

Modelación de la distribución potencial de tres especies de *Puya* como insumo para la planificación de su conservación en alta montaña del Distrito Capital

Navas De Los Reyes Jenny Catalina

**Universidad El Bosque
Facultad de ingeniería**

Ingeniería Ambiental

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Bogotá D.C.

Noviembre de 2016

Universidad El Bosque

Facultad de ingeniería

Ingeniería Ambiental

Modelación de la distribución potencial de tres especies de *Puya* como insumo para la planificación de su conservación en alta montaña del Distrito Capital

Director de proyecto: Contreras Hernández Gustavo Andrés

“La Universidad El Bosque, no se responsabiliza de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”

Agradecimientos

Primero que todo agradezco a la vida por esta gran oportunidad de aprendizaje, a mi familia por ser mi apoyo incondicional y por sobre todo a mi madre, quien a pesar de las dificultades estuvo siempre apoyándome.

Al profesor Gustavo Andrés Contreras por su colaboración, a mis amigos y compañeros, además de la facultad de Ingeniería Ambiental y demás profesores que apoyan el proceso de formación. Y al Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, y a los funcionarios que con su paciencia y apoyo ayudaron a hacer realidad este proyecto.

Este trabajo está dedicado a la vida, a mi familia a mi madre, y a aquellos que, como yo, creen en un mundo mejor.

Jenny Catalina Navas De Los Reyes

Tabla de contenido

Resumen	7
Introducción	8
Justificación	10
Antecedentes	11
Objetivos	13
<i>Objetivo General</i>	13
<i>Objetivos Específicos</i>	13
Marco Conceptual	14
<i>Del nicho ecológico, modelación y los modelos de distribución de especies</i>	14
<i>Ecosistemas de alta montaña</i>	22
<i>Estado de los ecosistemas de alta montaña</i>	25
<i>Generalidades del género Puya</i>	25
<i>Puya goudotiana</i>	29
<i>Puya santosii</i>	30
<i>Puya nitida</i>	31
Marco contextual	32
<i>Aspectos generales</i>	32
<i>Estructura Ecológica principal</i>	34
<i>Sistemas de Áreas Protegidas del Distrito Capital</i>	36
<i>Coberturas vegetales del Distrito Capital</i>	40
<i>Páramos</i>	40
<i>Bosques</i>	40
<i>Flora del Distrito Capital</i>	41
Marco normativo	42
Marco Metodológico	47
<i>Especies e información ambiental</i>	47
<i>Selección de especies</i>	47
<i>Datos de solo-presencia de especies</i>	50
<i>Capas ambientales</i>	50
<i>Modelación</i>	50
<i>Amenazas y oportunidades para la conservación de la alta montaña del Distrito Capital</i>	52
Aplicación de la metodología	53

Resultados y análisis de resultados	54
<i>Mapas de distribución potencial</i>	54
<i>Puya Goudotiana</i>	54
<i>Puya Santosii</i>	55
<i>Puya Nitida</i>	55
<i>Amenazas y oportunidades para la conservación de la alta montaña del Distrito Capital</i>	59
<i>Amenazas a la conservación para la alta montaña del Distrito Capital</i>	59
<i>Oportunidades de conservación de la alta montaña del Distrito Capital</i>	67
Conclusiones	70
Recomendaciones	72
Bibliografía	73
Anexos	85
Anexo 1. Área de Distribución Potencial para la Recolección de Germoplasma. Cordillera Oriental.	
Anexo 2. Área de Distribución Potencial para la Recolección de Germoplasma. Distrito Capital.	
Anexo 3. Ecosistemas en el área de distribución potencial, Cordillera Oriental.	
Anexo 4. Ecosistemas en el área de distribución potencial, Distrito Capital.	
Anexo 3. Ecosistemas en el área de distribución potencial, Cordillera Oriental	
Anexo 4. Ecosistemas en el área de distribución potencial, Distrito Capital.	
Anexo 5. Mapa de conflictos de uso del suelo. Distrito Capital.	
Anexo 6. Conflictos de uso del suelo en las áreas de distribución potencial de las especies <i>Puya goudotiana</i> ,	
Anexo 7. Conflictos de uso del suelo relacionados con bosque secundario o áreas con predominio de vegetación secundaria en las áreas de distribución potencial de las especies	
Anexo 8. Áreas de distribución potencial de las especies <i>Puya goudotiana</i> , <i>Puya santosii</i> y <i>Puya nitida</i> sin conflictos de uso del suelo.	

Resumen

Los modelos de distribución potencial suponen un insumo importante para la planeación de la conservación ya que permiten visualizar de forma geográfica dicha distribución. Usando el software Maxent se realizaron los modelos, de distribución potencial actual para las tres especies de *Puya*: *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida*, a partir de los registros de ocurrencia y las variables ambientales definidas por Bioclim, como insumo para identificar las posibles las amenazas antrópicas sobre la distribución de las poblaciones en el área de estudio e identificar las oportunidades de conservación teniendo en cuenta el actual Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), con el fin último de generar información que permita tomar decisiones de manejo y conservación para poblaciones de *Puya* priorizadas

Se concluyó que las especies de *Puya* evaluadas, son especies de distribución restringida y endémicas de la Cordillera Oriental, generalmente en ecosistemas de páramos húmedos y secos; las principales amenazas antrópicas sobre las mismas son los agroecosistemas ganaderos y las áreas agrícolas heterogéneas. Así mismo, de las 22455.9 ha de áreas de distribución potencial de las especies que no poseen conflictos de uso del suelo, 5281,1 ha que se encuentran fuera de áreas protegidas por el POT (25%), 776,4 ha de complejos de páramos (3,7%) y 16398,4 del Sistema Nacional de Parques Nacionales Naturales, son áreas con potencial de ser anexadas al Sistema de Áreas Protegidas. En términos de restauración se consideraron los bosques secundarios o áreas con predominio de vegetación secundaria, como áreas con potencial para la recuperación del nicho. Las zonas fuera de dichas áreas también cumplen dicho fin, pero son más vulnerables a actividades antrópicas, por lo que después de un proceso de restauración podrían ser anexadas al Sistema de Reservas Forestales Protectoras.

Palabras clave: Modelos de distribución, Bioclim, Maxent, Planificación para conservación

Introducción

El concepto de nicho ha tenido múltiples aproximaciones, las más destacadas son las propuestas por Grinnell, Elton y Hutchinson; Pero es Hutchinson (1959) quien con la publicación del artículo: *Homage to Santa Rosalia or Why Are There So Many Kinds of Animals?*, revoluciona el concepto de nicho y genera un interés en el desarrollo de este, a partir del cual se incrementó el número de publicaciones dirigidas a este tema (ver Imagen 1.) y el interés de científicos, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales dedicadas a la conservación y planificación de saber con certeza el área geográfica ocupada por una especie. Como respuesta a este interrogante con el tiempo se desarrollaron metodologías de modelación del nicho ecológico que permiten representar o describir de forma gráfica, conceptual o matemática el ecosistema y los procesos que ocurren en el mismo, es decir modelar el nicho ecológico, metodología que ha dado resultados para inferir áreas de distribución potencial y patrones biogeográficos, tales como los gradientes de riqueza, el endemismo y la disyunción en las poblaciones (Illoldi & Escalante, 2008), establecer la distribución actual de las especies raras y en peligro de extinción (Stockwell & Peters, 1999), además permite evaluar el efecto del cambio climático y la deforestación sobre la biodiversidad (Illoldi & Escalante, 2008); información relevante para la toma de decisiones de intervención y en la selección de prioridades de conservación en términos geográficos (Graham, Ferrier, Huettman, Moritz, & Peterson, 2004).

Para el uso efectivo de las áreas de distribución potencial obtenidas a partir de la modelación es importante visualizar la información de forma clara, por lo que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta importante en el proceso y es uno de los aspectos que caracteriza el proyecto, el cual integra sistemas de modelación de nicho con SIG, en este caso Maxent y ArcGIS, para establecer y proyectar los modelos de distribución potencial actual para las tres especies de *Puya*: *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida*, en ecosistemas de alta montaña del Distrito Capital, a partir de los registros de ocurrencia y las variables ambientales definidas por Bioclim, como insumo para identificar las oportunidades de conservación de poblaciones de estas *Puyas*, teniendo en cuenta el actual Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), y analizar las posibles amenazas antrópicas sobre la distribución de las poblaciones en el área de estudio; con el fin último de generar información que permita tomar decisiones de manejo y conservación para poblaciones de *Puya* priorizadas.

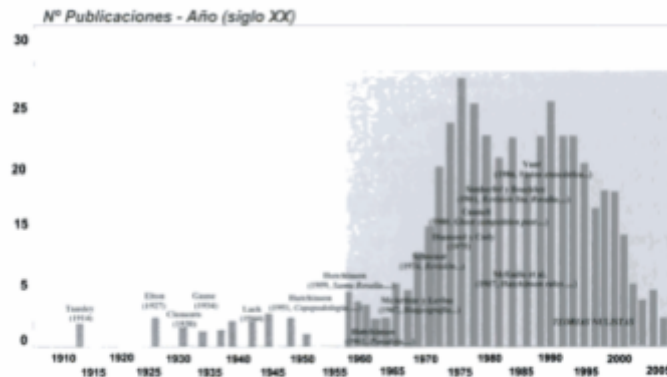


Imagen 1. Aportes al concepto de nicho. Granado Lorenzo, Avances en ecología: hacia un mejor conocimiento de la naturaleza, 2007.

El género *Puya* se asocia a ecosistemas de alta montaña entre ellos los páramos, estos ecosistemas tienen gran capacidad de fijar el carbono atmosférico y contribuir al control del cambio climático, pero

la que más resalta es su capacidad de retener y almacenar agua (Laverde Martínez, 2008) característica que posibilita la acumulación de nutrientes orgánicos y la fijación de nitrógeno; se sabe que las puyas participan de esta retención al poseer receptáculos de agua (llamados fitotelmas), cuya capacidad puede ascender a varios litros por planta, al tiempo que permiten la formación de pequeños ecosistemas acuáticos en los que viven bacterias, insectos, arañas, crustáceos y ranas, entre otros organismos (Grau, Gómez Romero, & Aráoz, 2010). Pero la degradación de los sistemas de páramo por la introducción de la ganadería, la agricultura y la creciente actividad minera (Laverde Martínez, 2008), pone en situación vulnerable a las especies florísticas endémicas de esta zona, en especial al género *Puya*, y por lo tanto su equilibrio y la perpetuidad de los servicios ecosistémicos que prestan.

Según la FAO (2008), para 2055 del 16 al 22% de las especies silvestres correrá peligro de extinción, efecto que aumentará el valor de la biodiversidad para la alimentación, la agricultura y el sostenimiento de los ecosistemas, ya que las especies son piezas básicas de los ecosistemas, son responsables de los flujos de materia y energía que configuran la vida en nuestro planeta generando los servicios ambientales básicos de los que dependemos (Tellería, 2013), por lo que cuando se pierde algún elemento de la biodiversidad los ecosistemas pierden su capacidad de recuperación y los servicios que presta se ven amenazados (Andrade, 2011). Colombia como país tropical es particularmente vulnerable al fenómeno de pérdida de biodiversidad ya que es uno de los 12 países más ricos en biodiversidad a nivel mundial, alberga el 70% de la biodiversidad (Romero, Cabrera, & Ortiz, 2008), adicionalmente el 99% de los páramos del mundo se encuentra en la Cordillera de los Andes y en la Sierra Nevada de Santa Marta (Greenpeace, 2013).

Hay una gran problemática de conservación, en el año 2000 se presentó una disminución neta de 1'495.000 ha de ecosistemas naturales, luego en el 2005 se registró una pérdida adicional de cerca de 294.873 ha, bajando la representación de las coberturas naturales a un poco más del 38%, lo que equivale a un pérdida neta del 13,68% del total de ecosistemas naturales en el periodo entre 2000 y 2005, pero las tendencias actuales no difieren, el crecimiento poblacional en los Andes colombianos ha sido alto principalmente en las áreas urbanas de Bogotá, Cali y Medellín (Romero, Cabrera, & Ortiz, 2008), efecto que contribuye a la pérdida de los ecosistemas naturales. Por ende es necesario definir medidas de protección, a partir de la modelación de su distribución potencial, que garanticen la eficiencia y eficacia de los esfuerzos de conservación e investigación para la protección de la biodiversidad, en este caso de la *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida*, endémicas de Colombia (Betancur, 2016), y definir objetivos claros de conservación in situ sobre los ecosistemas de alta montaña del Distrito Capital.

Justificación

Las especies *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida*, son endémicas de Colombia (Betancur, J. 2016a), pero aunque existen registros georeferenciados de estas especies tanto en el Sistema de Información Sobre Biodiversidad de Colombia (SiB) como en The Global Biodiversity Information Facility (GBIF), el Programa de Evaluación y Monitoreo de la Biodiversidad (BioModelos) del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia solo han desarrollado modelos de distribución para la *Puya goudotiana*, echo que genera un vacío de información respecto a estas especies por lo tanto no hay fundamentos teóricos para desarrollar iniciativas de conservación de esta especie necesaria para el equilibrio ecológico de los ecosistemas de alta montaña.

Generar los modelos de distribución potencial de estas especies permitirá planificar y evaluar los esfuerzos y estrategias de conservación actuales, identificar las oportunidades de conservación, como la creación de corredores ecológicos o áreas protegidas, y las amenazas antrópicas sobre la distribución de las especies; para la planeación de inversión de recursos en aquellos aspectos que tienen mayor vulnerabilidad y la definición de planes de mitigación del riesgo (Oviedo Torres, 2010); al tiempo que permitirá apoyar investigaciones científicas y a futuro constituye una primera herramienta para modelar la distribución de esta especie en escenarios de cambio climático. Información que beneficia a Organizaciones gubernamentales y no gubernamentales dedicadas a la conservación y protección de los ecosistemas de alta montaña, planificadores y tomadores de decisiones, además de científicos e investigadores; entre ellos el Banco de semillas del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, cuyo principal objetivo se centra en generar conocimiento para la conservación, el manejo y la gestión apropiada de la diversidad florística en la región capital (Jardín Botánico de Bogotá, 2016), por lo que conocer la distribución potencial de estas especies suministrará información que ayudaría a definir estrategias para planear y reforzar los procedimientos de recolección de germoplasma vegetal para fines específicos, al tiempo que permitirá incrementar la diversidad genética de las colecciones (Espitia R., Escobedo L., Mapes S., & Núñez C., 2010), para cumplir con los objetivos de conservación de la institución.

