cual permite medir el grado de incertidumbre existente al predecir la especie a la cual pertenece un individuo que haya sido muestreado aleatoriamente de una comunidad (Moreno 2001). Este índice se calculó usando la ecuación N° 3.4.

$$\text{Ecuación N}^\circ 3.4 \quad H' = - \sum_{i=1}^n p_i \log_{10} p_i$$

$$\text{Siendo } p_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

Donde, a_i representa la cobertura de cada especie en cada UM y n el número total de especies en esa UM.

Además se calculó el índice de Simpson, el cual resulta muy adecuado para comparar la diversidad otorgando un mayor peso a las especies más abundantes de cada comunidad (Moreno 2001). Este índice cuantifica la probabilidad de que dos individuos seleccionados aleatoriamente pertenezcan a una misma especie. Este índice se calculó usando la ecuación N° 3.5.

$$\text{Ecuación N}^\circ 3.5 \quad \lambda = \frac{1}{\sum_{i=1}^s (p_i)^2}$$

Donde, p_i es la probabilidad de que un individuo pertenezca a la especie i (ver arriba) y por tanto, $(p_i)^2$ es la probabilidad de que dos individuos elegidos independientemente al azar sean de la misma especie. Luego se calculó el índice de diversidad como $1 - \lambda$, inverso de Simpson.

Tanto para el índice de Shannon como el de Simpson, se obtuvo luego el promedio y desviación estandar para cada una de las situaciones estudiadas.

3.3.6 Análisis Multivariado de ordenación

Para el análisis integrado de cambios en la estructura de la comunidad vegetal se utilizó la técnica de ordenación de las muestras por escalamiento multi-dimensional no métrico (MDS), una técnica utilizada para la construcción de una representación gráfica en dos o tres dimensiones de la matriz de disimilaridad entre las muestras correspondientes. El índice utilizado como medida de disimilaridad en las abundancias de las especies en las unidades muestrales fue el de Bray-Curtis. Por lo tanto, la matriz de disimilaridad se obtuvo a partir de la matriz de la cobertura de cada especie en cada unidad muestral. Estos análisis fueron realizados con el programa PRIMER 6 (Anderson *et al.* 2008 y Clarke y Gorley 2006).

3.3.7 Pruebas estadísticas

Se realizaron pruebas estadísticas con el fin de establecer comparaciones entre las medias de las variables respuesta estudiadas, a través de la aplicación de un análisis de variancia por permutaciones (permanova) de una vía, con un factor y cuatro niveles

(siendo el factor la situación, y sus niveles plantación, borde interno, borde externo y páramo control), el programa utilizado para realizar el análisis de varianza fue el PRIMER 6 (Anderson *et al.* 2008). Todas las pruebas fueron realizadas con un $\alpha=0.05$ y fueron las siguientes:

1. Comparar los valores de densidad de pino y necromasa de acículas para cada situación con pinos en pie (plantación, borde interno, borde externo).
2. Comparar los valores de riqueza y diversidad vegetal para cada situación de muestreo (plantación, borde interno, borde externo y páramo).
3. Comparar las propiedades edáficas (pH entre 0-5 cm, pH entre 5-10 cm y M.O. entre 0-5 cm, M.O. entre 5-10 cm) en las situaciones estudiadas.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Características de las unidades de muestreo

Cada una de las situaciones de muestreo (Plantación, Borde interno, Borde externo y Control) fueron seleccionadas al azar evitando áreas muy degradadas, a partir de la morrena lateral derecha hasta zonas cercanas a la carretera que lleva a la Laguna La Negra, contando con la precaución que las altitudes para cada situación fueran muy similares. En promedio por situación, las mismas comprenden rangos que van desde los 3598 m.s.n.m. hasta los 3641 m.s.n.m. Aunado a esto, la exposición de cada unidad de muestro es la misma. En la tabla N°1 se muestran los promedios y la desviación estándar de la altitud (m) y la pendiente en grados (°) de cada una de las situaciones en estudio, además se presentan los valores máximos y mínimos registrados. A pesar de que las altitudes son similares en todas las situaciones, es de hacer notar como varían entre sí los valores de la pendiente, siendo notorio que las plantaciones fueron ubicadas en sectores con mayor pendiente, no obstante, las parcelas de páramo no forestado se encuentran ubicadas en los niveles más bajos de inclinación ($\approx 7^\circ$).

Tabla N° 1. Promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de la altitud y la pendiente en las unidades de muestreo (n=6) para cada una de las situaciones en estudio, en la localidad de Mucubají (Sierra Nevada de Mérida).

Situación	Altitud (m)		Pendiente en grados (°)	
	Prom \pm Desv.	Max - Min	Prom \pm Desv	Max - Min
Plantación	3598 \pm 26,7	3636 - 3550	23,1 \pm 3,8	26,9 - 17,3
Borde Interno	3621 \pm 24,6	3665 - 3595	20 \pm 10,1	34,9 - 3,2
Borde Externo	3616 \pm 31,4	3676 - 3582	20 \pm 31,4	25 - 13,6
Páramo	3641 \pm 25,4	3669 - 3605	7,1 \pm 4	12,3 - 1,5

4.2 Características de la plantación

4.2.1 Densidad de pinos en pie y área basal a la altura de pecho

En la tabla N° 2, se muestra la variación del promedio de las densidades y las áreas basales de los pinos en cada una de las situaciones de estudio donde hay presencia de pino en pie. Se observa lógicamente como disminuye la densidad y el área basal total de pinos a medida que nos acercamos al borde externo de la plantación. Sin embargo, al aplicar la permanova de una vía se obtiene que no hay diferencias estadísticamente significativas ($F=3,093$, $p(\text{perm})=0,0585$) de densidad entre las situaciones de estudio. En el caso del área basal tampoco observamos diferencias estadísticamente significativas ($\text{pseudo}F=2,6373$, $p(\text{perm})=0,0827$) entre las situaciones.

Tabla N°2. Densidad total y el área basal por hectárea de los individuos de *Pinus patula* en las diferentes situaciones de estudio en el páramo de Mucubají.

Situación	Densidad (ind/ha)	Área basal (m ² /ha)
	Promedio ± Desv estándar	Promedio ± Desv estándar
Plantación	1490 ± 0,044	930,3 ± 419,6
Borde interno	1170 ± 0,045	759,9 ± 244,4
Borde externo	870 ± 0,060	500,1 ± 257,1

4.2.2 Peso seco de acículas

En la tabla N°3, se presenta el peso seco de las acículas presentes sobre el suelo (Kg/m²), para cada situación. Se observa la similitud en los pesos secos de las situaciones plantación y borde interno, y la disminución del peso seco de las acículas en el borde externo.

Tabla N°3. Variaciones de los pesos secos de las acículas presentes en las diferentes situaciones de estudio con presencia de pinos en el páramo de Mucubají.

	Peso seco de acículas (kg/m ²)		
	Plantación	Borde interno	Borde externo
	5,75	8,33	1,93
	4,36	5,83	2,31
	8,02	4,76	1,22
	7,92	7,71	2,13
	8,13	6,38	1,71
	4,94	9,59	4,93
Promedio	6,5	7,1	2,4
Desv estándar	1,7	1,8	1,3

En la tabla N° 4, se muestra como varía el porcentaje de cobertura de las acículas y del suelo desnudo en cada una de las situaciones. Se aprecia como disminuye la cobertura de acículas hasta obtener valores de cero y como aumenta el porcentaje de cobertura de suelo del interior de la plantación a la situación control (páramo).

Tabla N° 4. Porcentaje de la cobertura de acículas y suelo desnudo y su desviación estándar en las diferentes situaciones de estudio en el Páramo de Mucubají.

	Acículas (%)		Suelo desnudo (%)	
	Promedio	Desv.Est.	Promedio	Desv.Est.
Plantación	98,83	1,67	0,67	1,49
Borde interno	96	4,62	0,5	0,5
Borde externo	52	7,02	10,16	7,15
Páramo	0	0	14	4,16

4.3 Características edáficas

4.3.1 Valores de pH a diferentes profundidades

En la tabla N°5 y en la figura N°7 se presentan los valores promedios de pH de cada situación para las muestras de suelo de 0-5 y 5-10 cm de profundidad. Se observa que es en la profundidad de 0-5 cm, donde existe un cambio en los valores de pH para las situaciones en estudio, siendo más ácidos los suelos que se encuentran bajo las plantaciones de pino, y menos ácido los suelos de las situaciones de páramo no intervenido. A pesar que en la superficie de 5-10 cm, hay variaciones de pH, las mismas no son determinantes para decir que son o no más ácidos los suelos de una u otra situación. El primer análisis de varianza (permanova) realizado a la profundidad de 0-5 cm arrojó que no existían diferencias estadísticamente significativas entre los valores de pH. No obstante, esto sucede por la presencia de dos valores de pH obtenidos en la réplica 5 de la situación plantación (4,75) y la réplica 5 de la situación borde interno (5,04), los cuales estaban muy alejados del promedio de cada situación. Al realizar nuevamente el ANDEVA eliminando estos valores que se alejaban tanto del promedio el resultado mostró que existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de pH a esta profundidad (pseudoF=3,8883, p (perm)=0,0301).

Tabla N°5. Promedio de los valores de pH, desviación estándar y mediana, de las muestras de suelo tomadas a la profundidad de 0-5 cm y de 5-10 cm respectivamente, en cada una de las situaciones estudiadas en el Páramo de Mucubají.

Situación	Profundidad 0 – 5 cm		
	Promedio	Desviación	Mediana
Plantación	4,328	0,137	4,29
Bor. Interno	4,486	0,128	4,48
Bor. Externo	4,552	0,153	4,58
Control	4,632	0,176	4,62

Profundidad 5 – 10 cm			
Situación	Promedio	Desviación	Mediana
Plantación	4,57	0,189	4,55
Bor. Interno	4,71	0,137	4,72
Bor. Externo	4,68	0,221	4,74
Control	4,57	0,086	4,58

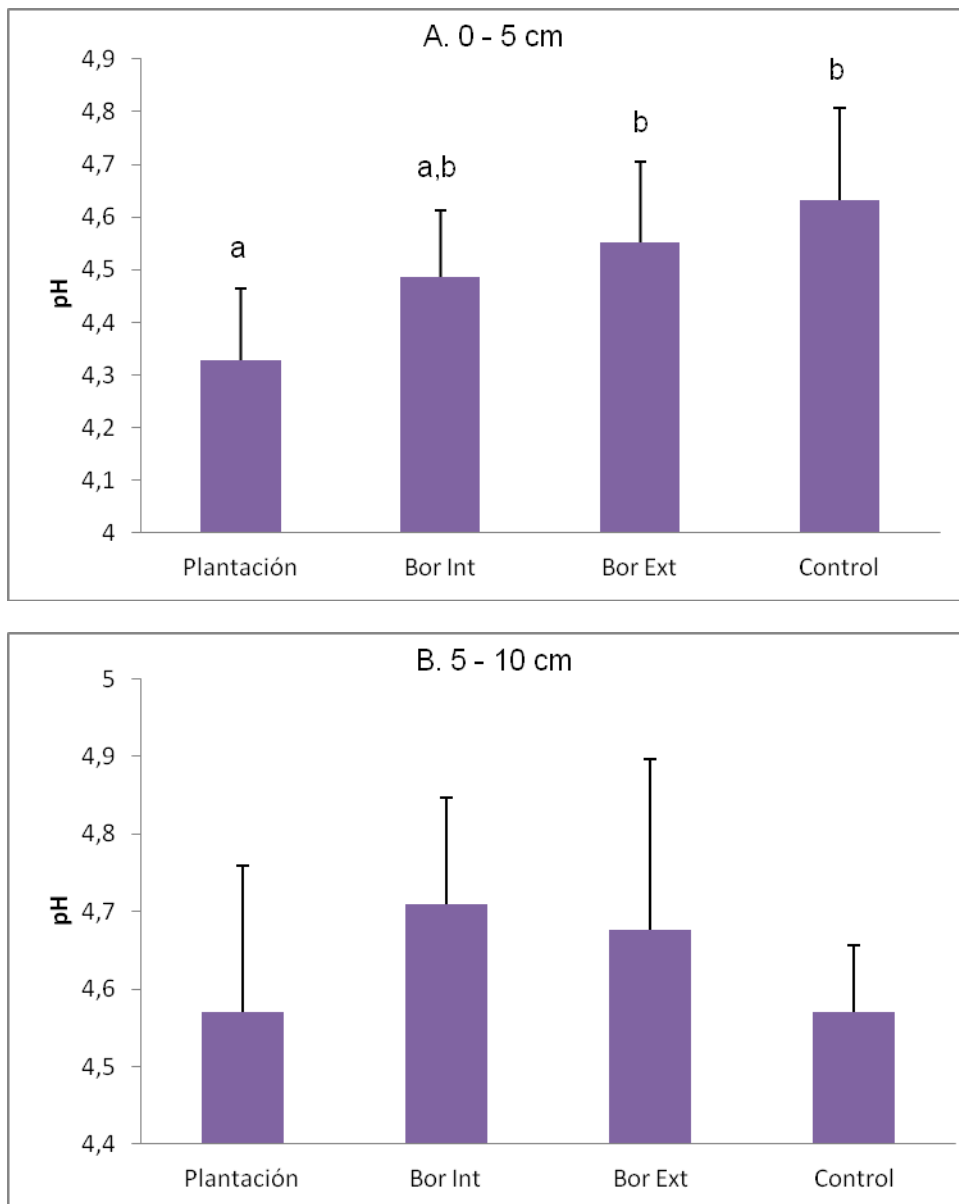


Figura N° 7. Promedio de los valores de pH y su desviación estándar, a diferentes profundidades (A. 0–5 y B.5–10) para cada una de las situaciones estudiadas en el Páramo de Mucubají. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (permanova, $\alpha=0.05$).