La metodología aplicada integra herramientas y metodologías ampliamente usadas (Maxent, Bioclim y ArgGIS), con el objetivo de obtener mejores resultados para tomar decisiones fundamentadas en información geográfica, la cual permite visualizar de forma clara la información y por ende facilita el análisis de la misma (Stockwell & Peters, 1999), para así optimizar el manejo de las especies y las áreas a conservar, definir los límites de las estrategias de conservación, seleccionar áreas de protección de manera óptima y desarrollar estrategias a largo, mediano y corto plazo (Draper, Rossello -Graell, Garcia, Tauleigne Gomes, & Sérgio, 2003). Por lo tanto se constituye en una herramienta de conservación a nivel biogeográfico, evolutivo, de conservación y ecológico (Villordon, et al, 2006), que se puede abordar desde el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, como orientador para la formulación e implementación de políticas nacionales, regionales y locales frente a la conservación de la biodiversidad, la ordenación del territorio, la gestión de áreas protegidas, y los modelos de desarrollo (IDEAM, 2011).

Como resultado se obtuvo información geográfica, modelos y su respectivo análisis, que sirve de apoyo a la toma de decisiones en el manejo y conservación para poblaciones de dichas especies, en ecosistemas de alta montaña del Distrito Capital.

Antecedentes

El uso de algoritmos específicos (máxima entropía, algoritmos genéticos) para determinar la distribución geográfica de las especies ha tomado fuerza en los últimos años, destaca el software Maxent, el cual usa un algoritmo de máxima entropía, para lograr resultados robustos en términos de la proyección espacial de la distribución (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Son Elith, Phillips, Hastie, Dudík, Yung, & Yates (2011) y, Phillips, Anderson, y Schapire, (2006) quienes siembran las bases conceptuales en el uso de este software para predecir la distribución potencial de una especie.

Elith, et al (2011) describen Maxent desde el punto de vista estadístico, buscando establecer vínculos explícitos entre la estructura del modelo, las decisiones necesarias en la producción de un modelo de distribución, y el conocimiento de las especies y los datos que puedan afectar a dichas decisiones; usando el estudio de caso para las especies de *Banksia*, nativas del sur este de Australia. Demostraron que el modelo minimiza la entropía relativa entre dos densidades de probabilidad, una estimada a partir de los datos de solo presencia y la otra a partir del terreno, ambas en un espacio covariable. Por otro lado, Phillips, et al (2006) compararon las predicciones de Maxent con las del algoritmo genético para la Predicción de Conjuntos de Reglas Geográficas (Genetic Algorithm for Rule Set Production (GARP)) usando datos de solo presencia de dos mamíferos neotropicales: *Bradypus variegatus* y *Microryzomys minutus*. Encontraron que ambos algoritmos proporcionan estimaciones razonables de distribución de la especie, pero Maxent tiene una mejor discriminación frente a zonas no aptas para la especie, además el enfoque de modelado Maxent puede ser utilizado en su forma actual para muchas aplicaciones con bases de datos de presencia solamente, y por lo tanto merece mayor investigación y desarrollo.

Las aplicaciones de la modelación de la distribución geográfica de las especies, han sido diversas a través del corto tiempo que lleva este método, pero Llorente, Papavero, & Bueno (2001) dividen estas investigaciones aplicadas en tres ramas, de acuerdo a la pregunta que se busca responder en el momento histórico del desarrollo de la investigación. El primero se centra en comprender la distribución de especies de importancia comercial, como la investigación desarrollada por Yi, Cheng, Yang, & Zhang (2016), en su artículo Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. riparia* Lour) in Yunnan, China, que tuvo como objetivo entender los requerimientos de la especie *H. riparia* Lour) nativa de Yunnan, China, de gran importancia medicinal y comercial, para evaluar la calidad de su hábitat y predecir su potencial hábitat. Usando el software Maxent y teniendo en cuenta una variable posicional, 3 topográficas y 8 bioclimáticas, cuantificaron la sostenibilidad del hábitat para los 3 periodos históricos (1950–1959, 1975–1985 y 2000–2009) y 2 escenarios futuros de cambio climático (RCP2.6 y RCP8.5 de la IPCC), determinando que la idoneidad del hábitat de *H. riparia* Lour en la provincia de Yunnan se prevé que mejorará con el calentamiento global.

El segundo momento busca prevenir invasiones de plagas o especies exóticas, un ejemplo de este caso es la investigación llevada a cabo por Pêknicová & Berchová-Bímová (2016), quienes realizaron una evaluación de los modelos de distribución de especies construidos, usando diferentes aproximaciones estadísticas y variables ambientales a escala local para tres especies invasoras (*Fallopia* spp., *Solidago* spp. y *Heracleum mantegazzianum*), con alta probabilidad de invadir la zona protegida Kokořín (República Checa). Esta investigación arrojó que los modelos de distribución de especies, son una herramienta para la detección oportuna de especies invasoras a escala local, ya que permite una orientación sobre la mejor forma de llevar a cabo monitoreo de las especies invasoras, lo cual permitirá

reaccionar con rapidez y eficacia en la prevención de la propagación; que se relaciona con el tercer y último momento, el cual tiene un punto de vista ecológico y de conservación que busca la planificación para conservación basada en estos modelos de distribución potencial, usando los modelos para la identificación espacial de las áreas a proteger y evaluar los vacíos de los esfuerzos de protección y conservación existentes a nivel espacial (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011)

Por ejemplo la investigación llevada a cabo por Fivaz & Gonseth (2014), quienes en su artículo: Using species distribution models for IUCN Red Lists of threatened species, aplican un método de estimación del grado de ocurrencia y el área de ocupación para modelar los datos de presencia contra variables topográficas y climáticas, además de datos históricos (por ejemplo, de las colecciones del museo) y la comparación directa de las distribuciones históricas y recientes de seis especies de mariposas. Los resultados mostraron la posibilidad de utilizar los modelos de distribución de especies para definir el estado de las Listas Rojas de acuerdo con las directrices de la International Union for Conservation of Nature (UICN), y muestra que los resultados son consistentes con anteriores evaluaciones. Ambas investigaciones muestran la viabilidad de usar los modelos de distribución en la planificación para la conservación.

A nivel nacional se han desarrollado investigaciones de carácter institucional como los llevados a cabo por el Laboratorio de Biogeografía Aplicada y Bioestadística (LBAB) del Instituto Alexander von Humboldt y el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. El Laboratorio de Biogeografía Aplicada y Bioestadística (LBAB) del Instituto Alexander von Humboldt (2013), en su aplicativo web de Biomodelos han desarrollado modelos de distribución para un total de 5.786 especies, de las cuales 3.571 son plantas, 102 reptiles, 116 anfibios, 1.613 aves, 106 invertebrados, 172 mamíferos y 106 peces. Para la modelación se ha usado Maxent con datos de distribución obtenidos de GBIF, SiB Colombia y registros Únicos, los datos ambientales fueron tomados de WorldClim, incluyendo así las 19 variables ambientales de Bioclim.

De igual forma, el Jardín Botánico José Celestino Mutis, ha desarrollado el análisis de los patrones de distribución geográfica de especies de interés para la conservación en escenarios de cambio climático, con el objetivo de modelar los cambios en los patrones de distribución de especies vegetales prioritarias de la alta montaña del Distrito Capital en dichos escenarios y así priorizar el estudio de especies vulnerables según criterios de Importancia ecológica (estructura de la vegetación, especies sombrillas, estado de amenaza o endemismo), disponibilidad de registros y pertinencia para el área de trabajo (Bogotá D.C.). Se modelaron las especies: *Polylepis incana* Kunth, *Polylepis quadrijuga* Bitter y *Polylepis sericea* del género *Polylepis* de la familia *Rosaceae*; para la modelación se usaron los registros geográficos de especies y las capas geográficas las 19 variables ambientales de Bioclim, además del aspecto, curvatura, pendiente y altitud, para un total de 23 variables geográficas y ambientales. Para el análisis de los efectos del cambio climático en la distribución potencial de las especies se analizaron dos escenarios de cambio climático (RCP 2.6 y 8.5 de la IPCC) para 2030 y 2050 (Gutiérrez Fajardo, 2016).

Objetivos

Objetivo General

Generar la información que permita tomar decisiones de manejo y conservación para poblaciones de *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida* en ecosistemas de alta montaña del Distrito Capital, a partir de la modelación de su distribución potencial.

Objetivos Específicos

- Establecer y proyectar los modelos de distribución potencial actual para las tres especies de *Puya* priorizadas a partir de los registros de ocurrencia y las variables ambientales definidas por Bioclim.
- Identificar las oportunidades de conservación para poblaciones de *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida* en ecosistemas de alta montaña del Distrito Capital, a partir de los modelos de distribución potencial, teniendo en cuenta el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, SINAP.
- Analizar las posibles amenazas antrópicas sobre la distribución de las poblaciones de *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida* en ecosistemas de alta montaña del Distrito Capital.

Marco Conceptual

Del nicho ecológico, modelación y los modelos de distribución de especies

El concepto de nicho ecológico es un aspecto central de la ecología moderna, que ha sido ampliamente discutido. Se integra de dos componentes, el primero describe el requerimiento de organismos por parte del ambiente y el otro describe el impacto percapita de los organismos sobre el ambiente; estos dos componentes dividen la teoría entre el “hábitat” y la “función”, aspectos importantes para establecer la relación entre los diferentes individuos; que corresponden a los conceptos acuñados por Grinnell (1924) y Elton (1927), respectivamente (Leibold, 1995).

Grinnell (1924) define el nicho como *“la unidad de distribución final, dentro de la cual cada especie está en manos de sus limitaciones estructurales e instintivas”*, es decir que cada especie tiene su propia fisiológica, morfológica, y perfil de comportamiento, que lo condiciona a ocupar espacios particulares en la naturaleza, este *“...nicho ambiental o ecológico... es ocupado por solo una especie... si surge un nuevo nicho ecológico o si un nicho está desocupado, la naturaleza se apresura a suministrar un ocupante...”*, esto quiere decir que el nicho es una propiedad del ambiente y no de su ocupante, por lo que en algunos casos su definición se considera más similar a la de “hábitat”. Adicionalmente, Grinnell considera el rol de las interacciones, plantea el hecho de que no hay dos especies que puedan ocupar el mismo territorio por mucho tiempo de forma idéntica el mismo nicho ecológico. Cuando un individuo se introduce en el territorio de una especie endémica, bien se sabe que ocurrirá el desplazamiento competitivo de una de las especies, logrando el *“perfecto equilibrio”* que es inconcebible. Grinnell, incluyó los llamados factores limitantes, que se traducen en los micro-hábitats, los factores abióticos, recursos y predadores, y resaltó la combinación de las adaptaciones fisiológicas y comportamentales que permiten a los individuos responder a dichos factores (Leibold, 1995).

Por otro lado, Elton (1927) define el 'nicho' como *“...el estatus de un animal en su comunidad, para indicar que hace y no sólo lo que parece...”*, que se traduce en que el nicho es una propiedad de la comunidad biótica, es decir el lugar de dicho individuo en el medio biótico, su relación con la comida y enemigos. El concepto de nicho, según Elton, describe el efecto que las especies tienen en el entorno, incluyendo aspectos abióticos, esto es el rol que desempeña el individuo en la comunidad, iniciando en su nivel trófico, en consecuencia consume recursos y sirve como recurso para otros niveles tróficos. Pero no se restringe a una sola especie ya que *“...podemos tomar como un nicho a todos los carnívoros que se alimentan de pequeños mamíferos, y distinguirlos de aquellos que se aprovechan de los insectos...”* (Elton, 1927). Este concepto construido por Elton es una de las formas más aceptadas hoy día para identificar los aspectos del ecosistema que se ven más vulnerables, permitiéndonos ver como diferentes comunidades pueden parecerse entre ellas a nivel organizativo y por ende permite a diferentes especies vivir en diferentes ambientes (Leibold, 1995).

Integrando los conceptos de Grinnell y Elton, Udvardy (1959) define el nicho ecológico como *“una entidad funcional en la comunidad biótica,.. la cual se puede estudiar de manera comparativa”*, esta geográficamente separada pero relacionada estructuralmente con biotopos y comunidades bióticas similares. Cuando éstos están ocupados, los individuos por lo general muestran adaptaciones funcionales que con el tiempo pueden ser similares como resultado de la evolución paralela o convergente, puesto que los nichos, como Grinnell señala, están sujetos a la evolución y, a su vez, dirige factores de evolución de sus ocupantes.

La teoría moderna de nicho se basa en la definición dada por Hutchinson (1944- 1957), el cual define nicho como “... *la suma de todos los factores ambientales que actúan en un organismo; el nicho así define una región de un hiperespacio n- dimensional.*” Este espacio n- dimensional se traduce en las condiciones en las cuales las especies pueden existir y está determinado por las variables bióticas y físicas del ambiente. Hutchinson construye una visión cuantitativa del concepto, en donde la estructura del nicho es determinada por el desempeño de la especie y medida en términos del grado de *fitness* (Hutchinson, 1957) o las propiedades de la especie que le asegura su mantenimiento bajo condiciones ambientales estables (Granado Lorenzo, 2000), esta visión permite análisis teóricos explícitos y predicciones, además del entendimiento de los patrones de diversidad de las especies (Chase & Leibold, 2003) Posteriormente, el concepto pasó de “*hiperespacio n-dimensional*” a “*hipervolumen n-dimensional*”, donde existe una dimensión temporal (Hutchinson, 1959). Adicionalmente, considera la morfología y la biología de las diversas especies como dimensiones del nicho.