4.3.2 Valores de materia orgánica M.O. a diferentes profundidades

En la tabla N° 6 y la Figura N° 8 se presentan los valores promedios de la materia orgánica presente en el suelo para cada situación, a dos profundidades de 0-5 y 5-10 cm, respectivamente. Observándose que es en la profundidad de 0-5 cm, al igual que en los valores de pH, donde existe un cambio en los porcentajes de la materia orgánica presente en estos suelos, siendo mayor como era de esperarse para la situación de páramo y menor en suelos bajo plantación. Los porcentajes de M.O. encontrados para la profundidad de 5-10 cm no presentan diferencias significativas entre las situaciones como para concluir que estos porcentajes son mayores o menores en una u otra situación. Usando un ANDEVA por permutaciones de una vía para evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones se encontró que para la profundidad de 0-5 cm si existen diferencias (pseudof=4,0555, p (perm)=0,0216). Para el caso de la profundidad 5-10 cm no se encontraron diferencias significativas (F=1,7516, p (perm)=0,1982, p (MC)=0,1898).

Tabla N° 6. Promedio de los valores de materia orgánica, desviación estándar y mediana, en cada una de las situaciones estudiadas en el Páramo de Mucubají.

Profundidad 0 – 5 cm			
Situación	%Promedio	Desviación	Mediana
Plantación	18,5	2,35	18,5
Bor. Interno	20,7	2,34	20
Bor. Externo	21,8	1,72	22
Control	22,5	2,07	22,5
Profundidad 5 – 10 cm			
Situación	%Promedio	Desviación	Mediana
Plantación	17,3	1,97	17
Bor. Interno	18,7	2,25	19
Bor. Externo	19,8	2,14	20,5
Control	19,5	1,87	19,5

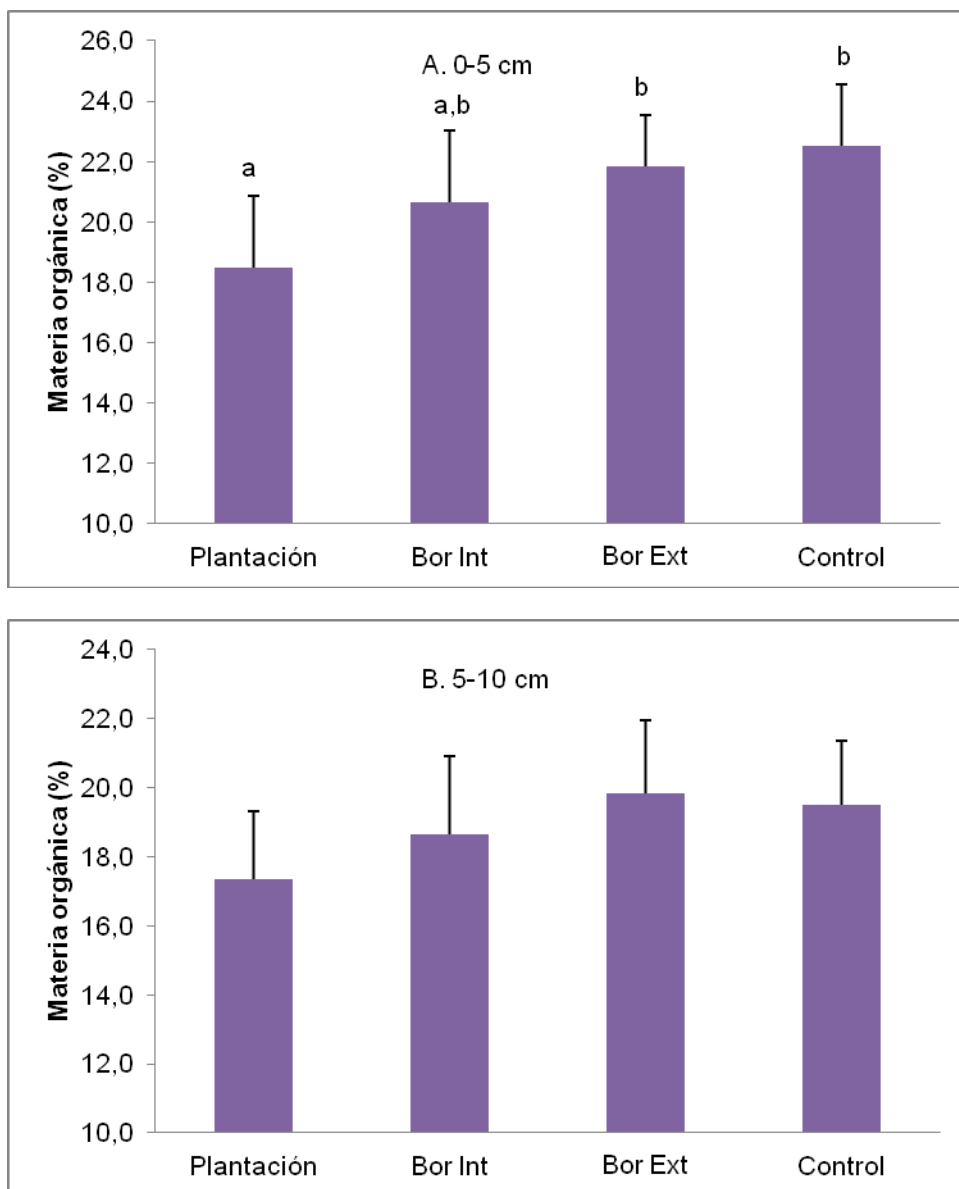


Figura N° 8. Promedio del contenido total de materia orgánica del suelo (%) y su desviación estándar, a diferentes profundidades (A.0 – 5 y B. 5 – 10) para cada una de las situaciones estudiadas en el Páramo de Mucubají. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (permanova, $\alpha=0.05$).

4.4 Riqueza y Diversidad

La tabla N° 7 muestra la riqueza total de especies presentes en cada una de las situaciones estudiadas, siendo evidente una tendencia al aumento de la riqueza desde el interior de la plantación hacia el páramo.

En la figura N° 9, se presenta la riqueza promedio en las unidades muestrales para cada situación en estudio (plantación, borde interno, borde externo y páramo). Mediante un

ANDEVA por permutaciones de una vía, se determinó la existencia de diferencias significativas en la riqueza de cada situación (pseudof=19,254, p(permutación)=0,0001). A pesar de la existencia de estas diferencias significativas se observa una tendencia de similitud entre las situaciones plantación y borde interno, pero estas difieren de las situaciones borde externo y control, las cuales a su vez son similares entre sí.

En la figura N° 10 se presenta la diversidad de especies promedio de cada situación estudiada. Es notorio como el grado de incertidumbre aumenta de manera gradual desde la situación plantación, donde el número de especies encontradas es el más bajo, hasta la situación páramo. Cabe señalar que existe entre las situaciones borde externo y control una similitud en el grado de incertidumbre. Al aplicar un ANDEVA por permutaciones de una vía, se evidenció la existencia de diferencias estadísticamente significativas (pseudof=16,292, p(permutación)=0,0001).

Tabla N° 7. Riqueza total de especies para cada una de las situaciones estudiadas.

Situación	Plantación	Borde interno	Borde externo	Páramo
Riqueza total	13	21	36	30

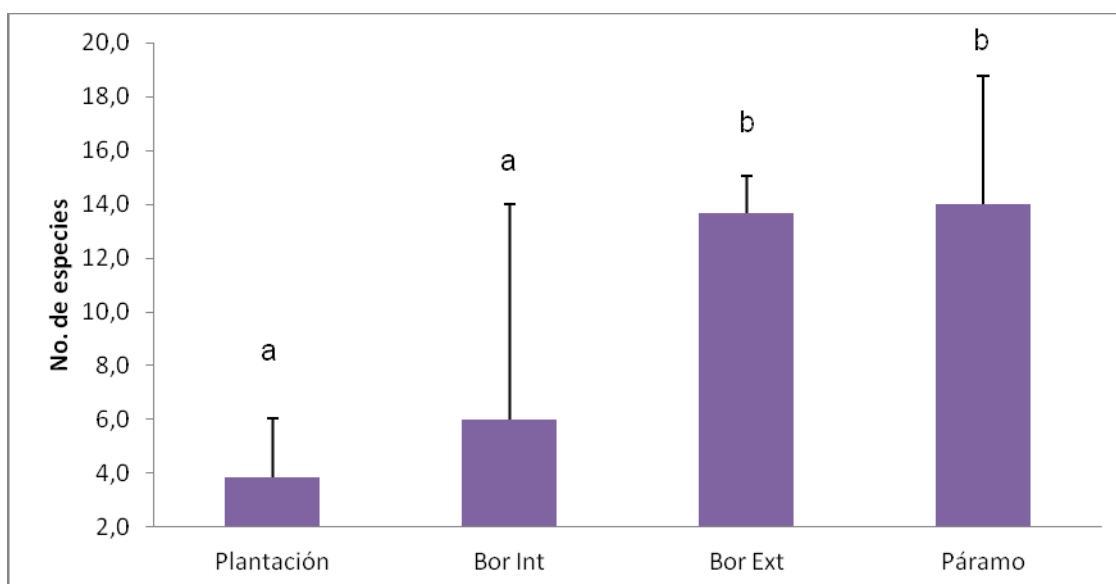


Figura N° 9. Riqueza de especies promedio y desviación estándar de cada situación estudiada en el Páramo de Mucubají. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (permanova, $\alpha=0.05$).



Figura N° 10. Diversidad promedio de especies (Shannon) y su desviación estándar para cada situación estudiada en el Páramo de Mucubají. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (permanova, $\alpha=0.05$).

4.5 Histogramas de patrones de abundancia de las especies

Las figuras N° 11-14 presentan los promedios de la abundancia medida en campo de cada especie en cada situación de muestreo. Se puede apreciar como aumenta gradualmente la riqueza de especies presentes en cada situación (desde la plantación - borde interno – borde externo hasta el páramo). Así mismo, la cobertura de las especies en general son menores para las especies abundantes en la plantación y borde interno y aumentan marcadamente hacia el páramo. Además, la identidad de las especies dominantes varía entre las situaciones de muestreo. En la plantación se observaron 13 especies, entre las cuales dominan las hierbas *Oxalis spirallis* Ruiz & Pav. ex G. Don (Oxalidaceae), *Peperomia vareschii* Yunck. (Piperaceae) y *Lachemilla hirta* (L.M. Perry) Rothm. (Rosaceae), ninguna de las cuales fue registrada en el páramo. Las especies sub-dominantes o de abundancia intermedia son *Galium hypocarpium* (L.) Endl. ex Griseb. (Rubiaceae) y *Orthrosanthus chimboracensis* (Kunth) Baker. (Iridaceae). Llama la atención la ausencia de la especie dominante del páramo, la roseta caulescente *Espeletia schultzii*.

En el borde interno aumenta a 21 el número de especies y se mantiene como dominante la especie *O. spirallis*, apareciendo la gramínea *Calamagrostis* sp. (Poaceae) y el arbusto *Pentacalia pachypus* (Greenm.) Cuatrec. (Asteraceae). Así mismo, aparecen especies abundantes del páramo, como la macoya *Ortache erectifolia* (Swallen) Clayton y el arbusto esclerófilo *Hypericum laricifolium*, pero en abundancias muy bajas. Sin embargo, de nuevo llama la atención la ausencia de la especie dominante del páramo, *E. schultzii*.

En el borde externo son 36 las especies presentes, de las cuales dominan *O. erectifolia*, *Calamagrostis* sp. (Poaceae) y *Espeletia schultzii* (Compositae), en esta situación

las especies *Acaena cylindristachya* Ruiz & Pav. (Rosaceae) junto a *H. laricifolium* pasan a ser especies sub-dominantes y las especies más raras *Arenaria musciformis* Triana & Planch. (Caryophyllaceae) y *Azorella julianii* Mathias & Constance (Apiaceae). En el páramo de las 30 especies presentes la especie *E. schultzii* es la que se mantiene como dominante, seguida de *O. erectifolia*, especies como *A. musciformis* y *A. julianii* se vuelven un poco más comunes y aparecen como especies raras *Agrostis toluensis* Kunth y *Agrostis trichodes* (Kunth) Roem. & Schult. (Poaceae). La especie invasora *Rumex acetosella* L. se encuentra presente en todas las situaciones de muestreo, sin embargo, su abundancia no es la misma para cada situación, observándose porcentajes de cobertura inferiores a los 0,5% hasta alcanzar porcentajes de 5%. En el interior de las plantaciones de pino esta especie se encuentra como la más rara (< 0,5 %), haciéndose un poco más frecuente en los bordes, interno y externo, (0,1-0,2% respectivamente), y es en los páramos donde *R. acetosella* exhibe una abundancia intermedia, logrando porcentajes de cobertura de hasta 5%.

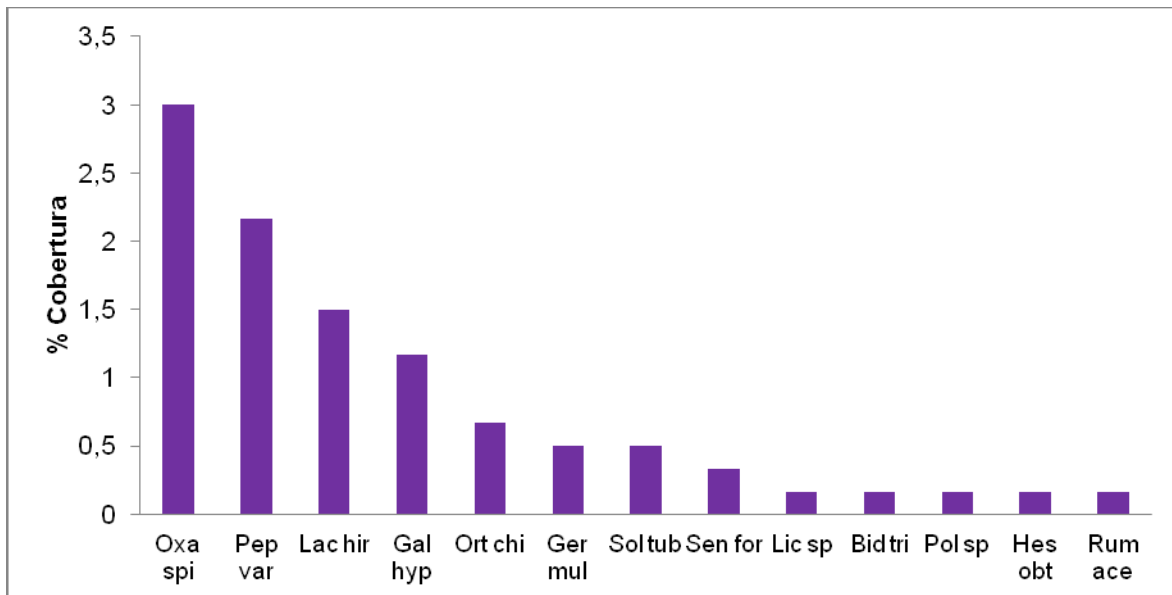


Figura N° 11. Histogramas de patrones de abundancia para el promedio de la cobertura de las especies vegetales en el interior de la plantación de pino (*Pinus patula*), Páramo de Mucubají. En el anexo 8 se presenta el nombre completo de cada especie y las abreviaturas empleadas.

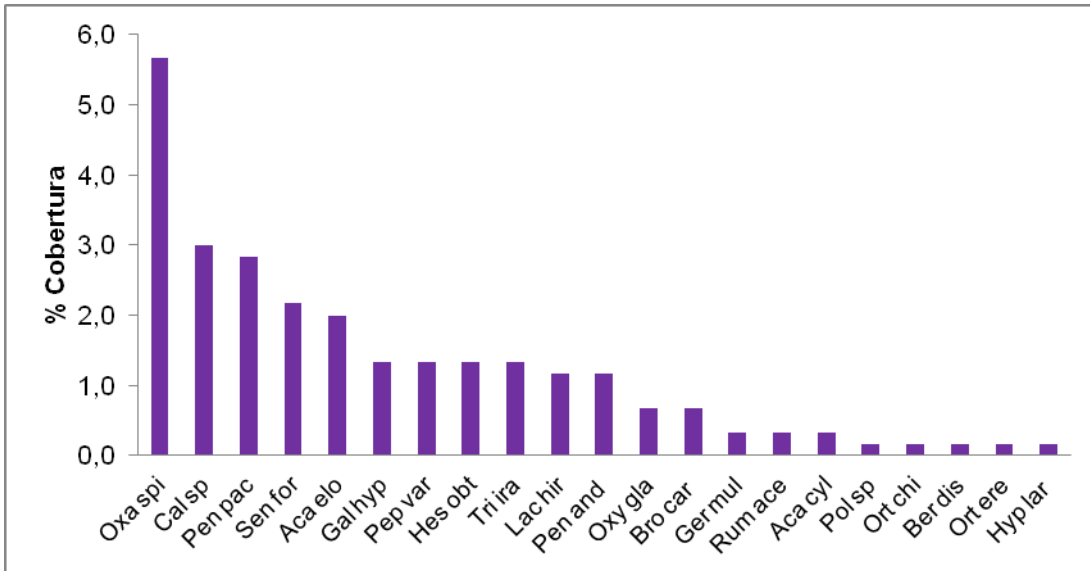


Figura N° 12. Histograma de patrones de abundancia para el promedio de la cobertura de las especies vegetales en el Borde interno, Páramo de Mucubají. En el anexo 8 se presenta el nombre completo de cada especie y las abreviaturas empleadas.

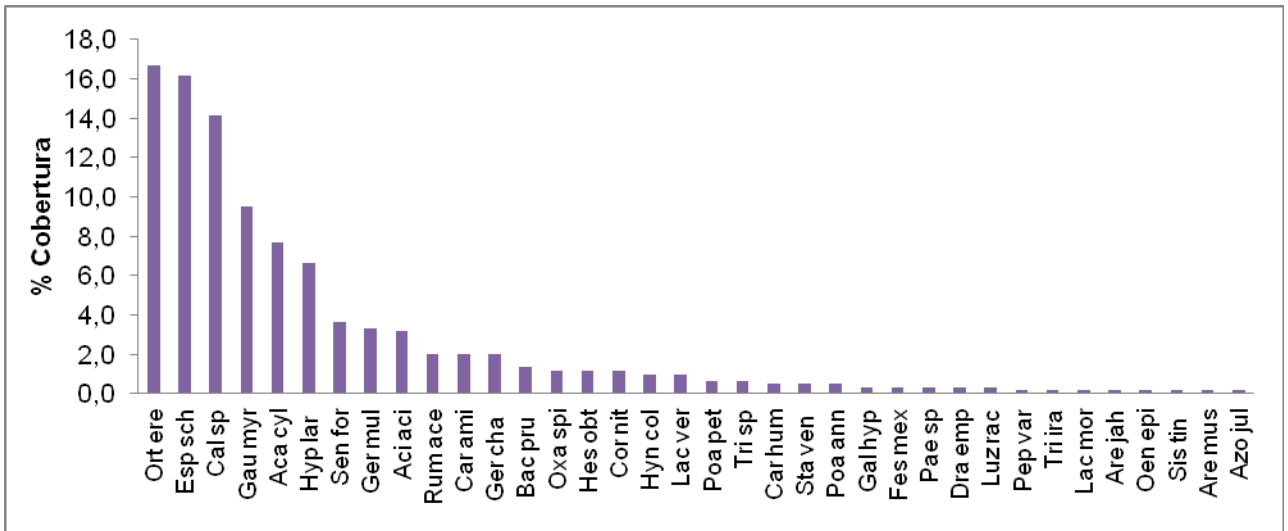


Figura N°13. Histograma de patrones de abundancia para el promedio de la cobertura de las especies vegetales en el Borde externo, Páramo de Mucubají. En el anexo 8 se presenta el nombre completo de cada especie y las abreviaturas empleadas.

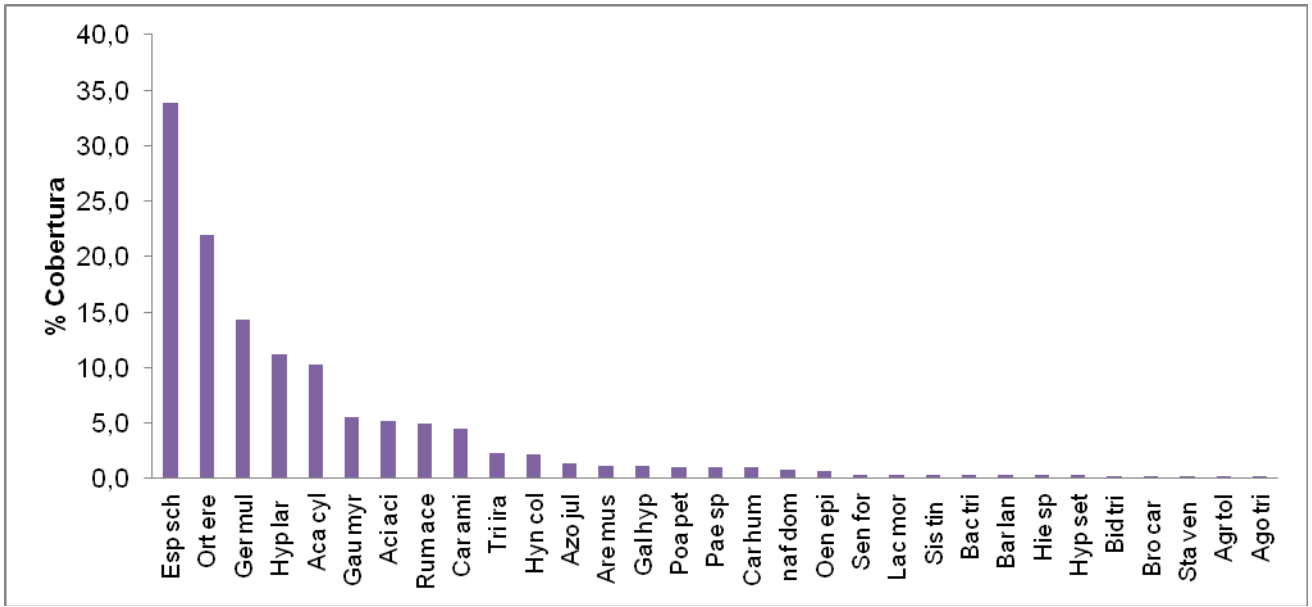


Figura N°14. Histograma de patrones de abundancia para el promedio de la cobertura de las especies vegetales en páramo no forestado (Control), Páramo de Mucubají. En el anexo 8 se presenta el nombre completo de cada especie y las abreviaturas empleadas.

En las figuras N° 15-16 se presentan los histogramas de patrones de abundancia comparando las situaciones páramo vs plantación (N°14), y control vs borde interno (N°15), ésto con la finalidad de hacer mucho más evidente como es la variación de los porcentajes de cobertura de las especies con respecto al control y demás situaciones, además se aprecia como las especies dominantes para cada situación son diferentes.

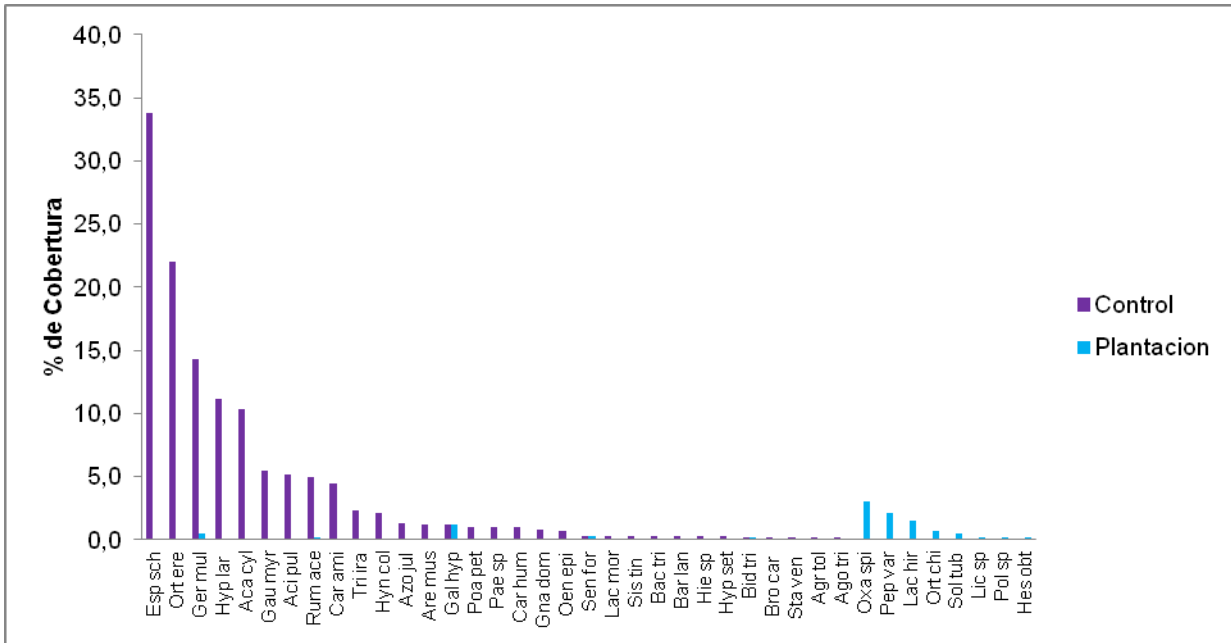


Figura N°15. Histograma de patrones de abundancia comparando el promedio de la cobertura de las especies vegetales en páramo no forestado (Control) y el interior de las plantaciones de pino, Páramo de Mucubají. En el anexo 8 se presenta el nombre completo de cada especie y las abreviaturas empleadas.