Así mismo, Hutchinson, divide el nicho el nicho fundamental (o potencial) y efectivo (o real); el nicho fundamental incluye todos los aspectos del hipervolumen n- dimensional en ausencia de otras especies es decir en ausencia de competidores donde una comunidad puede vivir con éxito (Camargo Camargo & Cruz Reyes, 2001), mantener una población viable y persistir a lo largo del tiempo, sin inmigración (Sillero, Barbosa, Martínez-Freiría, & Real, 2010); y el nicho efectivo es la parte del nicho fundamental en el cual las especies se ven restringidas debido a las interacciones interespecíficas esto implica que algunas especies estén sujetas a relacionarse con competidores (Camargo Camargo & Cruz Reyes, 2001).

El concepto de nicho tiene la habilidad de sintetizar los principios básicos de la ecología desde los diferentes niveles de organización de la misma (Individuos, poblaciones, comunidades y ecosistemas), donde el impacto total de una especie en el entorno depende de una compleja interacción el nicho fundamental y el nicho efectivo, junto con las características del ambiente o los ya mencionados factores limitantes (Leibold, 1995). Por esta razón en los últimos años, ha ido en aumento el número de científicos interesados en estimar el área de distribución mediante la modelación del nicho ecológico. Illoldi, Rangel & Escalante (2008) aclaran que tiene aplicaciones en la biogeografía permitiendo, entre otras cosas, cuantificar el nicho ecológico de una especie y evaluar el efecto del cambio climático y la deforestación sobre la biodiversidad, también puede ser usado para inferir áreas de distribución potencial y patrones biogeográficos, tales como los gradientes de riqueza, el endemismo y la disyunción en las poblaciones.

Los modelos de distribución de especies, usan como base teórica el nicho ecológico y, relacionan los datos obtenidos en campo de la especie con variables ambientales predictivas, basadas en una respuesta estadística o teórica (Guisan & Zimmermann, 2000), dando como resultado un área geográfica de distribución probabilística de la especie, que se traduce en la superficie geográfica ocupada por dicha especie y donde ha sido registrada (Espinosa, Aguilar, & Escalante, 2001), en otras palabras estiman la relación entre los registros de especies en un sitio y el ambiente o las características espaciales de dicho sitio, incluyendo factores ambientales que son relevantes en la capacidad de carga del hábitat como las estimaciones de clima, topografía y el suelo para las plantas, la temperatura, la salinidad y la abundancia de presas para peces marinos, entre otras (Elith, et al. 2011).

La predicción probabilística del área geográfica de distribución de la especies, además de lo que ya se dijo anteriormente, puede proporcionar una cobertura espacial completa y en escala fina de la distribución potencial, incluso en zonas donde no hay datos disponibles y el análisis consecutivo de estas distribuciones permite, entre otras cosas, evaluar el estado de las reservas naturales, guiar

encuestas biológicas de mayor efectividad, establecer la distribución actual de las especies raras y en peligro de extinción, o ayudar a la investigación científica a nivel biogeográfico (Stockwell & Peters, 1999).

Soberón & Peterson (2005), explican el área geográfica de distribución de las especies y los conceptos anteriormente presentados, desde la teoría de conjuntos (ver Diagrama 1.), que se resumen a continuación:

- La Zona A representa la región geográfica que factores abióticos adecuados para la especie, en el cual pueden estar presente plantas que sirven de alimentos, polinizadores, dispersores de semillas, micorrizas, entre otros. Y están ausentes los competidores fuertes, las enfermedades, los predadores especializados, entre otros. Puede ser considerado como la expresión geográfica del nicho fundamental (FN).
- la Zona B es la región donde se produce la combinación correcta de las especies que interactúan, que puede o no superponerse con A.
- La Zona M constituye aquellas partes del mundo que son idóneas para la especie desde un punto de vista ecológico, además en esta zona la circulación y la colonización ocurren sin obstáculos.

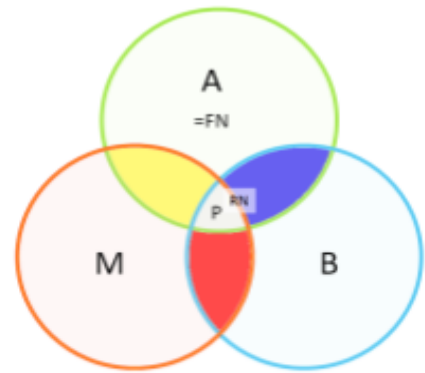


Diagrama 1. Esquematización del área geográfica de distribución de las especies desde la teoría de conjuntos. Soberón & Peterson, Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas, 2005.

La intersección entre A y B ($A \cap B$) representa la extensión geográfica del nicho efectivo (RN) de la especie, es decir donde las especies se ven restringidas debido a las interacciones interespecíficas, lo cual implica que algunas especies están sujetas a relacionarse con competidores (Camargo Camargo & Cruz Reyes, 2001). La intersección entre las zonas A, B y M da como resultado la zona P ($A \cap B \cap M = P$), esta es la región que tiene el conjunto adecuado de factores bióticos y abióticos, es accesible para la especie, y es igual a la distribución geográfica de las especies.

Los modelos que relacionan los datos de presencia, presencia-ausencia y/o abundancia conocidos de las especies con variables ambientales, también las predicciones basadas en el nicho, usualmente incluyen áreas en las cuales la especie no se distribuye actualmente, esto representa un área potencial de exploración o sitio de objeto de programas de reintroducción. Al mismo tiempo los datos de distribución históricos permiten identificar cambios en la distribución en relación con los procesos que la amenazan y por lo tanto se anticipan impactos, además ayudan a evaluar el impacto del uso del suelo y otros cambios ambientales que afectan la distribución de los organismos (Illoldi & Escalante, 2008). Encima, la modelación del nicho ecológico tiene aplicaciones en la modelación de especies invasoras, información que contribuye a la selección de prioridades de conservación en términos geográficos. Incluso la modelación para roedores, insectos herbívoros y polinizadores, entre otros, puede ayudar a predecir y planificar estrategias para maximizar la producción agrícola. (Graham, Ferrier, Huettman, Moritz, & Peterson, 2004). Estas relaciones pueden causar patrones espaciales variables que se pueden observar a diferentes escalas, que a su vez pueden ser manipulados a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Illoldi & Escalante, 2008).

No obstante, los modelos de distribución de especies, resultan en aproximaciones a lo que pueden ser las áreas de distribución (Illoldi & Escalante, 2008), ya que no representan directamente áreas de distribución real por el grado de incertidumbre que impera, debido a que las respuestas de las especies al ambiente tienden a ser complejas, por lo que generalmente es deseable adaptarse a funciones no lineales (Austin, 2002). Este tema es complejo y depende de la calidad, cantidad y precisión de los datos de las especies; la relevancia ecológica de las variables de predicción; la disponibilidad de información sobre alteraciones, limitaciones de dispersión y las interacciones bióticas, el método de modelación y la escala de análisis (Illoldi & Escalante, 2008).

La predicción de la distribución probabilística de las especies a partir de datos obtenidos de forma empírica, supone un recurso valioso que puede ser usado para modelar relaciones ecológicas (Illoldi & Escalante, 2008), estos datos pueden ser observaciones de presencia, presencia-ausencia o abundancia basadas en el muestreo aleatorio en campo u observaciones como los que están en colecciones de historia natural (Graham, Ferrier, Huettman, Moritz, & Peterson, 2004) (Guisan & Zimmermann, 2000). Este método se ha utilizado en la gestión de la conservación de los recursos, proceso que, en muchos casos, requiere información detallada sobre la distribución de los organismos y los factores que afectan a estas distribuciones (Franklin, 2009). Este método implica que muchas veces en los registros de presencia no contemplan si una especie está presente de una zona ambientalmente adecuada, esto puede ocurrir, por ejemplo, por perturbaciones pasadas que han causado extinciones locales y por ende no habrá ningún registro de presencia en dicha zona. Del mismo modo, la posibilidad de ausencia de una especie varía de un sitio a otro y la ausencia de datos de presencia de la especie en una zona no necesariamente implica que la especie no ocupe dicha zona, esto parte de la premisa de que las especies no son perfectamente detectables y no pueden ocupar todo el hábitat adecuado (Illoldi & Escalante, 2008).

Las relaciones y los tipos de variables existentes entre las áreas y nichos ecológicos a escala espacial, son discutidos por Soberón (2007), quien propone que esta relación requiere establecer suposiciones acerca de la extensión espacial y la resolución con la que se miden las áreas, además de los tipos de interacciones bióticas sus mecanismos y efectos que afectan las distribuciones, los diferentes roles de las variables que son o no son agotadas por los consumidores y que pueden desempeñar un papel en la definición del nicho, y el alcance de los desplazamientos espaciales en el marco de tiempo ecológico y evolutivo. También, basado en las suposiciones de Guisan & Thuiller (2005) y Soberón & Peterson (2005), Soberón (2007) establece que los factores que determinan los patrones de distribución de las especies incluyen:

- Las capacidades de distribución de las especies, ya sea por sus propios movimientos o por la dispersión de propágulos por agentes externos, ya que este elemento determina en qué partes del mundo son accesibles a los individuos de la especie.
- La distribución espacial de las condiciones ambientales favorables para el establecimiento, la supervivencia y la reproducción de los individuos (en su mayoría en un sentido fisiológico), ya que estas consideraciones establecen los límites de las distribuciones.
- El medio biótico constituido por interacciones que pueden ser positivas (mutualismo, polinización, etc.) o negativas (competidores, depredación, parasitismo, etc.), junto con la disponibilidad y la dinámica de los recursos; que determina la estructura de la distribución, y también puede modificar los límites determinados por la distribución espacial de las condiciones ambientales favorables.

Existen otros factores, como la capacidad de evolución de las poblaciones de especies para adaptarse a nuevas condiciones, factor usualmente reservado para análisis o se supone despreciable, sin embargo, es una consideración adicional importante para delinear las posibilidades de distribución de las especies, aunque Soberón & Peterson (2005) a partir de Holt (1996a, b), Holt & Gaines (1992), Holt & Gomulkiewicz (1996), Kawecki (1995) y Etersson & Shaw (2001), concluyen que: los efectos de la evolución de los parámetros de nicho en períodos cortos de tiempo son menores. Otro factor es el patrón de alteraciones en el medio ambiente, fundamental para la comprensión de las relaciones entre las áreas de distribución y los nichos (Soberón, 2007). Adicionalmente, Illioldi Rangel & Escalante (2008), adjuntan los procesos de extinción; la presencia de barreras geográficas y los procesos de especiación a factores que determinan esta distribución.

Por otra parte, es importante resaltar que para definir nichos utilizando variables de recurso se debe especificar sus tasas de suministro, los mecanismos y parámetros de consumo y los impactos que los consumidores tienen sobre los recursos, ya que estos pueden ser consumidos, las poblaciones pueden afectarles y competir por ellos (Soberón & Peterson, 2005).

Los modelos de distribución de especies se pueden estimar en varias formas, pero Soberón & Peterson (2005) proponen dos enfoques fundamentales. El enfoque mecanicista (Guisan & Zimmermann 2000), es la primera de ellas, que consiste en la medición directa o modelación física de las respuestas de los individuos a los parámetros físicos como la temperatura, la humedad, entre otros, hace caso omiso de las interacciones bióticas y, a partir de las diferentes combinaciones de las variables físicas se puede inferir el valor de *fitness* de la especie, entonces usando SIG se puede desplegar las regiones con *fitness* positivo (Soberón & Peterson, 2005).

El segundo, el enfoque correlativo, según Soberón & Peterson (2005), establece que los nichos pueden ser reconstruidos relacionando los datos de ocurrencia de especies con conjuntos de datos climáticos, topográficos, edáficos y otras dimensiones ecológicas, traducidas en capas de SIG, que ya incluyen los efectos relacionados con las interacciones bióticas en las distribuciones de especies. La combinación de las variables ambientales más estrechamente relacionadas, con la presencia observada de especies puede ser identificada y proyectada dentro de capas de suelo, para identificar regiones apropiadas, en esencia, consiste en la extrapolación entre los puntos de ocurrencia y los conjuntos de datos ambientales para identificar en el mapa las áreas de presencia potencial; estas áreas determinadas por el algoritmo son ecológicamente similares a esas donde se sabe que la especie ocurre. Como ya se dijo anteriormente, es importante recordar que estos algoritmos de extrapolación encuentran regiones similares, en términos de la información prevista, a aquellas donde se encuentran las ocurrencias; “*El resto del proceso es la interpretación*”. Esta expresión de la modelación de nicho ha alcanzado el uso de diversos algoritmos, incluyendo reglas, modelos de regresiones lineales, regresiones múltiples y modelos aditivos, y algoritmos genéticos, entre otros. Usualmente, las herramientas usadas para realizar estas estimaciones de nicho requieren información sobre la ausencia de especies, a determinada escala espacio temporal, y para ciertos datos, esta información puede estar disponible en zonas bien estudiadas y en las cuales las especies no han sido detectadas respecto a su ocurrencia (Soberón & Peterson, 2005).

Estos métodos de modelación, correspondientes a la segunda aproximación propuesta por Soberón & Peterson (2005), ayudan a comprender las dimensiones ambientales y ecológicas en las que se encuentra una determinada especie, dimensiones que están directamente relacionadas con factores abióticos como precipitación, temperatura, entre otras, y bióticos como los tipos de vegetación en las

cuales se puede encontrar dicha especie. A sí mismo, los algoritmos matemáticos contribuyen a modelar con mayor precisión y presentan diferentes acercamientos al problema de la modelación del nicho ecológico, entre estos podemos mencionar GARP, Maxent y BIOCLIM (Illoldi & Escalante, 2008).

Los algoritmos genéticos (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction, GARP), incorporan múltiples aproximaciones predictivas variando los requerimientos (Graham, Ferrier, Huettman, Moritz, & Peterson, 2004) para la búsqueda de asociaciones entre variables ambientales y la ocurrencia conocida de las especies, contrastándola con las características ambientales a lo largo de toda el área de estudio (Illoldi & Escalante, 2008). Este sistema de modelación tiene facilidades de análisis automatizado que favorece la realización de sistemas de modelación GMS (GARP modelling system, GMS) para la modelación de la distribución de las especies a partir de datos sobre la ubicación de las mismas; además, usa cerca de 30 capas de datos ambientales, rasterizados, de variables climáticas (temperatura y la precipitación), topográficas (pendiente, orientación, altitud) y las variables de sustrato (tipos de suelo, pH, geología) (Stockwell & Peters, 1999). Dando como resultado la predicción de la distribución potencial de la especie, información que puede ser comparada y validada a través de observaciones de campo y usada para indicar nuevas áreas donde puede presentarse una especie en particular (Boston & Stockwell, 1995); pero Stockwell & Peters (1999) sugieren que el uso de paquetes de SIG en los GMS es limitado, debido a que se centra solo en la preparación de datos ambientales.