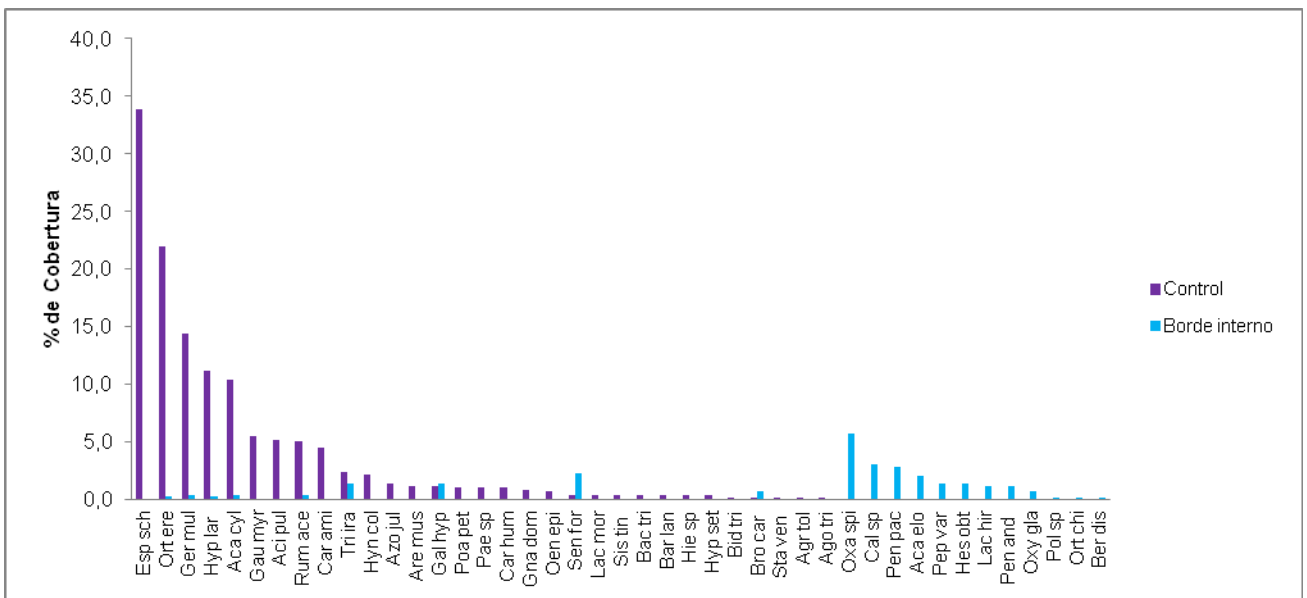


Figura N°16. Histograma de patrones de abundancia comparando el promedio de la cobertura de las especies vegetales en páramo no forestado (Control) y el Borde interno, Páramo de Mucubají. En el anexo 8 se presenta el nombre completo de cada especie y las abreviaturas empleadas.

4.6 Análisis multivariados

En la figura N° 17 se presenta un análisis de los cambios en la estructura de la comunidad vegetal en las diferentes parcelas estudiadas mediante un diagrama de ordenación multidimensional no-métrico (MDS). El índice de disimilaridad usado fue el Bray-Curtis. Esta representación gráfica permite evaluar como es la tendencia de la distancia florística entre las muestras correspondientes a cada situación de estudio. En este caso se observa cómo para las situaciones páramo y bosque externo existe una gran similitud en la estructura de la comunidad vegetal, que a su vez difiere marcadamente de la estructura observada en el borde interno y la plantación.

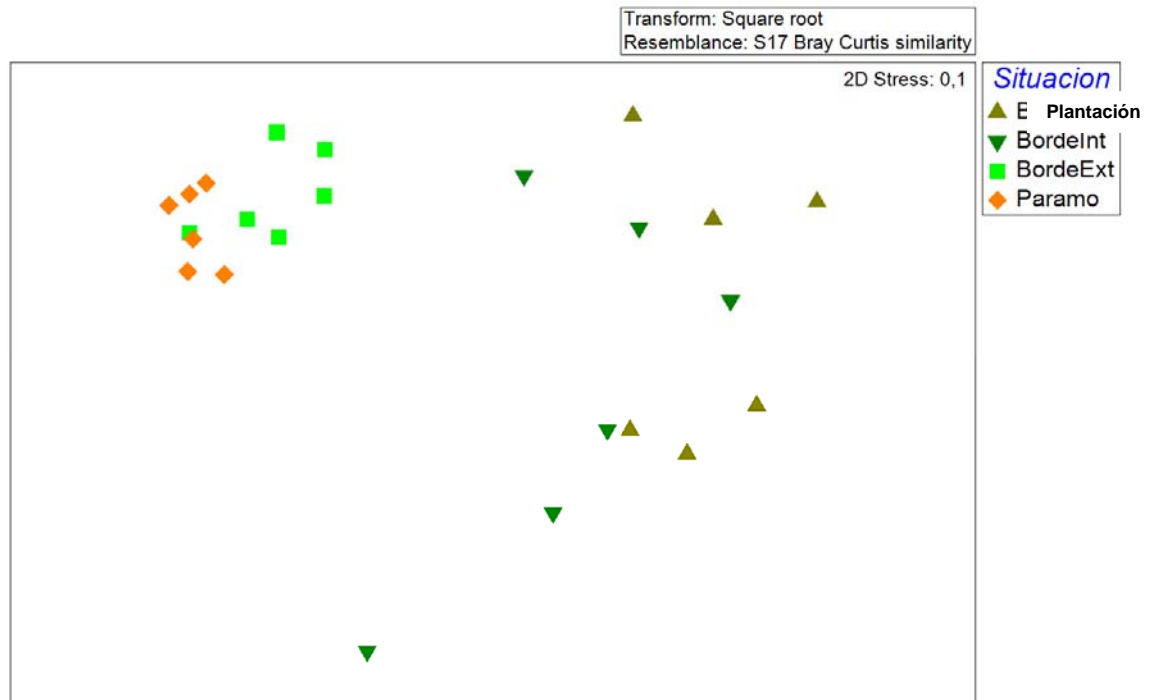


Figura N°17. Diagrama de ordenación de las parcelas estudiadas utilizando un escalamiento multidimensional no métrico (MDS) a partir de la matriz de coberturas por especie en diferentes situaciones de muestreo (plantación, borde interno, borde externo y control) en el Páramo de Mucubají.

CAPITULO V. DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo fue evaluar cuáles fueron los efectos generados por la forestación con especies exóticas de pino sobre algunas características importantes de los suelos, específicamente los valores de pH y de materia orgánica del horizonte superficial del suelo. Así mismo, se planteó evaluar los efectos producidos sobre la vegetación, en cuanto a la estructura y diversidad del páramo húmedo de rosetal arbustal en los Andes de Venezuela. Para el cumplimiento de este objetivo fue necesario evaluar adicionalmente ciertas características de las unidades de muestreo, así como algunas características de la plantación para las situaciones con presencia de pino en pie.

En este capítulo se discuten los resultados más relevantes del estudio, comenzando por las características generales de las unidades de muestreo y de la plantación, seguido por los efectos sobre las características edáficas y sobre la vegetación.

En este estudio las altitudes y orientaciones de todas las UM son similares lo cual facilita su comparación. No obstante, las pendientes difieren entre las situaciones, siendo más bajas en la situación páramo no intervenido. Esto pudiera deberse a que al momento de la siembra los bosques de pino fueron ubicados en zona de mayores pendientes sobre las morrenas, donde las condiciones de humedad del suelo (mejor drenaje y ausencia de pantanos o ciénagas (Fariñas y Monasterio 1980)) pudieran haber facilitado la siembra. Esto pudiera introducir algún ruido en la comparación entre las propiedades del suelo de dichas situaciones (plantación vs. páramo control), ya que parámetros como el porcentaje de materia orgánica presente en la superficie de los suelos pudiera ser mayor en las áreas de menor pendiente en los páramos, sin que esto se deba del todo a una pérdida de la M.O. en suelos bajo plantaciones.

Las características evaluadas en situaciones con presencia de pino en pie fueron las siguientes: densidad de las especies de pino, el diámetro de altura de pecho y el peso seco de las acículas de pino presentes en el sotobosque. Esto nos permitió analizar si existen diferencias entre las características estructurales de la plantación en su interior y en sus bordes y analizar cuál es el estado actual de las mismas luego de más de 40 años de su siembra. Se observa como varía la densidad de pinos en las diferentes situaciones: a medida que nos acercamos al páramo existe una disminución en el número de individuos y el área basal total, siendo en el interior de la plantación donde se registran los mayores valores. Por su parte, la densidad de pinos es un 21% menor en el borde interno mientras que el área basal disminuye un 18% entre el interior y el borde interno.

La gran acumulación de acículas de pino en el sotobosque pudiese jugar un papel muy importante, generando factores limitantes en la germinación y establecimiento de plantas nativas, ya sea por efectos negativos sobre la fertilidad del suelo (por los altos contenidos de lignina en las acículas, bajas tasas de descomposición, baja movilización y liberación de nitrógeno) o alteraciones en sus propiedades físico-químicas (ej. acidificación). En este estudio, se encuentra que en algunas situaciones la capa superficial de acículas presente

en el suelo es de hasta 9,5 kg/m², y los porcentajes de cobertura de acículas dentro de la plantación son muy altos (entre 98 y 96 %). Estos altos contenidos y coberturas de acículas pudieran por lo tanto ser un limitante importante para el establecimiento y mantenimiento de la vegetación del páramo. No obstante, en los estudios de Corredor-Velandia y Vargas (2007), en el Embalse de Chisacá, Cundinamarca – Colombia, sobre una plantación homogénea de *Pinus patula* de aproximadamente 25 años de establecida se determinó que bajo situaciones de disturbio, específicamente aclareos dentro de la plantación a 0, 50, 75, 100% el establecimiento de especies en parcelas con acículas removidas se da en forma lenta. Sin embargo, en aquellas parcelas donde se aplicaron los tratamientos de aclareo pero en que los suelos continuaban cubiertos por una cama de acículas se presentó un aumento en la cobertura de especies nativas del área (especies de bosque altoandino). Estos resultados sugieren que las acículas pudieran no ser un factor limitante para el establecimiento (al menos de plantas leñosas de los bosques), y que pudiera ser más importante la entrada directa de luz. Por tanto, es recomendable en el área de Mucubají realizar experimentos donde sean removidas las acículas para evaluar así cuál es el efecto que tiene su cobertura sobre la dinámica de la vegetación.

En cuanto a las características edáficas de los suelos del páramo de Mucubají se encontró en la situación control, es decir, Páramo no intervenido, que el valor promedio de pH es de 4,6, lo que resulta ser comparable con los valores para los suelos reportados por Fariñas y Monasterio (1980) en las morrenas sin intervención del páramo de Mucubají (0-10 cm de profundidad). Estos autores señalan valores de pH que oscilan entre 4 y 5,6 con un promedio de 4,7, siendo muy similares a los reportados en este estudio. Baruch (1984), obtiene en páramo de rosetal-arbustal en Mucubají un pH del suelo (5-20 cm de profundidad) de 4,2, siendo el pH un poco más ácido al encontrado en esta investigación. Otro estudio llevado a cabo por Malagón (1982) en los suelos de la morrena terminal de Mucubají, revela un valor de pH muy similar al nuestro de 4,7 (pH medido en agua, 0-36 cm de profundidad).

En cuanto a los cambios en los valores de pH para cada situación, se obtuvo que es en los suelos bajo plantación y borde interno donde ocurre una acidificación significativa del horizonte superficial (0 – 5 cm) del suelo, respecto al páramo, siendo el valor promedio de pH en suelos bajo plantación de 4,3 y en el borde interno de 4,4.

Gross (2009) realizó en el páramo de Mucubají, un análisis del declive en poblaciones de seis especies de anfibios anuros a lo largo de un gradiente altitudinal (desde 2500 hasta 3500 m.s.n.m.). En este estudio se monitorearon los valores de pH del agua (a 5 centímetros de profundidad en cada laguna o corriente principal de cada sitio de muestreo), mostrando que estos tienden a ser ligeramente alcalinos en el área (8,9). No obstante, la presencia de coníferas en el lugar parece contribuir con la acidificación del agua, llevándola a valores cercanos a la neutralidad (6,9) en las estaciones próximas a la plantación.

Veamos qué ocurre al comparar nuestros resultados con los estudios realizados en otros países. En Colombia, León *et al.* (1996) compararon las características de suelos volcánicos bajo pastos con suelos de plantaciones de *Pinus patula* de 15 años de edad, encontrando una acidificación significativa. También en Colombia, León (2007) evalúa

experimentos de restauración ecológica en plantaciones de *P. patula*, ubicadas en el Embalse de Chisacá, donde los análisis físico-químicos del suelo muestran una leve disminución en el pH dentro de las plantaciones, indicando una tendencia leve a la acidificación de los suelos, siendo el pH del suelo bajo plantación de 5,2 respecto a las áreas de matorral y pastizal (5,4 y 5,6 respectivamente). Por su parte, van Wesenbeeck *et al.* (2003) en los Andes Colombianos comparan la vegetación de una plantación de *Pinus patula* de 8 años de edad con la vegetación del subpáramo en los alrededores de la plantación, y al evaluar algunas propiedades del suelo en la superficie entre 10-15 cm, encuentran que no hay acidificación (aunque no evaluaron el horizonte más superficial).

Farley y Kelly (2004) en Cotopaxi Ecuador, valoraron el efecto de las plantaciones sobre algunas propiedades del suelo entre ellas el pH. Para ello trabajaron con muestras de suelo en pastizales de páramo y bajo plantaciones de *Pinus radiata* de 0 a 25 años. Estos autores también reportan una acidificación significativa del suelo bajo las plantaciones (5.2) vs. el suelo del páramo (5.5), que ocurre en los primeros 10 cm del perfil del suelo. Asimismo, Hofstede *et al.* (2002), analizaron el impacto de 47 plantaciones de *P. radiata* y *P. patula* (entre 5 y 30 años) sobre los suelos y la vegetación en los Andes ecuatorianos, registrando una tendencia a la disminución en los valores de pH de los suelos bajo plantaciones de coníferas en los primeros 0-10 cm con respecto al páramo no intervenido, aunque debido a la alta variabilidad entre los suelos de las regiones estudiadas, las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

A pesar que los impactos de las plantaciones de coníferas sobre el suelo son conocidos y han sido reportados por varios autores, estos resultados demuestran que el efecto de las plantaciones no siempre es el mismo, por tanto, no se debe generalizar. Sin embargo para efectos de esta investigación los resultados sugieren que si hay una acidificación en el horizonte más superficial del suelo, lo cual pudiera relacionarse con alteraciones en la biomasa microbiana, acículas con altos contenidos de lignina y bajas tasas de descomposición y cambios en las dinámicas del proceso de ciclado de N (mineralización, nitrificación, desnitrificación, lixiviación y fijación). La mayor parte de estas transformaciones traen consigo producción o consumo de protones (Sarmiento y Llambí 2011), que pudiesen estar alterando el pH. Estas variaciones pudieran tener influencia sobre la disminución de la fertilidad de los suelos (al ocupar los protones los sitios de intercambio catiónico en el suelo, contribuyendo al lavado y pérdida de nutrientes como el calcio o el magnesio).

También podemos comparar nuestros resultados con otros sobre el efecto sobre el suelo de disturbios antrópicos que afectan nuestros páramos. Por ejemplo, Llambí y Sarmiento (1998) y Abreu *et al.* (2009), examinaron la biomasa microbiana y otros parámetros edáficos en una sucesión secundaria de los páramos venezolanos, y encontraron que después de una perturbación agrícola se produce una disminución significativa del pH, y que este parámetro aumenta solo luego de varios años de recuperación sucesional.

En relación a la materia orgánica en nuestro estudio obtuvimos valores promedio en el páramo de 22,5% entre 0-5 cm y de 19,5% entre 5-10 cm. En general, en páramos con poca intervención humana ocurre que la descomposición de materia orgánica es muy lenta, debido a las bajas temperaturas y la alta humedad (Hofstede 1997), implicando que estos suelos presenten altos contenidos de materia orgánica. Comparemos nuestros resultados con otras investigaciones desarrolladas en Mucubají. Fariñas y Monasterio (1980) encontraron en la superficie del suelo (0-10 cm) de las morrenas valores de

materia orgánica muy similares a los nuestros; en promedio reportan 28,2% con rangos amplios (de 6,4 a 58,9). Esta amplia variabilidad se debe a que los autores analizaron un gradiente que va desde las morrenas hasta el fondo de valle, siendo los valores más altos los que ocurren en el fondo de valle (presentándose así humedales con hasta 58,9% de materia orgánica). No obstante, llama la atención que al comparar los resultados de este estudio con los obtenidos por Malagón (1982) se observa que nuestros porcentajes de materia orgánica son más altos que el 4,40% hallado por él en la morrena terminal de Mucubají. En parte, esta diferencia pudiera deberse a que este valor corresponde a un muestreo entre 0-32 cm de profundidad.

Ahora bien, podemos comparar nuestros resultados con estudios realizados en otros países. En Ecuador Farley *et al.* (2004) examinaron los cambios en el contenido de carbono orgánico y la retención de agua en el horizonte superficial del suelo (0-10 cm), en plantaciones de *P. radiata* con edades entre 0 a 25 años, en la provincia de Cotopaxi, encontrando que los porcentajes de carbono orgánico más altos ocurren en páramos (4,2%). Este valor disminuye progresivamente en plantaciones con mayor edad. En las de 20 a 25 años el porcentaje promedio de C orgánico disminuye hasta 2,8% (si lo llevamos a porcentajes de materia orgánica total, estos valores serían de 8,4% y 5,6% respectivamente). Hofstede *et al.* (2002), también observan una reducción en el porcentaje de materia orgánica presente en los suelos bajo plantaciones de coníferas, en el horizonte A (0-10 cm), con respecto al páramo no intervenido (siendo en promedio de 16,9% en la plantación y de 20,8% en los páramos de pajonal). Sin embargo, se encuentra que esta diferencia no es estadísticamente significativa debido a la alta variabilidad entre los suelos de diferentes regiones. Por su parte, van Wesenbeeck *et al.* (2003) observan en general menores contenidos de materia orgánica dentro de las plantaciones que en la vegetación de sub-páramo, pero igualmente observan una alta variabilidad.

Otros estudios han encontrado que las plantaciones forestales, específicamente con especies de los géneros *Pinus* y *Cupressus*, tienen una serie de implicaciones sobre los ecosistemas del páramo, siendo las propiedades hidrológicas las más afectadas (De Bièvre *et al.* 2011). Las plantaciones forestales aparentemente utilizan más agua durante su desarrollo y crecimiento generando así suelos más secos. Esto parece tener implicaciones sobre la disminución de la materia orgánica, puesto que al desecarse los suelos ocurre una mayor descomposición. Sin embargo, este proceso pudiera no ser compensado por la introducción de nueva materia orgánica a partir de la necromasa vegetal. La necromasa generada por los pinos tiende a ser de una menor calidad ya que presenta un alto contenido de lignina así como resinas y fenoles que son más difíciles de descomponer. De igual manera, la disminución en la materia orgánica reduce a su vez la capacidad en la retención de agua, alterando una de las características fundamentales del páramo como lo es la regulación hídrica.

Así mismo, en estudios realizados por Llambí y Sarmiento (1998) y Abreu *et al.* (2009), sobre sistemas con descansos largos se observa que el disturbio agrícola produce una ligera disminución del carbono total del suelo (aunque este cambio no es estadísticamente

significativo) y no se observaron tendencias al aumento de la materia orgánica a lo largo de la sucesión.

Tal como se evidencia en este estudio, la materia orgánica y el pH parecen ser indicadores sensibles al disturbio generado por la forestación. Al comparar la sensibilidad de estos indicadores frente a otros disturbios como la agricultura en el páramo, encontramos que es el pH uno de los pocos indicadores que responde claramente a la puesta en cultivo y la recuperación sucesional. Por su parte estudios previos sobre el impacto de la agricultura en la materia orgánica mostró que ésta es menos sensible al disturbio agrícola que a la forestación con exóticas. Sin embargo, es necesario estudiar en más detalle el efecto de las diferencias de pendiente entre las plantaciones y los páramos control usados en este estudio.

En cuanto a la vegetación presente en el páramo de Mucubají los resultados de esta investigación para las parcelas de rosetal arbustal concuerdan con los estudios realizados por Fariñas (1977) y Torres (2008), quienes compararon las morrenas principales derecha e izquierda en el Valle de Mucubají. Estos autores también informan como especie dominante en las zonas de morrenas a *E. schultzei*, la cual es una especie representativa del páramo de rosetal-arbustal y que está totalmente ausente en el interior de la plantación y el borde interno. Torres (2008) encontró que la cobertura de esta especie es muy similar a la reportada por nosotros (48,2% - 34,2% Vs. nuestro promedio 33,8%). Lo mismo ocurre con especies como *O. erectifolia*, *H. laricifolium* y *L. moritziana* las cuales no están presentes bajo las plantaciones y son encontradas como muy abundantes en el páramo tanto por Fariñas (1977) como por Torres (2008), (estos autores no muestrearon en plantación). *G. multiceps* es otra de las especies que domina en el páramo, y se encuentra presente en todas las situaciones de muestreo, incluida la plantación.

En los bordes aún aparecen algunas especies representativas del páramo pero sus abundancias van disminuyendo. En el interior de las plantaciones de pino dichos patrones de abundancia cambian por completo e incluso las especies que son dominantes; así *Oxalis spiralis* es la que mayor abundancia presenta, pero con una cobertura de 3%, siendo también la especie dominante en la situación borde interno; igualmente otras hierbas aumentan en abundancia dentro de las plantaciones, incluyendo a *P. vareschii* y *L. hirta*, las cuales no fueron registradas para el páramo; esto podría sugerir que algunas especies se ven beneficiadas por la plantación.

Otro caso interesante es el de *R. acetosella*, una especie introducida, que resulta más abundante en el páramo y muestra una disminución marcada de su abundancia en la plantación (probablemente debido a su carácter de una especie ruderal colonizadora de áreas abiertas (Sarmiento et al. 2003)). Por otro lado, el hecho de que tanto *R. acetosella* como el cojín cespitoso de *A. acicularis* tengan en nuestras parcelas de páramo control abundancias cercanas al 5% cada una, sugiere que estos páramos presentan una cierta degradación producto del pastoreo (Molinillo y Monasterio 2002). En particular, esto pudiera ser el resultado del pastoreo de los equinos utilizados en los paseos a caballo en

la zona, a pesar que *A. acicularis* no es una planta que ramonea el ganado, puede evidenciar pastoreo por su supervivencia y su aumento en la abundancia.

Nuestros resultados indican que la riqueza y diversidad de las especies presentes en el páramo de Mucubají disminuyen de manera marcada desde el Páramo hacia el interior de la plantación, pasando de 30 especies a 13 (una reducción del 56%). También el porcentaje de cobertura de la mayoría de las especies características del páramo disminuye. Esto puede evidenciarse en los de patrones de abundancia y específicamente en aquellos donde se comparan las situaciones plantación-control y borde interno-control.

Existe un estudio desarrollado por Ohep y Herrera (1985) sobre el impacto de las plantaciones de coníferas sobre la vegetación originaria del páramo de Mucubají, lamentablemente la manera en la que los autores presentan la metodología, específicamente la falta de información de donde fueron ubicadas las transectas en sus muestreos, limita la posibilidad de realizar cualquier comparación con nuestros resultados.

Van Wesenbeeck *et al.* (2003), en los Andes Colombianos, encuentran que existe una relación inversamente proporcional entre la cobertura de pinos y la abundancia y diversidad de la vegetación; en particular, este estudio muestra que las especies nativas del subpáramo, especialmente las de distribución más restringida, pierden sus hábitats específicos dentro de la plantación. Estos autores reportan una disminución de 42% de la riqueza estimada de especies al comparar las plantaciones (con más de 40% de cobertura de pinos) con la vegetación original de sub-páramo. Por su parte, los resultados de Hofstede *et al.* (2002) en plantaciones en todo el Ecuador indican que estas pueden generar efectos negativos sobre la vegetación del páramo (especies no leñosas) y en otros casos efectos positivos (en los casos donde hay presencia de sotobosques leñosos, los cuales tienden a regenerarse), dependiendo de una serie de factores. Entre ellos mencionan la región (suelos y clima), el uso previo de la tierra y el manejo de las plantaciones. Es por ello que dichos efectos no pueden ser generalizados.