Por otro lado, Maxent (algoritmo de máxima entropía), es un programa para la modelación de la distribución de especies que usa una aproximación mecanicista para realizar predicciones a partir de registros de presencia de especies (Illoldi & Escalante, 2008) (Elith, et al. 2011). Maxent minimiza la entropía relativa entre dos densidades de probabilidad (un estimado de los datos de presencia y una, desde la horizontal) definida en el espacio covariable (Illoldi & Escalante, 2008). Igualmente, el modelo toma cada variable ambiental la multiplica por una constante, y la divide posteriormente para generar valores de probabilidad entre 0 y 1 (Illoldi & Escalante, 2008), para así estimar la distribución más uniforme a lo largo del área de estudio, teniendo en cuenta que el valor esperado para cada variable ambiental en una distribución coincide con los valores promedio para el conjunto de datos de ocurrencia de la especie (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006). Al principio, el programa presenta datos con una distribución de probabilidades uniforme, después de forma repetida cambia el peso de una u otra variable a la vez para maximizar la similitud de los datos de ocurrencia y dar como resultado una distribución probabilística óptima, los resultados son determinísticos, es decir no contienen elementos aleatorios (Illoldi & Escalante, 2008).

Phillips, Anderson, y Schapire, (2006), sugieren que Maxent ofrece muchas ventajas ya que, requiere sólo datos de presencia, junto con la información ambiental del área de estudio; puede utilizar datos continuos y categóricos; incorporar las interacciones entre las distintas variables; los algoritmos determinísticos que usa son eficientes y han sido desarrollados para converger a la distribución de probabilidad óptima; y, por último, la distribución de probabilidad de Maxent facilita su análisis, debido a que tiene una definición matemática concisa.

Por último, Bioclim es un conjunto de capas de clima global con una resolución espacial de aproximadamente 1km², estas capas comprenden las condiciones climáticas actuales (1950-2000), proyecciones futuras y, condiciones climáticas pasadas como último periodo interglaciar, último máximo glacial y el Holoceno Medio; esta información puede ser usada para mapear o modelar espacialmente en un SIG u otro programa (Climate Commons, 2013). La construcción de modelos de predicción de la distribución probabilística de las especies a partir de BIOCLIM supone, según Illoldi

Rangel & Escalante (2008), que la distribución de las especies está determinada por el clima, la distribución estadística de las variables climáticas es normal, y todas las variables con intervalos restringidos influyen a la especie de interés. BIOBLIM se basa en lo que se denomina envoltura climática (climatic envelop) para encontrar el intervalo climático en el que se encuentran los puntos para cada variable climática involucrada en el análisis y así asociar los datos para identificar todas las áreas con clima similar al de la localización de la especie (Illoldi & Escalante, 2008) (Hijmans & Elith, 2016).

Las variables que contempla BIOCLIM son:

BIO1 = Temperatura media anual (°C)

BIO2 = Rango de la media diurna (Media mensual (max temp - min temp))

BIO3 = Isotermalidad. Índice de variabilidad de la temperatura ((BIO2/BIO7) (* 100))

BIO4 = Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar *100)

BIO5 = Temperatura máxima del mes más cálido (°C)

BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío (°C)

BIO7 = Rango de temperatura anual (°C) (BIO5-BIO6)

BIO8 = Temperatura promedio del trimestre más lluvioso (°C)

BIO9 = Temperatura promedio del trimestre más seco (°C)

BIO10 = Temperatura promedio del trimestre más cálido (°C)

BIO11 = Temperatura promedio del trimestre más frío (°C)

BIO12 = Precipitación anual (mm)

BIO13 = Precipitación del mes más lluvioso (mm)

BIO14 = Precipitación del mes más seco (mm)

BIO15 = Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)

Estacionalidad de la precipitación = $(\text{Desviación estándar}(\text{prec1}, \text{prec2}, \dots, \text{prec12}) * 100) / (1 + ((\text{prec1} + \text{prec2} \dots + \text{prec12}) / 12))$, por estación

BIO16 = Precipitación del trimestre más lluvioso (mm)

BIO17 = Precipitación del trimestre más seco (mm)

BIO18 = Precipitación del trimestre más cálido (mm)

BIO19 = Precipitación del trimestre más frío (mm)

(Worldclim, s.f.), (Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 2011)

Una vez que se han generado los modelos, es necesario proyectar el área de distribución geográfica potencial, estas áreas son representadas usualmente como mapas construidos a través de los Sistemas de Información Geográfico (SIG) (Camargo Camargo & Cruz Reyes, 2001). Los SIG, constituyen un sistema de técnicas y principios con aplicación en la ciencia, la industria y los negocios, para la colección, manejo, análisis, modelación y prestación de datos geográficos (Ellsworth Davis, 2001). Esta herramienta ha transformado las diferentes maneras de trabajar en planificación física, que enfatiza en más en uno o varios factores del ambiente, con una la visión sistémica que incluye la noción de interacción (de Miró Orell & Domingo Morató, 1984), que permite la planificación y gestión de la información para la toma de decisiones.

Estos incluyen por tanto numerosas funciones para el manejo de datos espaciales en formato digital, las cuales son:

1. Almacenamiento de datos espaciales y temáticos. Para ello es necesario definir modelos de datos con los que codificar los diferentes aspectos del territorio.
2. Visualización de estos datos en forma de mapas, tablas o gráficos, permite seleccionar aquellos elementos que cumplen un conjunto de condiciones, de tipo espacial o no espacial.
3. Análisis de datos, en búsqueda de regularidades en los datos que permitan verificar hipótesis acerca de los mismos.
4. Modelización, para utilizar y validar diversas hipótesis.

(Sarria, 2004)

Según Goodchild (1993) un SIG destinado al análisis de datos y modelización ambiental debe incorporar un conjunto de herramientas para preprocesar grandes volúmenes de datos y prepararlos para su análisis, con el objeto de descubrir regularidades, desarrollar modelos e implementar estos modelos, y reorganizar los resultados en modo de tablas, gráficos o mapas de forma que sean útiles para el usuario.

Los modelos de predicción de la distribución probabilística con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que ha ido en expansión. Por ejemplo, Villordon, et al (2006), exploran la posibilidad de utilizar un modelo de distribución basado en el SIG para identificar deficiencias en las colecciones de patata dulce en el Sahara del Sur, África, con el fin de planificar estrategias de conservación eficiente. Usando los datos de la colección de germoplasma y se modela la distribución potencial usando GARP y Maxent, en los programas BIOCLIM y DOMAIN, llegaron a la conclusión de que la modelación de la distribución de especies representa una herramienta de conservación para documentar la diversidad y promover la exploración, conservación y mejoramiento de las colecciones.

Así mismo, Williams, et al (2001), mediante SIGs, analizan la distribución ecogeográfica de especies silvestres de maní (*Arachis spp.*). Para apoyar el desarrollo de estrategias que promuevan la conservación y uso sostenible de estos importantes recursos filogenéticos; tomando como base los datos georeferenciados de las muestras de germoplasma y de herbario, los cuales fueron analizados utilizando FloraMap, con el fin de definir la adaptación climática de cada especie y sus distribuciones potenciales. Otro ejemplo es el estudio realizado por Draper, et al. (2003), que estudiaron la aplicación de los SIGs en los programas de conservación de especies en Portugal; para esto compararon los patrones ecológicos a nivel local y regional y así obtener la distribución potencial de la especie o especies de interés a nivel local y regional, considerando variables ambientales relacionadas a las características de desarrollo de la planta, después de acuerdo a la información obtenida se seleccionaron áreas prioritarias a ser protegidas para apoyar la conservación de biotipos en peligro de extinción; por otro lado analizaron el impacto de especies exóticas sobre las especies endémicas, y por último realizaron un estudio ecogeográfico para la selección de sitios idóneos para la colección de semillas en orden de tener muestras significativas con alto nivel de diversidad genética. Estos algunos ejemplos de resultados significativos obtenidos de la incorporación de los SIG en los modelos de predicción de la distribución potencial.

También se ve la aplicación de los sensores remotos en la modelación de la distribución de especies, que es el caso de la investigación llevada a cabo por Buermann et al. (2008), que tuvo como objetivo determinar cuáles datos de teledetección ópticos y de microondas, recientemente disponibles a partir de imágenes espectrorradiométricas de resolución moderada (MODIS) y QuikSCAT (QSCAT), pueden mejorar las predicciones de la distribución geográfica de especies a nivel regional a escala continental.

Se modelaron 8 especies neotropicales de tres grupos taxonómicos, que se traducen en dos aves, dos mamíferos y cuatro árboles; de los Andes tropicales y subtropicales, y de la cuenca amazónica.

Dicha distribución se modeló haciendo uso del algoritmo Maxent, a 1-km de resolución usando datos climáticos y datos de sensores remotos. Para cada especie se verificó el modelo de acuerdo a la concordancia entre la distribución observada y la distribución simulada. De los modelos construidos usando sensores remotos y capas climáticas se obtuvo buenos resultados en la predicción de la distribución de especies, sugiriendo que cada grupo de datos contiene información útil para aportar al conocimiento de poblaciones aisladas a lo largo de los gradientes de elevación Amazónico-Andinos; sugiriendo que los datos de teledetección MODIS y QSCAT tienen una utilidad considerable en el modelado de las distribuciones geográficas actuales de las especies a escalas regionales y continentales, y en la predicción de los cambios de rango, como resultado del cambio de uso del suelo a gran escala.

Ecosistemas de alta montaña

Walter (1977) define los biomas como “*ambientes grandes y uniformes de la geobiosfera*”, un bioma puede considerarse como un conjunto de ecosistemas terrestres afines por sus rasgos estructurales y funcionales. Para Colombia se identifican tres grandes biomas definidos por Walter (1985), zonobioma, orobioma o pedobioma, de acuerdo con ciertas características de clima, suelo y vegetación. Walter (1977) en Hernández Camacho (1997), establece que los biomas que están condicionados por factores elevación y se sitúan en montañas sobre los biomas de distribución latitudinal en bajas elevaciones (biomas zonales), se consideran Orobiomas o biomas de montaña, los que están definidos por la presencia de montañas en las cuales de acuerdo con el incremento la altitud y la disminución de la temperatura, cambian su régimen hídrico y forman fajas de vegetación (Walter, 1977). Los Orobiomas tienen como límite inferior un rango 800 a 1500 msnm, este rango se debe a que la delimitación aun es imprecisa, porque aunque se reconocen orobiomas que coinciden con la descripción de Caldas (tierra templada, tierra fría, páramo y piso nival), hay dificultades en ajustar los pisos términos al sistema de biomas ya que los límites altitudinales no coinciden entre sí (Hernández Camacho, 1997).

Según el rango altitudinal se pueden distinguir tres grandes zonas dentro de los orobiomas: zona de baja montaña (Orobioma subandino), zona de media montaña (Orobioma andinos) y zona de alta montaña (Orobioma altoandinos y de páramo) (Romero, Cabrera, & Ortiz, 2008) (IDEAM, 2011):

Orobiomas bajos o baja montaña

Corresponde al Orobiomas del piso térmico templado, selva hidrofítica o selva subandina, se encuentra entre los 800-1.500m y 2.200-2.800 msnm, aunque el límite superior puede llegar hasta elevaciones 3.300m o un poco más (Hernández Camacho, 1997). El IDEAM (2011), por otro lado, sugiere alturas desde los 500 msnm hasta los 1800 msnm, donde se presentan temperaturas de entre 18 y 24 °C.

No obstante, estos rangos fluctúan de acuerdo con la posición geográfica; en algunas zonas de la cordillera Central se ha visto que la baja montaña se encuentra entre los 700 y 2.300 msnm, mientras que cuando se encuentran cerca a valles más bajos y mares, los límites pueden bajar (IDEAM, 2011), sobre poniéndose sobre el límite inferior del Orobioma de selva Micronanófila o Selva Andina (Hernández Camacho, 1997).

Orobiomas medios o media montaña

Corresponden al Orobiomas de Selva Micro-nanófila o Selva Andina, comúnmente llamadas “selvas o bosques de niebla”, desde el límite superior del Orobiomas de selva subandina (2.200-2.800 msnm) hasta los 3.000-4.000 msnm (Hernández Camacho, 1997). El IDEAM (2011) lo define entre los 1.800 y

2.800 msnm, donde se presentan temperaturas que fluctúan entre los 12 y 18° C; al igual que en el orobioma bajo, la altitud del orobioma medio en Colombia puede variar de acuerdo con la posición geográfica.

Se caracteriza por la frecuente niebla, la evidencia de 1 a 2 estratos arbóreos: arbustivo y herbáceo, con una cobertura a nivel del suelo compuesta por musgos y helechos, un dosel de unos 20 m que en algunos casos puede alcanzar alturas de entre 35 y 40m, con presencia de epifitas (Hernández Camacho, 1997).

Orobiomas altos o alta montaña

Cabe agregar que el IDEAM (2011) sitúa los bosques alto andinos, entre los 2800 y 3200 msnm, como orobiomas de alta montaña, pero que bajo la clasificación Walter (1977) - Hernández Camacho (1997) se sobrepondría al Orobioma de Selva Micro-nanófila o Selva Andina, es decir, media montaña. En cualquier caso esta es una zona de transición (ecotono) entre la vegetación cerrada de la zona andina y las zonas más altas que corresponden al paramo y las niveles perpetuas (IDEAM, 2011).

Los orobiomas altos o alta montaña, se localizan por encima del límite superior del piso andino (> 2.800 msnm) hasta el nivel de las nieves perpetuas (> 4.500 m) (IDEAM, 2011). Dentro del orobioma alto, se distinguen cinco zonas:

o *Orobioma de páramo*

Se sitúa por encima del límite superior del Orobiomas de Selva Andina (3.000-4.000 msnm) y bajo el límite inferior de las nieves perpetuas (4.700-5.100 msnm). Aunque, La delimitación de este bioma entra en conflicto con las variaciones de temperatura, pluviosidad, frecuencia de nieblas y vientos que ocurren a nivel local, además de los efectos antrópicos que alteran el límite de los páramos por efecto de las quemas y la deforestación (Hernández Camacho, 1997).