Los resultados de esta investigación sugieren que las plantaciones de coníferas son responsables de una serie de alteraciones, que podrían estar vinculadas al bajo establecimiento de las especies nativas en el sotobosque. Entre estas alteraciones estarían: a) cambios en las propiedades físico-químicas del suelo (las cuales podrían afectar la fertilidad del suelo); b) la acumulación y amplia cobertura de acículas. Por otro lado, otros autores sugieren que también pudieran ser importantes cambios en la calidad y cantidad de luz disponible para el sotobosque, propiedad que influye en numerosos procesos biológicos. Esto debido a que los pinos poseen un dosel de amplia cobertura y que en esta zona están sembrados con densidades altas. Finalmente, otro proceso que pudiera ser clave es la posible disminución en la cantidad de agua disponible en el suelo que ha sido informada en otros estudios (Hofstede *et al.* 2002).

Sin embargo, con este estudio no puede concluirse que son estos los procesos que serían responsables de las alteraciones en la estructura de la comunidad vegetal. Para ello sería

necesario realizar estudios experimentales en que se modifiquen diferentes parámetros (ej. cobertura del dosel, acículas, disponibilidad de agua y nutrientes). Lo que sí podemos es aceptar la hipótesis de que las plantaciones de coníferas generan impactos negativos sobre la riqueza y diversidad de la vegetación, alterando la estructura de la comunidad de las especies nativas del páramo, lo que tiene implicaciones directas para la conservación de las especies que son representativas de ecosistemas como los rosetales-arbustales de los páramos andinos.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación las conclusiones más relevantes de este estudio:

- En el sotobosque de esta plantación de *Pinus patula* existe una gran acumulación de acículas. Esto pudiera tener implicaciones para entender los cambios en las propiedades del suelo bajo la plantación, así como en términos de la germinación y establecimiento de plantas nativas.
- Los suelos del páramo de Mucubají que se encuentran bajo plantaciones forestales de *Pinus patula* desde al menos 50 años en Mucubají parecen sufrir procesos de acidificación en el horizonte superficial así como una disminución de la materia orgánica total.
- Sin embargo, se requiere evaluar el efecto que las diferencias de pendiente observadas entre las parcelas en la plantación y las parcelas en el páramo pudiera tener sobre estas propiedades del suelo.
- Nuestros resultados sugieren que las plantaciones de pino no constituyen prácticas de conservación o mejoramiento de los suelos en páramos poco degradados como los de Mucubají.
- La riqueza y diversidad de especies de plantas vasculares disminuye desde el páramo de rosetal-arbustal hacia el interior de las plantaciones de *P. patula*.
- La cobertura de muchas de las especies más características de los páramos de rosetal arbustal en Venezuela como *E. schultzei* e *H. laricifolium* disminuyen marcadamente bajo la plantación, mientras que aumenta la abundancia de especies poco comunes en el páramo como *Oxalis spiralis*.

Algunas limitaciones y posibles recomendaciones que surgen a partir de este trabajo de investigación incluyen:

- Se debería hacer énfasis en evaluar las situaciones plantación, borde interno y control, redefiniendo la situación de borde externo, para que solo incluya los páramos inmediatamente adyacentes a la plantación. Así mismo, se recomienda aumentar el número de réplicas por unidad de muestreo, además de evaluar si se alcanza la saturación de las curvas de acumulación de especies.

- Evaluar conjuntamente otros procesos que ocurren a nivel del suelo, tales como cambios en las dinámicas del nitrógeno y fósforo, regulación hídrica, tasas de descomposición, cambios en la calidad de la materia orgánica entre otros.
- Realizar estudios experimentales de remoción de las acículas y de la cobertura de los pinos para evaluar cuál es su efecto.
- Analizar cuáles son los efectos de la plantación sobre las dinámicas poblacionales y las respuestas ecofisiológicas de las especies.
- Caracterizar los cambios en las condiciones microclimáticas, dentro y fuera de la plantación.
- Evaluar la situación de suelos y vegetación en claros dentro de la plantación.
- Evaluar si los efectos de las plantaciones de pino sobre propiedades claves del suelo son diferentes al estudiar localidades con páramos más degradados como aquellas sometidas históricamente al cultivo de trigo donde se plantaron pinos con fines de restauración de suelos en el Valle alto del Río Chama.

Debido a la importancia ecológica, económica y cultural que tienen los páramos, se proponen una serie de implicaciones de los resultados de este estudio para el diseño de estrategias de conservación y restauración:

- Fomentar la restauración ecológica de los páramos que se encuentren degradados partiendo de un conocimiento de la vegetación característica del sitio que se pretende restaurar.
- No se recomienda el uso de especies introducidas de pino en ningún programa de restauración ecológica.
- Cualquier intervención realizada en los páramos debe ser monitoreada, para evaluar su impacto, para que así no ocurra lo mismo que con estas plantaciones forestales, las cuales fueron sembradas sin implementar luego programas de monitoreo de su impacto ecológico.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, Z., Llambí, L.D. y Sarmiento L. 2009. Sensitivity of soil restoration indicators during Páramo succession in the high tropical Andes: chronosequence and permanent plot approaches. *Journal of the society for ecological restoration international. Restoration Ecology*. pp.10.
- Anderson, M.J., Gorley, R.N. y Clarke, K.R. 2008. *Permanova for Primer: guide to software and statistical methods*. PRIMER-E: Plymouth,UK.
- Ansoloni, R. y Chacón, G. 2003. Interacción suelo, vegetación y agua: el efecto de las plantaciones de pino en ecosistemas alto andinos del Azuay y Cañor. *Revista de la Universidad del Azuay*. pp. 31-32.
- Arcos, M. E. 2010. Influencia de la cobertura vegetal en la capacidad de infiltración de agua en suelos del páramo. Tesis de grado como requisito para la obtención del título de Licenciatura en Comunicación Ambiental. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.
- Azocar, A. y Rada, F. (2006) *Ecofisiología de Plantas de Páramo*. Publicaciones del Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. pp. 123.
- Baruch, Z. 1984. Ordination and classification of vegetation along an altitudinal gradient in the Venezuelan Páramos. *Springer. Vegetation*, Vol. 55, N° 2, pp. 115-126.
- Brandbyge, J., 1991. Reforestación de los Andes Ecuatorianos con especies nativas. Programa de reforestación en áreas marginales de la Sierra Ecuatoriana (CESA – Intercooperation Suiza). Quito, Ecuador.
- Briceño, B., y Morillo, G. 2002. Catálogo abreviado de las plantas con flores de los Páramos de Venezuela. Parte I. Dicotiledóneas (Magnoliopsida). *Acta Botánica de Venezuela*. 25(1): pp. 1-46.
- Briceño, B., y Morillo, G. 2006. Catálogo de las plantas con flores de los Páramos de Venezuela. Parte II. Monocotiledóneas (Liliopsida). *Acta Botánica de Venezuela*. 29(1): pp. 89-134.
- Briceño, B. 2011. Cyperaceae. pp. 449-483. En: *Botánica y Ecología de las Monocotiledóneas de los Páramos de Venezuela*. Volumen 2. Morillo, G., Briceño, B. y Silva, J.F. (Eds.). Centro Editorial Litorama C.A. Mérida, Venezuela.
- Briceño, B. 2011. Poacea. pp. 539-711. En: *Botánica y Ecología de las Monocotiledóneas de los Páramos de Venezuela*. Volumen 2. Morillo, G., Briceño, B. y Silva, J.F. (Eds.). Centro Editorial Litorama C.A. Mérida, Venezuela.

- Clarke, K.R. y Gorley, R.N. 2006. Primer v6: user manual/tutorial. Primer-E Ltd.
- Cobo, F. 2001. La ganadería vacuna y caballar en los páramos. pp. 55-58. En La agricultura y la ganadería en los páramos. Serie Páramo 8. GTP/ AbyaYala. Quito, Ecuador.
- Corredor-Velandia, S. y Vargas, O. 2007. Efectos de la creación de claros experimentales con diferentes densidades sobre los patrones iniciales de sucesión vegetal en plantaciones de *Pinus patula*. pp. 336-352. En: Restauración ecológica del bosque altoandino: Estudios diagnósticos y experimentales en los alrededores del Embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D.C.). Grupo de Restauración Ecológica (Eds). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Colombia.
- Crissman, Ch. 2001. La agricultura en los páramos: estrategias de uso del espacio. pp. 7-28. En: La agricultura y la ganadería en los páramos. Serie Páramo 8. Medina, G., y Mena, P. (Eds.). GTP/ Abya Yala Quito.
- Cuatrecasas, J. 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. En: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Bogotá. Colombia. 10: pp. 221-269.
- De Bièvre, B., Íñiguez, V., Buytaert, W. 2011. Hidrología del Páramo: importancia, propiedades y vulnerabilidad. pp. 81-97. En: Páramo Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado. Mena, P., Campaña, J., Castillo, A., Flores, S., Hofstede, R., Josse, C., Lasso, S., Medina, G., Ochoa, N., y Ortiz, D. (Eds.). EcoCiencia/ Abya – Yala/ECOBONA. Quito, Ecuador.
- De Robert, P. y Monasterio, M. 1995. Cambios y continuidades en el sistema triguero de la cordillera de Mérida, Venezuela. *Scientia Guianae* 5: pp. 269-296.
- Díaz-Granados Ortiz, M., Navarrete González, J., Suárez López, T. 2005. Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, núm.22, Universidad de los Andes.
- Fariñas, M. 1977. Análisis de la vegetación de páramo: ordenamiento, clasificación y correlación con factores edáficos – climáticos. *Actas del IV Simposium Internacional de Ecología Tropical*, Panamá. Tomo I: pp. 346-378.
- Fariñas, M. y Monasterio, M. 1980. La vegetación del Páramo de Mucubají. Análisis de ordenamiento y su interpretación ecológica pp. 263-307. En: *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Monasterio, M. (Ed). Editorial de la Universidad de los Andes. Mérida.
- Farley, K. 2011. Plantaciones forestales y producción de servicios ambientales. pp. 99-112. En: Páramo Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado. Mena, P., Campaña, J., Castillo, A., Flores, S., Hofstede, R., Josse, C., Lasso, S.,

- Medina, G., Ochoa, N., y Ortiz, D. (Eds.). EcoCiencia/ Abya – Yala/ECOBONA. Quito, Ecuador.
- Farley, K., Jobbágy, E., y Jackson, R. 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology* 11: pp. 1565-1576.
- Farley, K., Kelly, E. 2004. Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status. *Forest Ecology and Management* 195: pp. 281-290.
- Farley, K., Kelly, E. y Hofstede, R. 2004. Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems* 7: pp. 729-739.
- Gaceta Oficial de Venezuela. 1952. En Gaceta Oficial N° 23821, de 2 de mayo de 1952.
- Gaceta Oficial de Venezuela. 1985. En Gaceta Oficial N° 33288, de 19 de agosto de 1985.
- Gómez, M., Delgado, H. 1989. Diagnostico preliminar de la plantación de coníferas de la “Estación Experimental Mucubají”. Informe de Pasantías, Escuela de Técnico Superior Perito Forestal. Universidad de los Andes, Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela.
- Greig-Smith P. 1983. *Quantitative Plant Ecology*. Berkeley: University of California Press.
- Gross, J. 2009. Declive en poblaciones de seis especies de anfibios anuros del Páramo de Mucubají, Estado Mérida, Venezuela. *Herpetropicos* Vol. 5 (1): pp. 09-20.
- Hofstede, R. 1997. La importancia hidrológica del páramo y aspectos de su manejo. Conferencia Electrónica “Estrategias para la Conservación y Desarrollo Sostenible de Páramos y Pumas en la Ecorregion Andina: Experiencias y Perspectivas” (CDC PP, del 15 de Agosto al 03 de Octubre de 1997).
- Hofstede, R. 1998. La vegetación de la sierra andina ecuatoriana. pp. 35-69. En: *Geografía, ecología y forestación de la Sierra Alta del Ecuador. Revisión de literatura*. Ediciones Abya – Yala. Quito, Ecuador.
- Hofstede, R. 2000. Aspectos técnicos ambientales de la forestación en los páramos. pp. 43-58. En: *La Forestación en los Páramos. Serie Páramo 6*. Medina G., Josse, C., y Mena, P. (Eds.).GTP/Abya Yala. Quito, Ecuador.
- Hofstede, R. 2003. Los páramos en el mundo su diversidad y sus habitantes. pp. 15-38. En: *Los páramos del mundo*. Hofstede, R., Segarra, P. y Mena, P. (Eds). Proyecto atlas mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC-IVCN/ Eco Ciencia. Quito, Ecuador.