El sistema de clasificación de los páramos, de acuerdo con, Morales, et al.(2007) en el Atlas de páramos de Colombia, se basa en criterios biogeográficos e identifica 26 unidades jerarquizadas en sectores, distritos y complejos, de la siguiente manera:

Tabla 1. Clasificación de los complejos de páramos		
Sectores	Distrito	Complejos
Cordillera Oriental	Páramos Perijá	Perijá
	Páramos de los Santanderes	Jurisdicciones-Santurbán
		Tamá
		Almorzadero
		Yariguíes
	Páramos de Boyacá	Cocuy
		Pisba
		Tota-Bjagual-Mamapacha
		Guantiva-La Rusía
		Iguaque-Merchán
	Páramos de Cundinamarca	Guerrero
		Rabanal y río Bogotá
		Chingaza
Cruz Verde-Sumapaz		

	Páramos Los Picachos	Los Picachos
	Páramos Miraflores	Miraflores
Sectores	Distrito	Complejos
Cordillera Central	Páramos Belmira	Belmira
	Páramos Viejo Caldas-Tolima	Nevados
		Chili-Barragán
	Páramos Valle-Tolima	Las Hermosas
		Nevado del Huila-Moras
Nariño-Putumayo	Páramos Nariño-Putumayo	Guanacas-Puracé-Coconucos
		Sotará
		Doña Juana-Chimajoy
Cordillera Occidental	Páramos Paramillo	Paramillo
	Páramos Frontino-Tatamá	Frontino-Urrao
		Citará
		Tatamá
	Páramos del Duende-Cerro Plateado	Duende
Farallones de Cali		
		Cerro Plateado
Sierra Nevada de Santa Marta	Páramos de Santa Marta	Santa Marta
Adaptado de: Morales, M., Otero, J., Van der Hammen, T., Torres, A., Cadena, C., Pedraza, C., y otros. (2007). Atlas de páramos de Colombia. Bogotá D.C.		

Este Orobioma se subdivide en tres subconjuntos o Suborobiomas: Subpáramo, Páramo y Superpáramo o Páramo alto.

▪ *Subpáramo*

En algunos casos la Selva Andina puede cambiar violentamente a Suborobioma de páramo debido a las condiciones topografías, pero esto usualmente no ocurre por la presencia de la zona de transición altitudinal intermedia entre el límite superior de la Selva Andina y el Suborobioma de Páramo, esta zona presenta arboles pequeños dispuestos irregularmente, vegetación arbustiva y matorrales, así como la presencia de líquenes, musgos, hepáticas y frailejones esparcidos o en pequeños grupos (Hernández Camacho, 1997) (IDEAM, 2011). Se le define desde los 3.200 hasta 3.500 o 3.600 msnm (IDEAM, 2011).

▪ *Páramo*

Se caracterizan por la presencia de subunidades de vegetación denominadas frailejonales, formados por poblaciones de frailejones (*Espeletia spp.*, *Espeletiosis spp.*), además de chuscales (*Chusquea sp*), chítales (*Hypericum sp*), puyales (*Puya sp*), matorrales paramunos (*Cavendishia sp*), entre otros (Leyva Franco, 1998). Sus límites se extienden entre los 3.500 o 3.600 a los 4.100 msnm (IDEAM, 2011).

▪ Superpáramo

Esta zona se sitúa por encima de los 4.100 msnm, hasta el límite inferior de las nieves perpetuas (IDEAM, 2011); corresponde a la “tundra pluvial alpina” del sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Se caracteriza por una cobertura vegetal discontinua y dispersa, por lo general no se encuentran frailejones y los suelos son menos evolucionados, generalmente desnudos, con presencia de arenales o afloramientos rocosos (Hernández Camacho, 1997) (IDEAM, 2011).

○ Orobioma nival

Corresponde a nieves permanentes y glaciares entre los 4.700 y 5.775 msnm. La biota de este bioma corresponde a algas rojas microscópicas (*Rhodophycophyta*). En pequeñas zonas protegidas de la nieve pueden crecer líquenes, musgos y hepáticas (Hernández Camacho, 1997).

Estado de los ecosistemas de alta montaña

La Región Andina de Colombia, ha sido altamente impactada por la actividad antrópica por efecto de, principalmente, quemas indiscriminadas, sistemas de producción agrícola, ganadería extensiva, minería en pequeña escala y sin control, alteración de los movimientos naturales del agua, plantaciones forestales con especies exóticas, turismo sin control, infraestructura vial sin planeación, sedimentación y eutrofización de las lagunas, corte de matorrales y bosques enanos para leña, entre otras razones. Que han llevado a que solo quede el 39% de los ecosistemas naturales de esta zona, mientras que el 61% restante ecosistemas transformados (IDEAM, 2011)

Este impacto deriva de la reducida presencia institucional y la presencia de población humana en cercanías al ecosistema (Ministerio del Medio Ambiente, 2002), que deriva en impactos a escala del paisaje y, de biodiversidad y microhábitats. En la escala de paisaje, se genera discontinuidad fraccionamiento de coberturas altamente degradadas y con diversos focos de erosión y contaminación por efecto de cambios a matrices antrópicas. En la escala de biodiversidad y microhábitats, puede presentarse pérdida total o parcial del horizonte orgánico del suelo por remoción de la capa vegetal; pérdida total del banco de semillas y de mecanismos de regeneración en las especies nativas; cambio en la composición o mortalidad de especies de fauna y flora, alteración físico-química del suelo y el agua por la aplicación de pesticidas, herbicidas y fertilizantes; rápida pérdida de la fertilidad y nutrientes, como Mg, Ca, P, N y K, o en algunos casos acumulación de los mismos; inestabilidad del suelo y propensión a soliflucción, subsidencia, deslizamientos y derrumbes; secamiento del suelo en agregados hidrofóbicos con la consecuente pérdida de la función de regulación hídrica; entre otros. (Cabrera & Ramírez, 2014)

El proceso de degradación y pérdida de las coberturas vegetales es preocupante, las estimaciones de la deforestación varían, las más conservadoras mencionan 90 mil hectáreas por año y las más preocupantes dan cuenta de 600.000 hectáreas por año. Con el agravante que en el período 1998-2007 sólo se reforestaron alrededor de 213.000 hectáreas y solamente el 2,2% de las reservas forestales creadas por la Ley 2ª de 1959 se han zonificado y ordenado, sumado a la desertificación que presenta el 25% del país, situación que se agudizará con el cambio climático (Ortega-P., García-Guerrero, Ruíz, Sabogal, & Vargas, 2010). Además, la vegetación de paramo para el periodo 2000-2005 presento un aumento en la tasa de cambio anual equivalente a cerca de 24.000 ha/año (Sarmiento, Cadena, Sarmiento, Zapata, & León, 2013), de continuar con las tendencias actuales se podría llegar a perder entre el 75 y el 90% de la cobertura de páramos (Ortega-P. et al., 2010).

Generalidades del género Puya

El género *Puya* pertenece a la familia *Bromeliaceae* (ver Diagrama 2.), familia nativa de la Región Neotropical, que integra las regiones intertropicales del continente Americano, en zonas cálido-templadas, desde el sur de Norte América hasta el Estrecho de Magallanes en el extremo sur de Chile, exceptuando los bosques de la Patagonia que se incluyen en la Región Antártica (Altorre Parra, 2005). Solo se conoce una especie que habita al oeste de África (*Pitcairnia feliciana*) (Ver Imagen 2.) (Grau, Gómez Romero, & Aráoz, 2010).

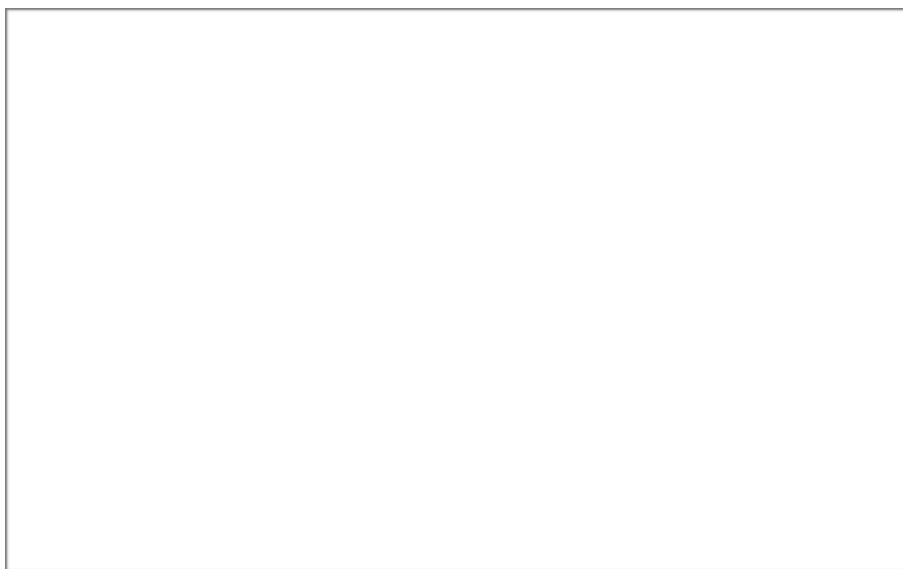


Diagrama 2. Clasificación taxonómica del género *Puya*



Imagen 2. Mapa de distribución mundial de la familia *Bromeliaceae*. Obtenido de: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/maps/bromeliaceaemap.gif>

Las bromelias están integradas por 50 a 57 géneros (Grant & Zijlstra, 1998) (Furnari, Guglielmo, Longhitan, Pavone, Salmeri, & Scelsi, s.f.), y de 1.000 a 1.400 especies (Angiosperm Phylogeny Group (APG), 2003) (Furnari, Guglielmo, Longhitan, Pavone, Salmeri, & Scelsi, s.f.), aunque Luther (2004) sugiere cerca de 3.010 especies en el mundo, que incluye piñas, puyas, cardos, quiches, barbas de viejo, entre otros (Betancurt al., 2007). En su mayoría son plantas herbáceas de tallos cortos, aunque algunas especies del género *Puya* poseen tallos erectos con una altura de hasta 3 m. (Grau, Gómez Romero, &

Aráoz, 2010); el aspecto rosulado o rosetado es bastante característico de la familia, suele tener un breve tallo con las hojas dispuestas en roseta y en el centro forman una copa en la cual se acumula el agua de lluvia, que sirve como reserva para la planta y además sirve para el desarrollo de una rica flora y fauna (algunas especies son grandes como para capturar insectos). Otra característica de esta familia es que parte de los especímenes que la conforman son epífitas, las cuales se ubican sobre el dosel de los bosques tropicales, bosques húmedos, encinares, pinares y matorrales. (Alvarado Fajardo, Morales Puentes, & Larrota Estupiñán, 2013), otras son especies de zonas rocosas (Furnari, Guglielmo, Longhitan, Pavone, Salmeri, & Scelsi, s.f.). Una característica adicional de la familia *Bromeliaceae* es la corta viabilidad de las semillas, Vasak (1968) afirma que tiene el menor período de viabilidad de cualquier familia de plantas, con la probable excepción de la familia de las orquídeas.

El género *Puya*, está distribuido desde Venezuela hasta Argentina, siendo Bolivia el país donde este género es más diverso (Wildlife Conservation Society, 2008), no ha sido reportada su presencia en norte América (Read & Daniels, 1975). Este género se integra por cerca de 40 especies (Read & Daniels, 1975). El nombre “Puya” viene del Mapuche y significa punta (Grau, Gómez Romero, & Aráoz, 2010) ; y en efecto, este género se caracteriza por que, además de ser rosetadas, poseen numerosas puntas con forma de agujones presentes en los bordes y extremos de sus hojas (Ver Fotografía 1.), lo que las vuelve notablemente inadecuadas para el consumo algunos grandes herbívoros aunque se han encontrado evidencias de que sirven como alimento para muchas especies como, el oso andino (Wildlife Conservation Society, 2008)

Las Puyas, poseen succulencia en las hojas (engrosamiento por acumulación de agua), mayor espesor de la epidermis y resistencia a la deshidratación de los tejidos foliares internos, para enfrentarse a la escasez de agua y al perseverante estrés hídrico. Por otro lado, muchas especies de *Puya* tienen la capacidad de realizar fotosíntesis por el denominado sistema CAM (acrónimo de Crassulacean Acid Metabolism- metabolismo ácido de las crasuláceas), metabolismo fotosintético común en muchas bromelias y también en otras familias de plantas suculentas, como las cactáceas, las portulacáceas y las crasuláceas (Grau, Gómez Romero, & Aráoz, 2010); las plantas CAM se caracterizan por que las células fotosintéticas tienen la capacidad de fijar CO₂ en la oscuridad a través de la actividad de la PEP carboxilasa en el citosol , por lo tanto, para llevar a cabo su fotosíntesis, requieren de la acumulación de CO₂ durante las horas de la noche puesto que durante el día sus estomas permanecen cerrados para evitar la pérdida de agua (Evert & Eichhorn, 2013)

Las bromelias muestran, generalmente, gran adaptabilidad y resistencia a condiciones ambientales extremas, se encuentran tanto en zonas cálidas y lluviosas como en zonas secas y frías (Miranda J., Arellano, Salazar, Hernández, Quero C., & Pérez, 2007). Así mismo, el género *Puya*, es representativo de la alta montaña suramericana (Wildlife Conservation Society, 2008), muchas veces agrupados en puyales, “achupallales” o pajonales desarrollados en los altiplanos de Cundinamarca y Boyacá, que corresponden a helobiosomas de pantanos (biomas mal drenaje, encharcamiento permanente o con prolongado periodo de inundación) y en las fases finales de la colmatación de lagunetas y lagunas del



Fotografía 1. Especimen representativo de *Puya goudotiana*. Obtenido de: <http://catalogoplantasdacolombia.unal.edu.co/es/resultados/especie/Puya%20goudotiana/>

páramo (Espinosa, Aguilar & Escalante, 2001) que corresponden al Orobionomas de Selva Micro-nanófila o Selva Andina, y a Pedorobionomas de bosques oxihidrofíticos Andinos, con suelos Histosoles (suelos con componentes orgánicos mayoritarios (IDEAM, 2011)), turbosos, ácidos, con nivel freático alto y a menudo encharcados (Hernández Camacho, 1997).