- Hofstede, R., Groenendijk, J., Coppus, R., Fehse, J., Sevink, J. 2002. Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes. *Mountain Research and Development* Vol 22 No 2: pp. 159–167.
- Jobbágy, E. 2009. Regímenes hidrológicos según usos de la tierra: Efectos de la actividad forestal en sistemas semiáridos y húmedos. Consultado agosto 2012.
- La Manna, L., Buduba, C., Alonso, V., Davel, M., Puentes, C., y Irisarri, J. 2007. Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos de la región Andino-Patagónica: efectos de la vegetación y tipos de suelo. *Nota científica. Suelo (Argentina)* 25(2): pp. 179-188.
- León, O. 2007. Experimentos de restauración ecológica en plantaciones de *Pinus patula* (Embalse de Chisacá, Localidad de Usme). pp. 296-335. En: *Restauración ecológica del bosque altoandino: Estudios diagnósticos y experimentales en los alrededores del Embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D.C.)*. Grupo de Restauración Ecológica (Eds). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Colombia.
- León, T., Suárez, A. y Castañeda, A. (1996). Efectos sobre el suelo de plantaciones comerciales de *Pinus patula* y *Ecalyptus grandis* en crecimiento. Informe preliminar del componente Suelo y Aguas del Proyecto de evaluación del Impacto Ambiental de las Plantaciones Forestales en Colombia. Santafé de Bogotá: CONIF. pp. 51.
- León-Yáñez, S. 2011. La flora de los páramos ecuatorianos. pp. 25-39. En: *Páramo Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado*. Mena, P., Campaña, J., Castillo, A., Flores, S., Hofstede, R., Josse, C., Lasso, S., Medina, G., Ochoa, N., y Ortiz, D. (Eds.). *EcoCiencia/ Abya – Yala/ECOBONA*. Quito, Ecuador.
- Lips, J. y Hofstede, R. 1998. Impactos ecológicos de plantaciones forestales. pp. 117-126. En: *Geografía, ecología y forestación de la Sierra Alta del Ecuador*. Revisión de literatura. Ediciones Abya – Yala. Quito, Ecuador.
- Llambí, L.D. y Cuesta, F. En prensa. Las múltiples dimensiones de la diversidad en los páramos andinos. En: Cuesta, F., Sevink, J., Llambí, L.D., Maldonado, G. y De Bièvre, B. *Estado del conocimiento y la conservación en los páramos andinos*. Proyecto Páramo Andino (PNUMA-GEF-CONDESAN), Quito, Ecuador.
- Llambí, L.D. y Sarmiento, L. 1998. Biomasa microbiana y otros parámetros edáficos en una sucesión secundaria de los Páramos Venezolanos. *Sociedad Venezolana de Ecología. Ecotropicos*. 11(1): pp. 1-14.
- Malagón, D. 1982. Evolución de suelos en el páramo andino (NE del Estado Mérida-Venezuela). CIDIAT, Mérida.
- Molina, M. 1996. Revisión taxonómica de los *Odocoileus* (Mammalia, Artiodacyla, Cervidae) de Venezuela, con aportes a la historia natural y conservación del

- venado de páramo. Trabajo especial de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Molinillo, M. y Monasterio, M. 2002. Patrones de vegetación y pastoreo en ambientes de Páramo. *Ecotropicos* 15(1): pp. 19-34.
- Monasterio, M. 1980a. El páramo de Mucubají dentro del cuadro general de los páramos venezolanos, pp. 201-206. En: *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Monasterio, M. (Ed). Editorial de la Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Monasterio, M. 1980b. Las formaciones vegetales de los páramos de Venezuela, pp. 93-158. En: *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Monasterio, M. (Ed). Editorial de la Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Monasterio, M. 1980c. Los Páramos Andinos como región natural. Características biogeográficas generales y afinidad con otras regiones andinas, pp. 15-27. En: *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Monasterio, M. (Ed). Editorial de la Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Monasterio, M. 1980d. Poblamiento humano y uso de la tierra en los altos andes de Venezuela, pp.170-198. En: *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Monasterio, M. (Ed). Editorial de la Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Monasterio, M. y Reyes, S. 1980: Diversidad ambiental y variación de la vegetación en los páramos de los andes venezolanos. En M. Monasterio (ed.), *Estudios Ecológicos de Los Páramos Andinos*. Ediciones de la Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Monasterio, M., Molinillo, M. 2003. El paisaje y su diversidad. pp. 205-236. En: *Los páramos del mundo*. Hofstede, R., Segarra, P. y Mena, P. (Eds). Proyecto atlas mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC-IVCN/ Eco Ciencia. Quito, Ecuador.
- Mora, J., Figueroa, Y. y Vivas, T. 2007. Análisis multi-escala de la vegetación de los alrededores del embalse de Chisacá (Cundinamarca, Colombia). Implicaciones para la formulación de proyectos de restauración ecológica a nivel local. pp. 16-103. En: *Restauración ecológica del bosque altoandino: Estudios diagnósticos y experimentales en los alrededores del Embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D.C.)*. Grupo de Restauración Ecológica (Eds). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Colombia.
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, UNESCO, Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA), Gorfí. España.

- Morillo, G. 2011. Iridaceae. pp. 513-520. En: Botánica y Ecología de las Monocotiledóneas de los Páramos de Venezuela. Volumen 2. Morillo, G., Briceño, B. y Silva, J.F. (Eds.). Centro Editorial Litorama C.A. Mérida, Venezuela.
- Mostacedo, B., y Fredericksen, T. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Daniel Nash (Ed.). Santra Cruz, Bolivia. pp. 87.
- Ohep, N., Herrera, L. 1985. Impacto de las plantaciones de coníferas sobre la vegetación originaria del páramo de Mucubají. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Podwojewski, P., Poulenard, J. 2000. La degradación de los suelos en los páramos. pp. 27-35. En: Los Suelos del Páramo. Serie Páramo 5. Mena, P., Josse, C., y Medina, G. (Eds.). GTP/ Abya Yala. Quito, Ecuador.
- Ramírez, L., Llambí, L.D., Schwarzkopf, T., Gámez, L., y Márquez, N. 2009. Vegetation structure along the forest – páramo transition belt en the Sierra Nevada de Mérida: implications for understanding treeline dynamics. *Ecotropicos*. 22(2): pp. 83-98.
- Sarmiento, L. y Llambí, L.D. 2011. Regeneración del páramo después de un disturbio agrícola: síntesis de dos décadas de investigación en sistemas con descansos largos de la cordillera de Mérida. pp. 123-145. En: La restauración ecológica en Venezuela: fundamentos y experiencias. Herrera F & I Herrera (Eds.). Ediciones IVIC, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela.
- Sarmiento, L. y Smith, J. 2011. Degradación de laderas durante el ciclo triguero en los Andes venezolanos y factores que limitan su restauración. pp. 17-34. En: La restauración ecológica en Venezuela: fundamentos y experiencias. Herrera F & I Herrera (Eds.). Ediciones IVIC, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela.
- Sarmiento, L., Llambí, L.D., Escalona, A., y Marquez N. 2003. Vegetation patterns, regeneration rates and divergence in an old-field succession of the high tropical Andes. *Plant Ecology* 166: pp. 63-74.
- Suárez, L. 2000. La forestación en los páramos: el punto de vista ambiental. pp. 26-31. En: La Forestación en los Páramos. Serie Páramo 6. Medina G., Josse, C. y Mena, P. (Eds.). GTP/ Abya Yala. Quito.
- Torres, J.E. 2008. Variación en la estructura florística de las morrenas laterales en el valle de Mucubají. Trabajo especial de grado. Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Van der Hammen, T. 2008. El páramo: de la destrucción a la conservación. pp. 11-15. En: Memorias panorama y perspectivas sobre la gestión ambiental de los ecosistemas de páramo. Castañeda J. (Ed.). Procuraduría delegada para asuntos ambientales y agrarios. Instituto de estudios del ministerio público. Bogotá, Colombia.

- Van Wesenbeeck, B., van Mourik, T., Duivenvoorden, J., Cleef, A. 2003. Strong effects of a plantation with *Pinus patula* on Andean subpáramo vegetation: a case study from Colombia. *ELSEVIER. Biological Conservation* 114 (2003): pp. 207-218.
- Vareschi, V. 1970. Flora de los Páramos de Venezuela. Consejo Desarrollo de Publicaciones del Rectorado, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. pp . 429.
- Vargas, O. y Mora, F. 2008. La Restauración Ecológica su contexto, definiciones y dimensiones. pp. 19-40. En: Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino: el caso de la Reserva Forestal Municipal de Cogua, Cundinamarca. Vargas, Orlando (Ed.). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogotá, Colombia.
- Velasco-Linares, P., Vargas, O. 2008. Problemática de los bosques Altoandinos. pp. 41-56. En: Estrategias para la restauración ecológica del bosque Altoandinos: el caso de la Reserva Forestal Municipal de Cogua, Cundinamarca. Vargas, O. (Ed.). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogotá, Colombia.
- Velázquez, N. 2004. Modernización Agrícola en Venezuela Los valles alto andinos 1930 – 1999. Fundación Polar. Caracas, Venezuela.
- Vivas, Y. 1999. Flórula vascular del valle morrénico de Mucubají. Trabajo especial de grado. Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- <http://www.theplantlist.org>. Consultado el día 13 de enero del 2014.

ANEXOS

Anexo 1. Altitud, ubicación (Coordenadas UTM, 19P, Proyección: WGS 84) y pendiente de cada una de las parcelas utilizadas como unidades de muestreo, Páramo de Mucubají, Estado Mérida, Venezuela.

Situación	Altitud	Coordenada X	Coordenada Y	Inclinación
Plantación 1	3550m	X=0299949	Y=0973210	23,2°
Plantación 2	3593m	X=0300090	Y=0973077	26,2°
Plantación 3	3620m	X=03300014	Y=0972830	18,6°
Plantación 4	3598m	X=0299507	Y=0972536	17,3°
Plantación 5	3636m	X= 0300170	Y= 0972423	26,9°
Plantación 6	3593m	X= 0299407	Y= 0972552	26,2°
Borde interno 1	3608m	X=0299523	Y=0972519	34,9°
Borde interno 2	3611m	X=0299658	Y=0972496	3,2°
Borde interno 3	3603m	X=0300009	Y=0972800	28,1°
Borde interno 4	3642m	X=0299602	Y=0972250	17,5°
Borde interno 5	3665m	X=0299819	Y=0972229	14°
Borde interno 6	3595m	X=0300006	Y=0972931	22,1°
Borde externo 1	3615m	X=0300029	Y=0972802	25°
Borde externo 2	3621m	X=0300120	Y=0972488	13,6°
Borde externo 3	3676m	X=0299777	Y=0972127	16,6°
Borde externo 4	3582m	X=0300167	Y=0972918	18,2°
Borde externo 5	3583m	X=0299856	Y=0972940	21,3°
Borde externo 6	3622m	X=0299601	Y=0972385	25°
Control 1	3610m	X=0300002	Y=0972640	12,3°
Control 2	3650m	X=0300126	Y=0972320	3,9°
Control 3	3647m	X=0299980	Y=0972284	5,1°
Control 4	3668m	X=0299903	Y=0972058	7,7°
Control 5	3669m	X=0299836	Y=0972037	1,5°
Control 6	3605m	X=0300106	Y=0972699	12°

Anexo 2. Variación de la densidad total de pinos (ind/m²) en las diferentes réplicas de estudio, promedio y desviación por cada situación de muestreo, Páramo de Mucubají, Estado Mérida, Venezuela.

	Plantación(ind/m ²)	Borde interno(ind/m ²)	Borde externo(ind/m ²)
Replica 1	0,093	0,14	0,06
Replica 2	0,133	0,18	0,08
Replica 3	0,133	0,14	0,1
Replica 4	0,227	0,06	0,04
Replica 5	0,160	0,1	0,2
Replica 6	0,147	0,08	0,04
Promedio	0,149	0,117	0,087
Desv. Estándar	0,044	0,045	0,060

Anexo 3. Diámetro de altura de pecho (DAP) de cada individuo de pino en pie presente en cada situación de estudio, Páramo de Mucubají, Estado Mérida, Venezuela. Para el caso de aquellos pinos que tenían más de un tronco, se tomaron los DAP de cada uno y se presenta en la tabla su promedio. Existe mucha variabilidad en los valores de DAP de los individuos presentes en cada situación.