Estas plantas también desempeñan un papel importante en la productividad, captación de agua y recaudo de nutrientes en el ecosistema (García & Toledo, 2008). se sabe que las puyas participan de esta retención de agua al poseer receptáculos de agua (llamados fitotelmas), cuya capacidad puede ascender a varios litros por planta (Laverde Martínez, 2008), al tiempo que permiten la formación de pequeños ecosistemas acuáticos en los que viven bacterias, insectos, arañas, ácaros, crustáceos moluscos e incluso pequeños anfibios (Mondragón, 2002) (Grau, Gómez Romero, & Aráoz, 2010). Pero la degradación de los sistemas de paramo por la introducción de la ganadería, la agricultura y la creciente actividad minera (Laverde Martínez, 2008), pone a en situación vulnerable a las especies florísticas endémicas de esta zona, en especial al género *Puya*, y por lo tanto al su equilibrio y la perpetuidad de los servicios ecosistémicos que prestan.

Por otro lado, Grau, Gómez Romero, & Aráoz (2010), sugieren que las bromelias en general, y más aún las Puyas, se cree, coevolucionaron con los colibríes durante los millones de años de formación los Andes; varias especies de *Puya* tienen los pétalos en forma de tubo, una estructura que solo permite llegar al néctar a los polinizadores con pico largo, otras presentan flores más abiertas lo que amplía el rango de polinizadores potenciales, tanto otros pájaros como insectos; se presume que, estas características responden a las condiciones de bajas temperaturas del paisaje altoandino, donde el frío puede limitar la actividad de los insectos, por lo que la presencia de polinizadores de sangre caliente resulta especialmente ventajosa.

El Catálogo de plantas y líquenes de Colombia (Betancur, J. 2016a), arroja 36 Especies de *Puya* para Colombia de las cuales el 75% son endémicas, estas son:

<i>Puya alpicola</i> (Endémica)	<i>Puya grubbii</i> (Endémica)
<i>Puya antioquiensis</i> (Endémica)	<i>Puya hamata</i>
<i>Puya barkleyana</i> (Endémica)	<i>Puya horrida</i> (Endémica)
<i>Puya bicolor</i> (Endémica)	<i>Puya killipii</i>
<i>Puya boyacana</i> (Endémica)	<i>Puya lehmanniana</i>
<i>Puya brachystachya</i> (Endémica)	<i>Puya lineata</i> (Endémica)
<i>Puya clava-herculis</i>	<i>Puya nitida</i> (Endémica)
<i>Puya cleefii</i> (Endémica)	<i>Puya nivalis</i> (Endémica)
<i>Puya cryptantha</i> (Endémica)	<i>Puya occidentalis</i> (Endémica)
<i>Puya cuatrecasasii</i> (Endémica)	<i>Puya ochroleuca</i> (Endémica)
<i>Puya dichroa</i> (Endémica)	<i>Puya roldanii</i> (Endémica)
<i>Puya exuta</i> (Endémica)	<i>Puya sanctae-martae</i> (Endémica)
<i>Puya floccosa</i>	<i>Puya santanderensis</i> (Endémica)
<i>Puya furfuracea</i> (Endémica)	<i>Puya santosii</i> (Endémica)
<i>Puya gargantae</i> (Endémica)	<i>Puya thomasiana</i>
<i>Puya gigas</i> (Endémica)	<i>Puya trianae</i>
<i>Puya goudotiana</i> (Endémica)	<i>Puya venezuelana</i>
<i>Puya grantii</i> (Endémica)	

Puya vestita

De esta lista se describirán *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida*.

Puya goudotiana

Es una especie de *Puya* endémica de Colombia que se encuentra presente en la región Andina en la Cordillera Oriental (Betancur, J., 2015), en los municipios de Boyacá, Cundinamarca, Norte de Santander y Santander (Ver Imagen 3.), entre los 2.760–3.550 msnm (Betancur, 2016b).

Según el Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 3: Las bromelias, las labiadas y las pasifloras (Betancur, J & N. García, 2006), se encuentra en categoría de amenaza: casi amenazado (NT), significa que está cercano a clasificar como vulnerable (VU), o podría entrar en dicha categoría en un futuro cercano.



Región biogeográfica ■
 Departamentos ■

Tabla 2. Características de la *Puya goudotiana*

Hábitat	Pajonales húmedos
Habito	Rosetas cespitosas solitarias
Longitud de las hojas (cm)	140- 170
Longitud de la inflorescencia	100 – 200
Raquis	Oculto
Inflorescencia	Erecta
Ramificación	Bipinada
Brácteas florales	Imbricadas
Longitud de las brácteas (mm)	25- 32
Carina de las brácteas	No
Margen de las brácteas	Café oscuro
Longitud del pedicelo (mm)	15-35
Longitud de los sépalos (mm)	25- 30
Longitud de los pétalos (mm)	50 – 60
Color de los pétalos	Azul-verdes
Adaptado de: Betancur, J. (2000). <i>Guía de las Bromelias de Bogotá y sus alrededores</i> . Bogotá D.C.: DAMA.	

Imagen 3. Mapa de distribución de *Puya goudotiana*.
 Obtenido de: <http://catalogoplantasdecolumbia.unal.edu.co/es/resultados/especie/Puya%20goudotiana/>

Puya santosii

Es una especie de *Puya* endémica de Colombia que se encuentra presente en la región Andina y Orinoquía (Betancur, 2015b), en los municipios de Arauca, Boyacá, Cundinamarca y Meta (Ver Imagen 4.), entre los 2.800–4.285 msnm (Betancur, 2016c).

Según el Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 3: Las bromelias, las labiadas y las pasifloras (Betancur, J & N. García, 2006), se encuentra en categoría de amenaza: casi amenazado (NT), significa que está cercano a clasificar como vulnerable (VU), o podría entrar en dicha categoría en un futuro cercano.

Es una especie de gran importancia en el proceso sucesional entre comunidades acuáticas y etapas iniciales de colmatación hasta las fases avanzadas de terrización, transicionales a tipos propios de vegetación zonal en páramos (Montañez Díaz, Arévalo Santos, & Marquéz Calle, 2006)



Región biogeográfica ■



Tabla 3. Características de la *Puya santosii*

	Departamentos
Hábitat	Pajonales húmedos
Habito	Rosetas cespitosas taxas
Longitud de las hojas (cm)	31- 37
Longitud de la inflorescencia	32-50
Raquis	Oculto
Inflorescencia	Erecta
Ramificación	Bipinnada
Flores por rama	2
Brácteas florales	Imbricadas
Longitud de las brácteas (mm)	32- 33
Carina de las brácteas	Si
Margen de las brácteas	Aserrada
Color de las brácteas	Cafés
Longitud del pedicelo (mm)	2 - 3
Longitud de los sépalos (mm)	13- 20
Longitud de los pétalos (mm)	30 – 36
Color de los pétalos	Azul-verdes

Adaptado de: Betancur, J. (2000). *Guía de las Bromelias de Bogotá y sus alrededores*. Bogotá D.C.: DAMA.

Imagen 4. Mapa de distribución de *Puya santosii*. Obtenido de: <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/es/resultados/especie/Puya%20santosii/>

Marco contextual

Aspectos generales

Bogotá está situada en la zona Ecuatorial tropical (Latorre Parra, 2005), en la placa tectónica sudamericana sobre la Cordillera Oriental de los Andes, en el altiplano cundiboyacense, a una altitud de 2.630 msnm. Tiene un área total 163.660,94 ha, de las cuales 23,41% es área urbana y el 76,59% rural (Secretaria Distrital de Ambiente y Conservación Internacional, 2010), limita al sur con los departamentos del Meta y del Huila, al norte con el municipio de Chía, al oeste con el río Bogotá y los municipios de Arbeláez, Cabrera, Cota, Funza, Mosquera, Pasca, San Bernardo, Sibaté, Soacha y Venecia. Por el este llega hasta los Cerros orientales, en el que se destacan los cerros de Monserrate (3.152 msnm de altura) y Guadalupe (3.250 msnm de altura), y los municipios de la Calera, Chipaque, Choachí, Gutiérrez, Ubaque y Une.

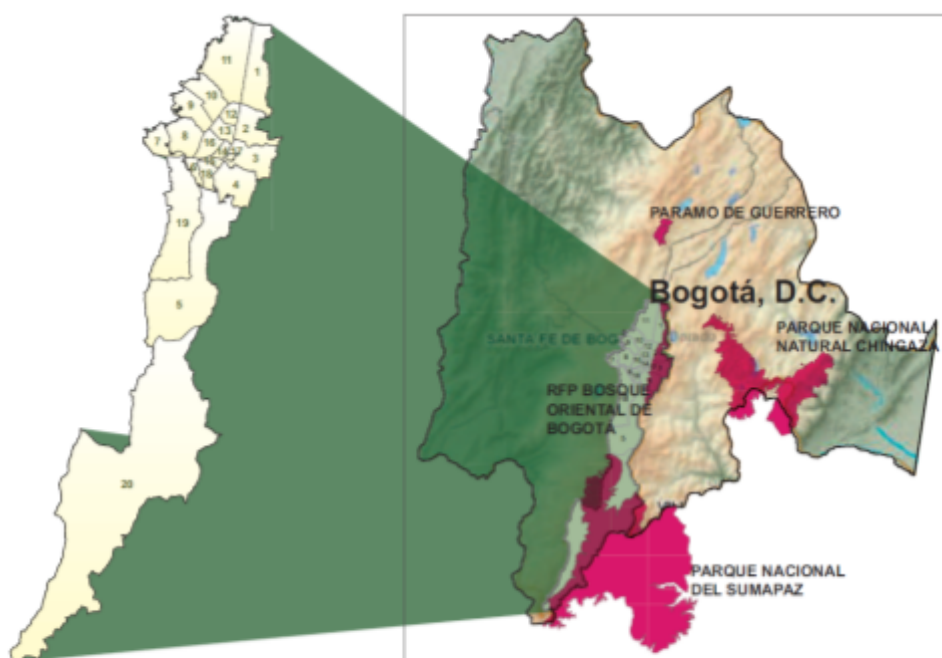


Imagen 6. Localización geográfica del Distrito Capital y su contexto regional. Obtenido de: Secretaria Distrital de Ambiente y Conservación Internacional. (2010). Política para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital (Editorial). Bogotá D.C., Colombia.

Bogotá es la Capital de la República de Colombia y el Departamento de Cundinamarca, por el artículo 322 de la Constitución Política. En 1993, pasó de ser Distrito Especial a Distrito Capital, por medio del decreto 1421 de ese año, se le otorga a Bogotá autonomía política, administrativa y fiscal equivalente a un departamento, en los términos de la Constitución y de la ley; siendo una división territorial de primer orden en Colombia. Posteriormente, las zonas se elevaron a localidades, y Bogotá se subdividió en 20 localidades; Usaqué (1), Chapinero (2), Santa Fe (3), San Cristóbal (4), Usme (5), Tunjuelito (6), Bosa (7), Kennedy (8), Fontibón (9), Engativá (10), Suba (11), Barrios Unidos (12), Teusaquillo (13), Los Mártires (14), Antonio Nariño (15), Puente Aranda (16), La Candelaria (17), Rafael Uribe Uribe (18), Ciudad Bolívar (19) y Sumapaz (20) (Ver Imagen 6.); e igualmente, aunque aún continúan siendo municipios pertenecientes al Departamento de Cundinamarca, las poblaciones de Soacha, Zipaquirá, Facatativá, Chía, Mosquera, Madrid, Funza, Cajicá, Sibaté, Tocancipá, La Calera, Sopó,

Tabio, Tenjo, Gachancipá y Bojacá conforman el Área Metropolitana de Bogotá, reconocida por el último censo nacional realizado por el DANE en 2005 (Secretaría de Planeación; Alcaldía mayor de Bogotá D.C., 2009).

Clima

Temperatura

Debido a la altitud, la ciudad tiene un clima frío de que oscila entre los 7 y los 18 °C, con una temperatura media anual de 13 °C (Secretaría de Planeación; Alcaldía mayor de Bogotá D.C., 2009). La temperatura media anual hacia el noroccidente oscila entre 6 y 12°C, del nororiente hacia el centro se encuentra entre 12 a 18°C, hacia la zona oriental se encuentran temperaturas entre 3 y 6°C que corresponde a subpáramo (Secretaria Distrital de Ambiente y Conservación Internacional, 2010).

Precipitación

La precipitación del Distrito Capital, debido a su ubicación sobre la cordillera Oriental, está afectada principalmente por las masas de aire húmedo provenientes de la Orinoquía y la Amazonía, Esta humedad transportada al acceder por la cordillera se convierte en precipitación orográfica. La zona nororiental y parte de la central del Distrito Capital, presentan una precipitación entre 500 y 1.000 mm anuales; en el sector del Páramo de Sumapaz (hacia el sur) la precipitación se encuentra entre 1.000 y 1.500 mm anuales y hacia el oriente aumenta hasta los 2.000 mm anuales (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial; & Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2005). Las temporadas más lluviosas del año son entre abril y mayo y entre, septiembre y noviembre, alcanzando los 114 mm/mes. En contraste, las temporadas más secas del año se presentan entre diciembre y febrero y entre, julio y agosto (Secretaria Distrital de Ambiente y Conservación Internacional, 2010). Por factores como la contaminación y el urbanismo el clima urbano bogotano ha experimentado grandes cambios, generando que el clima se vuelva paulatinamente más templado e incrementado los eventos extremos, como el ocurrido en enero del año 2007, cuando la temperatura bajó a cifras récord, pues llegó a -10°C, en el área de la ciudad, y en los municipios aledaños -9°C (Secretaría de Planeación; Alcaldía mayor de Bogotá D.C., 2009).

El recurso hídrico

Bogotá se abastece principalmente de los páramos de Chingaza, Sumapaz y Guerrero, Chingaza abastece el 80%, Sumapaz el 5% y Guerrero el restante 15% del recurso, razón por la cual estos tres sectores fueron escogidos como los límites del contexto regional del Distrito Capital (Secretaria Distrital de Ambiente y Conservación Internacional, 2010).

Aguas subterráneas

La Secretaria Distrital de Ambiente reporta 105 pozos concesionados, que suponen 10.315,98 m³/día y un total de 7'423.087,13 m³/año. Los dos acuíferos principales del Distrito son los depósitos cuaternarios, agua que no es apta para el consumo humano debido a los altos valores de hierro (entre 1 y 20 mg/L) y la presencia de sólidos en suspensión, y los depósitos de las rocas cretáceas del grupo Guadalupe. Estos acuíferos se recargan principalmente por la infiltración de las rocas presentes en los cerros, debido a la presencia de mayor cobertura vegetal (Secretaria Distrital de Ambiente y Conservación Internacional, 2010).

Aguas superficiales

El Distrito Capital cuenta con ocho (8) subcuencas pertenecientes a la cuenca del río Bogotá (Ver. Imagen 7.).

Subcuenca	Área	Longitud del cauce (km)	Altura media (msnm)	Cota máxima (msnm)	Cota mínima (msnm)	Caida total	Pendiente media del cauce
La Conejera	3840,29	32,42	2613	2680	2550	130	0,4
Jaboque	1623,71	3,86	2570	2590	2550	40	1,04
Río Fucha	14814,72	26,14	3073	3650	2540	1110	4,25
Río Salitre	13251,48	22,93	2890	3300	2540	760	3,32
Río Teusacá	3245,72	11,66	3279	3675	2950	725	6,22
Canal Tintal	3415,32	9,43	2540	2550	2530	20	0,21
Q. Torca	6008,69	12,77	2782	3200	2540	660	5,17
Río Tunjuelo	38899,86	63,43	3049	3550	2660	890	1,4

Imagen 7. Morfometría de las subcuencas del Distrito Capital y su contexto regional. Obtenido de: Secretaria Distrital de Ambiente y Conservación Internacional. (2010). Política para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital (Editorial). Bogotá D.C., Colombia.

Estructura Ecológica principal

La Estructura Ecológica (EE) como el “*Sistema de áreas del territorio nacional que aseguran en el tiempo la conservación de la biodiversidad, su funcionalidad y la prestación de servicios ecosistémicos que sustentan el bienestar de la población*” (Ministerio de Ambiente vivienda y Desarrollo Territorial & IDEAM, 2011). Para asegurar las funciones de la estructura ecológica principal, se debe tener en cuenta que la EE contiene las áreas de mayor significancia que aseguran la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos naturales para mantener la diversidad biológica, al tiempo que garantizan la oferta de servicios ecosistémicos que benefician a la población y soportan el desarrollo económico (IDEAM, 2011).

La EE del Distrito Capital, es una categoría de suelo constituido por los terrenos localizados dentro del suelo urbano, rural o de expansión de uso restringido que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, por formar parte de las zonas donde se sitúa la infraestructura que provee los servicios públicos domiciliarios o por ser áreas de amenaza y riesgo no considerables para ser habitadas constituyen una red de espacios con alto valor ambiental, que proporciona servicios ambientales y ecosistémicos, y que garantiza la sostenibilidad y la habitabilidad en la ciudad. Esta integrada por las zonas declaradas como de alto riesgo no mitigable, las áreas reservadas para la construcción de las plantas de tratamiento en la desembocadura de los ríos Fucha y Tunjuelo y el suelo destinado a su amortiguamiento y protección ambiental, que poseen diversos valores ambientales que buscan facilitar la conducción de la biodiversidad y de los procesos ecológicos. Esta red está conformada por el Sistemas de Áreas protegidas del distrito capital (Ver Imagen 8.), los Parques urbanos a escala metropolitana y zonal, y el Área de manejo especial del río Bogotá, con más de 90 tipos rurales de ecosistemas y a más de 400 unidades ambientales con más de 200 especies de fauna, en 77.873 hectáreas de suelo protegido, que equivale al 47,6% sobre el total del suelo, de este total la mayor parte se ubica en suelo rural (Secretaria Distrital de Ambiente, 2007) (Secretaría de Planeación; Alcaldía mayor de Bogotá D.C., 2009).

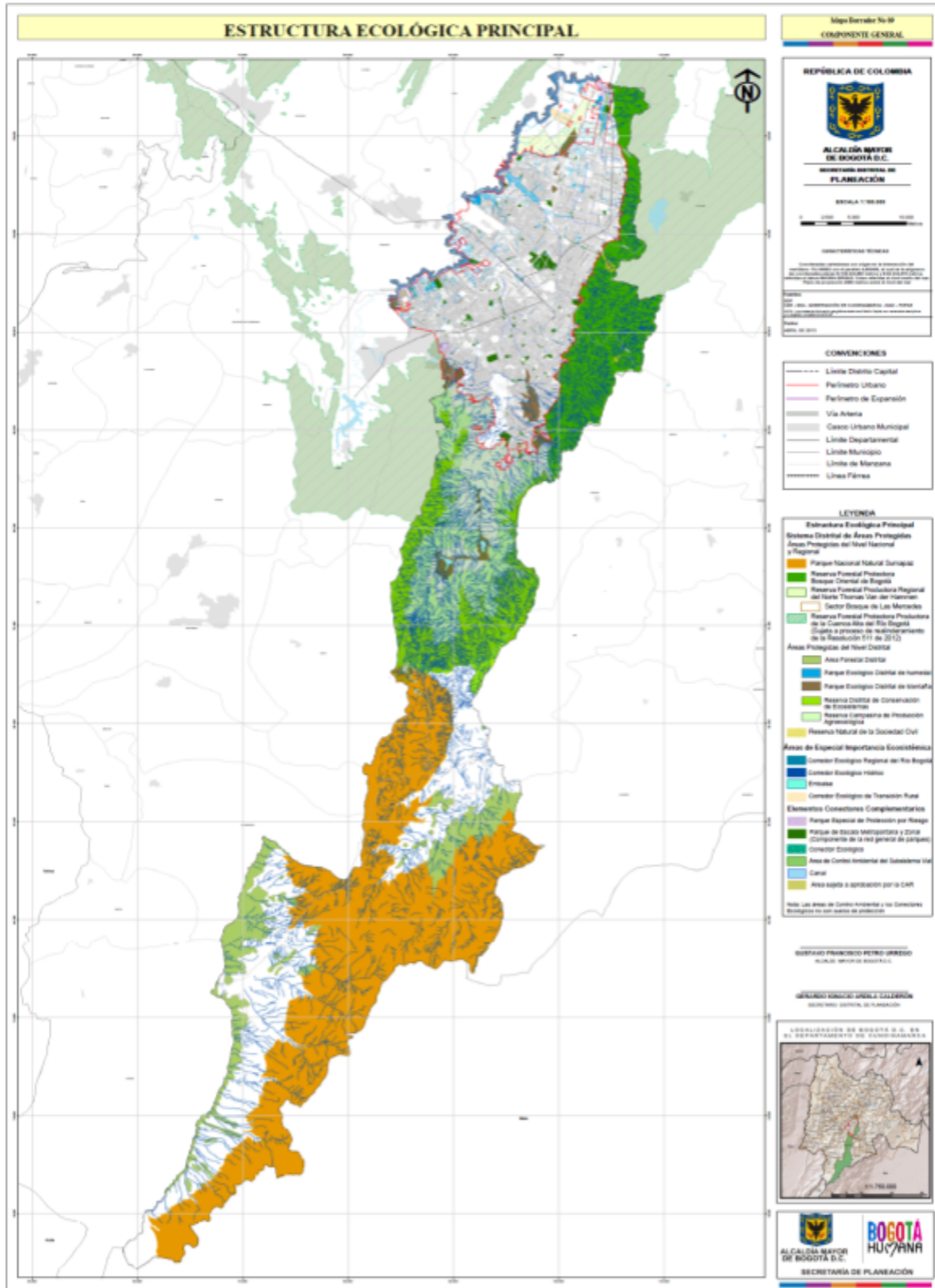


Imagen 8. Mapa estructura ecológica principal del Distrito Capital. Obtenido de: <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/es/resultados/especie/Puya%20nitida/>

Sistemas de Áreas Protegidas del Distrito Capital

Son espacios con valores singulares de patrimonio natural, este sistema tiene como objetivo preservar y restaurar muestras biológicas y ecológicas representativas y de tamaño de los ecosistemas propios del territorio capital, al tiempo que permite restaurar los ecosistemas que brindan servicios ambientales vitales para el desarrollo sostenible y se garantiza el disfrute colectivo del patrimonio natural o paisajístico de las áreas, teniendo en cuenta su régimen de uso. También estas áreas buscan promover la educación ambiental, la socialización de la responsabilidad colectiva de la conservación y fomentar la investigación científica sobre el funcionamiento y manejo de los ecosistemas propios del Distrito Capital. El Sistema de Áreas Protegidas del Distrito Capital tiene un aproximado de 82.334 ha, de las cuales el 98% es suelo rural y el 2% urbano; está integrado por la Reserva forestal protectora Bosque Oriental de Bogotá y el Parque Ecológico Distrital de Montaña entrenubes (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

- *Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá*

Es un área protegida de orden nacional, competencia de la CAR, declarada por acuerdo 30 de 1976 del INDERENA. Cuenta con aproximadamente 14.000 ha, sobre los cerros orientales de Bogotá atravesando las localidades de Usme, San Cristóbal, La Candelaria, Santa Fe, Chapinero, y Usaquén (Alcaldía Mayor de Bogotá & Secretaría Distrital de Planeación, 2015) entre los 2575 a 3575 msnm (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

La reserva forestal funciona como corredor ecológico regional con los Parques Nacionales Naturales Chingaza y Sumapaz, además funciona como andén biogeográfico que conecta con la Orinoquia por el suroriente, con Sumapaz por el sur, con la Cuenca del Magdalena por el sur occidente, con el páramo Guerrero por el norte y con el páramo Chingaza por el nororiente. Además, da origen a microcuencas afluentes del río Bogotá como los ríos Fucha y Tunjuelo en el sur, Teusaca en el oriente y Juan Amarillo y Torca en el norte (Alcaldía Mayor de Bogotá & Secretaría Distrital de Planeación, 2015), también se resaltan los ríos Yomasa, San Cristóbal, Teusaca, San Francisco y Arzobispo; y al costado oriental da origen a la cuenca del río Blanco que vierte al Orinoco (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

- *Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá “Thomas Van Der Hammen”*

El origen de la Reserva se remonta a la expedición de la Resolución 305 del 8 de marzo de 1999 por parte de la CAR, por la cual se objetó el Plan de Ordenamiento Territorial de Santafé de Bogotá, D. C., por lo que no se consideró:

- Los impactos sobre el desarrollo regional y de los municipios vecinos, puesto que no contenía estrategias ni programas para su manejo, ni contemplaba armonización de políticas y programas sectoriales de este instrumento con los municipios vecinos y la región.
- El proyecto de POT planteaba una expansión indefinida de la Ciudad, sin una previsión clara en materia de estrategias de control del crecimiento ni una política clara de localización de la población proyectada y de la inconvenientemente asentada, o el soporte ambiental de la disponibilidad de recursos naturales que requiera dicha expansión.
- No se presentó información que asegurara la puesta en marcha de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las desembocaduras de los ríos Fucha y Tunjuelo.
- Se perpetuaba y acentuaba el envío de aguas contaminadas hacia los municipios ubicados en la cuenca baja del río Bogotá, afectando gravemente sus opciones de desarrollo.
- La propuesta de llevar a cabo la disposición de residuos sólidos en la zona “Maleza de Suba”, único relicto de bosque sabanero en la planicie, era inconveniente.

Pero fue hasta 2011, que con el acuerdo 011 de ese año, la CAR declara la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., “Thomas Van der Hammen”, Reserva Forestal que debía formar parte de la Estructura Ecológica Principal del Distrito Capital, para efectos de planificación e inversión. Luego el Proyecto de acuerdo 246 de 2014, cambió el carácter de Reserva Forestal Regional a Parque Natural Regional, para asegurar el cumplimiento de lo ordenado por el Ministerio del Medio Ambiente mediante Resoluciones 475 y 621 de 2000 en donde se expresa la necesidad de garantizar la conectividad de los ecosistemas de la Reserva Forestal Protectora de los Cerros Orientales de Bogotá con el valle aluvial del Río Bogotá y su conformación como área de mantenimiento y/o recuperación de la cobertura vegetal protectora. Adicionalmente, los objetivos de conservación del Parque Natural Regional de Bogotá, D.C., “Thomas van der Hammen”, según el proyecto acuerdo, son:

- Preservar los hábitats necesarios para la sobrevivencia de especies vegetales y animales en están en algún grado de amenaza.
- Promover actividades orientadas al desarrollo del ecoturismo destacado la belleza natural y cultural con participación de la comunidad.
- Fomentar procesos de restauración con el fin de recuperar el ecosistema del Parque Natural Regional de Bogotá, D. C., “Thomas Van der Hammen”,
- Fortalecer la investigación sobre el uso y valoración de la biodiversidad, impulsando acuerdos de investigación entre las comunidades del área, la academia y centros de investigación a nivel distrital, regional, nacional e internacional.

Posteriormente, por medio de la resolución 835 de 2015, se declara como área de Reserva Forestal Regional Productora del norte de Bogotá D.C. “Thomas Van Der Hammen”, y se designa como área de utilidad pública e interés social para consolidar la conectividad ecológica, protección y restauración de los valores ambientales entre los cerros orientales (Alcaldía Mayor de Bogotá & Secretaria Distrital de Planeación, 2015). La resolución describe que en esta zona se encuentran ecosistemas de importancia regional como los Cerros Orientales, Cerro de la Conejera y de Torca, el valle aluvial del río Bogotá, y los humedales de Guaymaral – Torca. Estos ecosistemas son de especial importancia para garantizar la conectividad ambiental y funcional entre la Sabana central y el valle de los Ríos Bogotá y Frío en el costado Norte de la Sabana (Ver Imagen 9.).