Plant 1	Plant 2	Plant 3	Plant 4	Plant 5	Plant 6
d1=43cm	d1=90cm	d1=104,8cm	d1=76,2cm	d1=82cm	d1=68cm
d2=112cm	d2=93cm	d2=121,2cm	d2=54,25cm	d2=70cm	d2=68cm
d3=84cm	d3=39,9cm	d3=101,05cm	d3=84,8cm	d3=99cm	d3=130,5cm
d4=122cm	d4=46,5cm	d4=168,8cm	d4=91,4cm	d4=43cm	d4=91cm
d5=79,5cm	d5=68cm	d5=141,2cm	d5=98,3cm	d5=92,5cm	d5=74cm
d6=114cm	d6=30cm	d6=49,8cm	d6=154cm	d6=103cm	d6=49cm
	d7=67,8cm	d7=65cm	d7=112cm	d7=105cm	d7=68cm
			d8=70cm	d8=103cm	
			d9=80,5cm	d9=64cm	
			d10=52,3cm		

Bor int 1	Bor int 2	Bor int 3	Bor int 4	Bor int 5	Bor int 6
d1=58cm	d1=113cm	d1=69cm	d1=88cm	d1=92,5cm	d1=97cm
d2=91cm	d2=56cm	d2=72,75cm	d2=113cm	d2=59cm	d2=119cm
	d3=147cm			d3=108cm	d3=173cm
				d4=84cm	

Bor ext 1	Bor ext 2	Bor ext 3	Bor ext 4	Bor ext 5	Bor ext 6
d1=126cm	d1=13,5cm	d1=73cm	d1=86cm	d1=136cm	d1=75cm
d2=141,5cm	d2=78cm	d2=58cm	d2=173cm	d2=47cm	d2=129,5cm
d3=69cm	d3=92cm	d3=52cm		d3=63cm	
		d4=78cm		d4=85cm	
		d5=24cm		d5=43cm	
				d6=56cm	
				d7=69cm	
				d8=104cm	

Anexo 4. Peso seco de las acículas presentes en el sustrato para las situaciones donde se encuentra pino en pie

Peso seco de acículas		
P1 - A1 = 221,05 g	BI1 - A1 = 269,12 g	BE1 - A1 = 30,05 g
P1 - A2 = 361,16 g	BI1 - A2 = 497,55 g	BE1 - A2 = 406,55 g
P1 - A3 = 511,32 g	BI1 - A3 = 741,52 g	BE1 - A3 = S/A
P1 - A4 = 343,76 g	BI1 - A4 = 573,48 g	BE1 - A4 = 46,64 g

P2 - A1 = 560,27 g	BI2 - A1 = 401,5 g	BE2 - A1 = 405,85 g
P2 - A2 = 211,3 g	BI2 - A2 = 470,66 g	BE2 - A2 = 53 g
P2 - A3 = 86,6 g	BI2 - A3 = 316,33 g	BE2 - A3 = S/A
P2 - A4 = 230,75 g	BI2 - A4 = 268,03 g	BE2 - A4 = 119,22 g
P3 - A1 = 456,22 g	BI3 - A1 = 150,98 g	BE3 - A1 = S/A
P3 - A2 = 430,69 g	BE3 - A2 = 334,26 g	BE3 - A2 = 134,01 g
P3 - A3 = 679,17 g	BI3 - A3 = 480,87 g	BE3 - A3 = 171,79 g
P3 - A4 = 439,66 g	BI3 - A4 = 223,35 g	BE3 - A4 = S/A
P4 - A1 = 373,3 g	BI4 - A1 = 91,25 g	BE4 - A1 = 330,88 g
P4 - A2 = 630,75 g	BI4 - A2 = 699,93 g	BE4 - A2 = 152,5 g
P4 - A3 = 426,45 g	BI4 - A3 = 494,5 g	BE4 - A3 = 48,35 g
P4 - A4 = 549,51 g	BI4 - A4 = 641,37 g	BE4 - A4 = S/A
P5 - A1 = 593,86 g	BI5 - A1 = 125,68 g	BE5 - A1 = 214,25 g
P5 - A2 = 518,08 g	BI5 - A2 = 487,85 g	BE5 - A2 = 11,96 g
P5 - A3 = 457,85 g	BI5 - A3 = 609,4 g	BE5 - A3 = 170,71 g
P5 - A4 = 463,2 g	BI5 - A4 = 371,91 g	BE5 - A4 = 31,39 g
P6 - A1 = 296,83 g	BI6 - A1 = 547,91 g	BE6 - A1 = 301,81 g
P6 - A2 = 236,83 g	BI6 - A2 = 284,66 g	BE6 - A2 = 42 g
P6 - A3 = 366,77 g	BI6 - A3 = 726,99 g	BE6 - A3 = 883,1 g
P6 - A4 = 335,67 g	BI6 - A4 = 837,77 g	BE6 - A4 = 5,07 g

Anexo 5. Riqueza total de cada situación estudiada en el Páramo de Mucubají, Parque Nacional Sierra Nevada, Venezuela.

Situación	Riqueza total	Situación	Riqueza total
Plantación 1	4	Bor int 1	9
Plantación 2	4	Bor int 2	5
Plantación 3	2	Bor int 3	8
Plantación 4	2	Bor int 4	4
Plantación 5	8	Bor int 5	6
Plantación 6	3	Bor int 6	4

Situación	Riqueza total	Situación	Riqueza total
Bor ext 1	13	Páramo 1	22
Bor ext 2	16	Páramo 2	14
Bor ext 3	13	Páramo 3	17
Bor ext 4	14	Páramo 4	10
Bor ext 5	14	Páramo 5	11
Bor ext 6	12	Páramo 6	10

Anexo 6. Riqueza promedio de cada situación estudiada en el Páramo de Mucubají, Parque Nacional Sierra Nevada, Venezuela.

Situación	Promedio	Mediana	Desviación
Plantación	3,8	3,5	2,2
Bor Int	6	5,5	8
Bor Ext	13,7	13,5	1,4
Páramo	14	12,5	4,8

Anexo 7. Índices de diversidad de Shannon, Simpson, con sus promedios y desviación estándar, para cada una de las situaciones de muestreo, Páramo de Mucubají, Estado Mérida, Venezuela.

Plantación

Situación	H'(log10)	Lambda	1-Lambda
P1	0,4894	0,3750	0,6250
P2	0,4868	0,3884	0,6116
P3	0,1957	0,7222	0,2778
P4	0,1957	0,7222	0,2778
P5	0,7398	0,2550	0,7450
P6	0,4191	0,4074	0,5926
Promedio	0,4211	0,4784	0,5216
Desviación	0,2060	0,1963	0,1963

Borde interno.

Situación	H'(log10)	Lambda	1-Lambda
Bor Int 1	0,7197	0,2833	0,7167
Bor Int 2	0,5488	0,3609	0,6391
Bor Int 3	0,7632	0,2068	0,7932
Bor Int 4	0,5682	0,2870	0,7130
Bor Int 5	0,7309	0,1938	0,8062
Bor Int 6	0,4291	0,4844	0,5156
Promedio	0,6267	0,3027	0,6973
Desviación	0,1316	0,1078	0,1078

Borde externo

Situación	H'(log10)	Lambda	1-Lambda
Bor ext 1	0,8179	0,2131	0,7869
Bor ext 2	1,0077	0,1231	0,8769
Bor ext 3	0,9075	0,1756	0,8244
Bor ext 4	0,7985	0,2316	0,7684

Bor ext 5	0,9656	0,1449	0,8551
Bor ext 6	0,8473	0,1989	0,8011
Promedio	0,8907	0,1812	0,8188
Desviación	0,0840	0,0414	0,0414
Control			
Situación	H'(log10)	Lambda	1-Lambda
Control 1	0,9871	0,1514	0,8486
Control 2	0,9386	0,1483	0,8517
Control 3	0,9817	0,1435	0,8565
Control 4	0,8068	0,2089	0,7911
Control 5	0,7479	0,2346	0,7654
Control 6	0,8777	0,1586	0,8414
Promedio	0,8900	0,1742	0,8258
Desviación	0,0974	0,0380	0,0380

Anexo 8. Nombre científico, abreviatura, forma de vida y porcentaje de cobertura de cada una de las especies presentes en cada situación (plantación=P, borde interno= Bi, borde externo= Be y control=C).

Nombre científico	Abreviatura	F.V.	% Cobertura por situación			
			P	BI	BE	C
<i>Acaena cylindristachya</i> Ruiz & Pav.	(Aca cyl)	Hierba		0,3	7,7	10,3
<i>Acaena elongata</i> L.	(Aca elo)	Arbusto		2		
<i>Aciachne acicularis</i> Laegaard	(Aci aci)	Cojín			3,2	5,2
<i>Agrostis tolucensis</i> Kunth	(Agr tol)	Graminoide				0,2
<i>Agrostis trichodes</i> (Kunth) Roem. & Schult	(Ago tri)	Graminoide				0,2
<i>Arenaria jahnni</i> S.F. Blake	(Are jah)	Cojín			0,2	
<i>Arenaria musciformis</i> Triana & Planch.	(Are mus)	Cojín			0,2	1,2
<i>Azorella juliani</i> Mathias & Constance	(Azo jul)	Cojín			0,2	1,3
<i>Baccharis prunifolia</i> Kunth	(Bac pru)	Arbusto			1,3	
<i>Baccharis tricuneata</i> (L.f.) Pers.	(Bac tri)	Arbusto				0,3
<i>Bartsia laniflora</i> Benth.	(Bar lan)	Hierba				0,3
<i>Berberis discolor</i> Turcz.	(Ber dis)	Árbol		0,2		
<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	(Bid tri)	Hierba	0,2			0,2
<i>Bromus carinatus</i> Hook. & Arn.	(Bro car)	Graminoide		0,7		0,2
<i>Calamagrostis</i> sp	(Cal sp)	Graminoide		3	14,2	
<i>Carex amicta</i> Boott	(Car ami)	Graminoide			2	4,5
<i>Carex humboldtiana</i> Steud.	(Car hum)	Graminoide			0,5	1
<i>Cortaderia nitida</i> (Kunth) Pilg.	(Cor nit)	Graminoide			1,2	
<i>Draba empetroides</i> M. Brandt, Gilg & O.E. Schulz	(Dra emp)	Hierba			0,3	

<i>Espeletia schultzi</i> Wedd.	(Esp sch)	Roseta caulescente			16,2	33,8
<i>Festuca mexicana</i> Roem. & Schult.	(Fes mex)	Graminoide			0,3	
<i>Galium hypocarpium</i> (L.) Endl. ex Griseb.	(Gal hyp)	Hierba	1,2	1,3	0,3	1,2
<i>Gaultheria myrsinoides</i> Kunth	(Gau myr)	Arbusto			9,5	5,5
<i>Geranium chamaensis</i> Pittier	(Ger cha)	Hierba			2	
<i>Geranium multiceps</i> Turcz.	(Ger mul)	Hierba	0,5	0,3	3,3	14,3
<i>Gnaphalium dominguensis</i> Lam.	(Gna dom)	Hierba				0,8
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> (DC.) Lindl.	(Hes obt)	Arbusto	0,2	1,3	1,2	
<i>Hieranium</i> sp	(Hie sp)	Hierba				0,3
<i>Hinterubera columbica</i>	(Hin col)	Subfrútice			1	2,2
<i>Hypericum laricifolium</i> Juss.	(Hyp lar)	Abusto		0,2	6,7	11,2
<i>Hypochaeris setosa</i> Formánek	(Hyp set)	Roseta acaulescente				0,3
<i>Lachemilla hirta</i> (L.M.Perry) Rothm.	(Lac hir)	Hierba	1,5	1,2		
<i>Lachemilla moritziana</i> Dammer	(Lac mor)	Hierba			0,2	0,3
<i>Lachemilla verticillata</i> (Fielding & Gardner) Rothm.	(Lac ver)	Hierba			1	
<i>Lycopodium</i> sp	(Lic sp)	Briófito	0,2			
<i>Luzula racemosa</i> Desv.	(Luz rac)	Graminoide			0,3	
<i>Oenothera epilobiifolia</i> Kunth	(Oen epi)	Hierba			0,2	0,7
<i>Ortachne erectifolia</i> (Swallen) Clayton	(Ort ere)	Graminoide		0,2	16,7	22
<i>Orthrosanthus chimboracensis</i> (Kunth) Baker	(Ort chi)	Subfrútice	0,7	0,2		
<i>Oxalis spiralis</i> Ruiz & Pav. ex G. Don	(Oxa spi)	Hierba	3	5,7	1,2	
<i>Oxylobus glanduliferus</i> (Sch.Bip. ex Benth. & Hook.f.) A. Gray	(Oxy gla)	Subfrútice		0,7		
<i>Paepalanthus</i> sp	(Pae sp)	Cojín			0,3	1
<i>Pentacalia andicola</i> (Turcz.) Cuatrec.	(Pen and)	Arbusto		1,2		
<i>Pentacalia pachypus</i> (Greenm.) Cuatrec.	(Pen pac)	Arbusto		2,8		
<i>Peperomia vareschii</i> Yunck.	(Pep var)	Hierba	2,2	1,3	0,2	
<i>Poa annual</i> L.	(Poa ann)	Graminoide			0,5	
<i>Poa petrosa</i> Swallen	(Poa pet)	Graminoide			0,7	1
<i>Polypodium</i> sp	(Pol sp)	Briófito	0,2	0,2		
<i>Rumex acetosella</i> L.	(Rum ace)	Hierba	0,2	0,3	2	5
<i>Senecio formosus</i> Kunth	(Sen for)	Subfrútice	0,3	2,2	3,7	0,3
<i>Sisyrinchium tinctorium</i> Kunth	(Sis tin)	Subfrútice			0,2	0,3
<i>Solanum tuberosum</i> L.	(Sol tub)	Hierba	0,5			
<i>Stachys venezuelana</i> Briq.	(Sta ven)	Hierba			0,5	0,2
<i>Trifolium</i> sp	(Tri sp)	Hierba			0,7	
<i>Trisetum irazuense</i> (Kuntze) Hitchc.	(Tri ira)	Graminoide		1,3	0,2	2,3

Se revisaron los nombre, los epitetos específicos en:

<http://www.theplantlist.org>