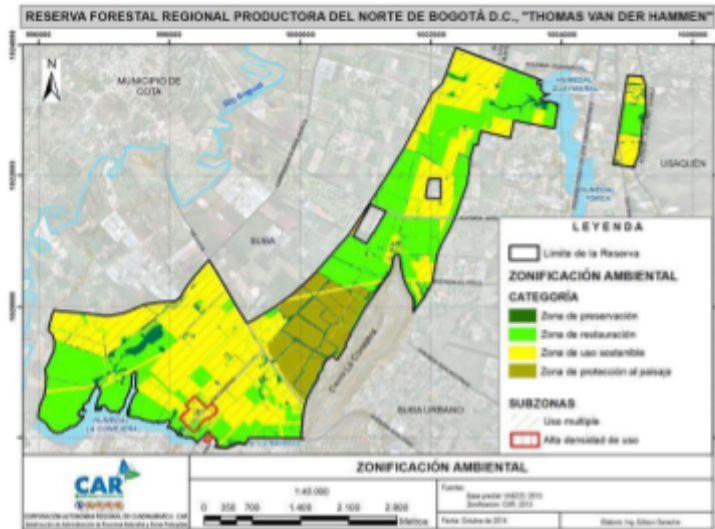


Imagen 9. Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. "Thomas Van Der Hammen". Obtenido de: <http://blogs.elspectador.com/el-mal-economista/files/2016/03/CAR.jpg>

- Área de manejo especial del río Bogotá

La asamblea departamental de Cundinamarca por medio de la ordenanza 110 de 2011, define el Área de Manejo Especial del Valle Aluvial del Río Bogotá, con el objetivo de potenciar el río como eje articulador de la estructura ecológica principal de la cuenca del Río Bogotá y planificar las inversiones que permitan mejorar la calidad del río y su entorno. Esta zona corresponde a la zona identificada con amenaza por inundación de acuerdo a la resolución 3194 de 2006, que figura en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá (CAR, 2006) (Ver Imagen 10.).



Imagen 10. Amenaza por Inundaciones. El color azul en el mapa indican las áreas de alta amenaza por inundaciones, las cuales se ubican principalmente en las subcuencas río Bogotá sector Tibitoc – Soacha, río Bogotá sector Salto Soacha, Embalse Muña y Embalse Tominé.. Obtenido de: CAR. (2006). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá, 104

- *Parque Ecológico Distrital de Montaña Entrenubes*

Este parque ecológico hace parte del grupo de cerros y montes de la cordillera oriental y fue declarado en el 2005 por el decreto 437 de ese año. Se localiza al extremo suroriental de Bogotá en las localidades de Rafael Uribe, San Cristóbal y Usme. Tiene un área de 626 ha. Está orientada a la preservación y restauración de flora y fauna nativa ya que constituye un ecotono bioclimático al encontrarse en una zona de transición climática y altitudinal. Además, posee gran valor hídrico ya que da origen a las microcuencas de las Quebradas: Chingaza, La Hoya del Ramo, Santa Librada y Yomasa. Se caracteriza por una vegetación de Subpáramo (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

Parques Urbanos a Escala Metropolitana y Zonal

Son espacios con cobertura vegetal de uso colectivo que actúan como reguladores del equilibrio ambiental y garantizan el espacio libre dedicado a la recreación, la contemplación y el ocio (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

- *Parques de Escala Metropolitana*

Son aquellos que tienen más de 10 ha y son de uso recreativo pasivo o activo. El más representativo es el Parque Metropolitano Simón Bolívar, el cual constituye un Complejo de parques urbanos, que abarca las localidades de Teusaquillo, Barrios Unidos y Engativá. Tiene un total de 373 ha y está conformado por:

El Complejo acuático

La Biblioteca Virgilio Barco

El Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

El Coliseo el Salitre

La Plazoleta de los Artesanos
 El Museo de Los Niños
 El Centro de Alto Rendimiento
 El Palacio de Los Deportes
 La Unidad Deportiva El Salitre
 El Parque de Diversiones Salitre Mágico
 El Parque acuático Cici Aquapark
 El Parque Recreo-deportivo El Salitre
 El Parque Metropolitano El Lago

Otros parques son:

	Ubicación	Área
Parque Metropolitano El Tunal	Localidad Tunjuelito	56.22 ha
Parque nacional Enrique Olaya Herrera	Localidad Santafé sobre cerros orientales	291 ha
Parque metropolitano Timiza	Localidad Kennedy	42 ha
Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente (Ed.). (2007). Atlas Ambiental de Bogotá. Bogotá D.C.		

Además de otros de menor tamaño como Guaymaral, De Indio o de las cometas, Canal los molinos, Ronda del río Fucha, Gibraltar y Ronda del río Tunjuelo. (Secretaria Distrital de Ambiente, 2007)

Coberturas vegetales del Distrito Capital

Las principales coberturas naturales vegetales del Distrito Capital son los páramos, los bosques, los humedales de planicie y los rastrojos (Secretaria Distrital de Ambiente, 2007).

Páramos

Se distribuyen en los Cerros Orientales, principalmente en las localidades de Chapinero, Santafé y Sumapaz, en la franja de transición del páramo de Cruz Verde. La vegetación característica se agrupa en frailejonales y pajonales, pero se encuentran romerales, chuscales, matorrales y herbazales; estos últimos, en los Cerros Orientales, se encuentran sobre todo en el nacimiento quebrada San Francisco, pero hay presencia de herbazales también en el valle del río Tunjuelo, el Parque Entrenubes y la vereda Los Soches (Secretaria Distrital de Ambiente, 2007).

Bosques

Se subdivide en bosque alto andino, bosque andino bajo y bosques secundarios.

- Bosque alto andino

Se caracterizan por ser bosques remanentes de distintos tamaños y en diferentes grados de conservación. Se pueden encontrar en la microcuenca de la Quebrada las Delicias, donde predominan el encenillo (*Weinmannia tomentosa*), Canelo de páramo (*Drimys granadensis*) y Gaque (*Clusia multiflora*); en el Parque entrenubes, en el cual predomina el Aliso, y en Sumapaz, donde se encuentran bosques bajos de tagua y enanos de rodamonte (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

- Bosque andino bajo

El área de cobertura es menor por la creciente urbanización, se encuentra en la región de Torca y se caracteriza por especies vegetales que seguramente ocuparon la parte baja de los Cerros y zonas inundadas de Bogotá como: *Xylosma spiculiferum*, *Miconia salvifolium*, *Verbesina sp*, *Viburnum tinoides*, *Phyllanthus salviaefolia* y *Rhamnum lineariflora* (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

- Bosques secundarios

Se encuentran sobre la cuenca alta y media de Rio Teusacá, donde imperan el encenillo, los gaques, el ejicillo (*Drimys winteri*), el pegamosco (*Befaria aestuans*), el mulato (*Ilex kunthana*), la uva de anís, la tagua (*Gaiadedron punctatum*) y el tuno negro (*Misonia sp*). También, en los cerros de Suba, en la Conejera, donde la vegetación es similar a la de los bosques de planicie con especies como espino coronado (*Duranta mutisii*), raque (*Vallea stipularis*), garrocho (*Viburnum triphyllum*), espino (*Berberis sp*), pasto cortadera (*Costaderia sp*) y laurel de cera (*Myrica parvifolia*); y en el bosque de las mercedes o maleza al Occidente de Suba, conformado por remanentes de bosque de planicie con palo blanco (*Ilex kunthiana*), raque (*Vallea stipularis*), té de Bogotá (*Symplocos theiformis*), amarguero (*Eupatorium sp*), cerezo (*Prunus serotina*), aliso (*Alnus acuminata*), arboloco (*Smalanthus pyramidalis*) y chilca (*Baccharis latifolia*), entre otros (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

- Rastrojos

Son formaciones arbustivas que representan estados tempranos de sucesión por el abandono de tierras de cultivo y pastizales, observables en la Cuenca alta y media del río Teusacá, el cerro La Conejera, la cuenca del río Tunjuelo, las áreas rurales de San Cristóbal, el Parque entrenubes y el Parque Los Soches. Se caracteriza por la presencia de tunos (*Miconia sp*), cucharos (*Geissanthus andinus*), uñegato (*Berberis goudotii*), encenillo y gaques, aunque en las partes planas de los cerros de Suba pueden encontrarse espadero (*Myrsine ferruginea* y *M. guianensis*), mortiño (*Hesperomeles sp*), mano de oso (*Oreopanax sp*) y arrayán (*Mycianthes leucoxylla*) (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

- Humedales de planicie

Esta vegetación se distribuye a manera de cinturones de vegetación e incluye vegetación terrestre y acuática. Pero ha sufrido procesos de extinción y reducción de su área debido a la urbanización y contaminación de sus aguas. Se caracteriza por especies nativas que tienen la capacidad de acumular materia orgánica, ser autodepuradoras, mantenedoras de la calidad del agua y proporcionar sitios de anidación para aves, al tiempo que son indicadoras del estado del ecosistema, como el junco (*Juncus sp*), la enea (*Typha latifolia*), el chandur (*Cyperus acuminatus*), la sombrilla de agua (*Hydrocotyle nepalense*) y la lengüevaca (*Rumex conglomeratus*). La presencia de especies exóticas es otro gran problema de los humedales, la presencia de eucalipto (*Eucaliptus globulus*), urapanes (*Fraxinus chinensis*), acacias (*Acacia spp*), cipreses (*Cupressus urapanes*) y pinos (*Pinus spp*) contribuye al secamiento acelerado y la pérdida del espejo de agua (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

Flora del Distrito Capital

El Distrito Capital pertenece a la Provincia biogeográfica Norandina, y a su vez al distrito Andino Oriental: Sabana de Bogotá, hasta los 3.200 msnm, que incluye los páramos de la Cordillera Oriental y Sumapaz. En los cerros Orientales se han reportado 6 familias con mayor número de especies que son *Orchidaceae* (118), *Bromeliaceae* (47), *Asteraceae* (38), *Ericaceae* (19), *Melastomataceae* (19) y *Rosaceae* (15), el páramo de esta zona posee la mayor riqueza de especies, 184 especies, de las cuales 18 son endémicas, mientras que el subparamo comprende 282 especies y el bosque alto andino 298 especies.

En los cerros Surorientales y valle del Tunjuelo, se ve disminuida la riqueza por la alta intervención. Y se reportan 16 especies de la familia *Asteraceae*, 9 especies de *Eriaceae* y 11 de *Melastomataceae*. Para Sumapaz las familias con mayor riqueza son *Asteraceae* (117), *Poaceae* (48), *Orchidaceae* (26), *Scrophulariaceae* (25), *Melastomataceae* (24), *Rosaceae* (23) y *Bromeliaceae* (21). En las colinas de Suba las familias *Asteraceae*, *Rosaceae*, *Ericaceae* reportan 4 especies cada una, y las *Mimosaceae* y *Solanaceae* 3 cada una. Por último, de los humedales de planicie el humedal Conejera presenta la mayor riqueza con 102 especies, seguido de Córdoba con 79, Santa María del Lago (42), Tibanica (40), Torca- Guaymaral (38) y Juan amarillo (35) (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

Marco normativo

Norma	Descripción
Constitución Política de Colombia 1991	<p><i>Art. 1.</i> Colombia es un Estado social de derecho, organizado en forma de República unitaria, descentralizada, con autonomía de sus entidades territoriales, democrática, participativa y pluralista, fundada en el respeto de la dignidad humana, en el trabajo y la solidaridad de las personas que la integran y en la prevalencia del interés general.</p> <p><i>Art. 8.</i> "Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación".</p> <p><i>Art. 79</i> "Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p> <p><i>Art. 80.</i> "El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas".</p> <p><i>Art. 95.</i> "Establece que toda persona está obligada a cumplir con la Constitución y las leyes y dentro de los deberes de la persona y el ciudadano, establece en su numeral 8°. El de "Proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano".</p>

Ley 2ª de 1959	Por medio del cual se crean las "Zonas Forestales Protectoras" y "Bosques de Interés General".
Ley 99 de 1993	<p>Por medio de la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental, SINA.</p> <p><i>Art. 1. Principios Generales Ambientales.</i> La política ambiental colombiana seguirá los siguientes principios generales:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo. 2. La biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible. 3. Las políticas de población tendrán en cuenta el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza. 4. Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial. 5. En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.
Norma	Descripción
	<ol style="list-style-type: none"> 6. La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente. 8. El paisaje por ser patrimonio común deberá ser protegido. 10. La acción para la protección y recuperación ambientales del país es una tarea conjunta y coordinada entre el Estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado. El Estado apoyará e incentivará la conformación de organismos no gubernamentales para la protección ambiental y podrá delegar en ellos algunas de sus funciones. 12. El manejo ambiental del país, conforme a la Constitución Nacional, será descentralizado, democrático y participativo. 13. Para el manejo ambiental del país, se establece un Sistema Nacional Ambiental, SINA, cuyos componentes y su interrelación definen los mecanismos de actuación del Estado y la sociedad civil. 14. Las instituciones ambientales del Estado se estructurarán teniendo como base criterios de manejo integral del medio ambiente y su interrelación con los procesos de planificación económica, social y física. <p><i>Art. 65. Funciones de los Municipios, de los Distritos y del Distrito Capital de Bogotá:...</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 2) Dictar con sujeción a las disposiciones legales reglamentarias superiores, las normas necesarias para el control, la preservación y la defensa del patrimonio ecológico del municipio...".

Ley 165 de 1994	Por la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992, que tiene como objetivo la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, mediante, entre otras cosas, un acceso adecuado a esos recursos y una transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, teniendo en cuenta todos los derechos sobre esos recursos y a esas tecnologías, así como mediante una financiación apropiada
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. <i>Art. 16.</i> Protección de zonas de manejo especial. ...las zonas de páramo, bosques de niebla y áreas de influencia de nacimientos acuíferos y de estrellas fluviales, deberán ser adquiridos o protegidos con carácter prioritario por las autoridades ambientales, entidades territoriales y entidades administrativas de la jurisdicción correspondiente, ...
Decreto Ley 2811 de 1974 Código Nacional de Recursos Naturales	<i>Art. 1.</i> "El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social. La preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social".
Norma	Descripción
Renovables y de Protección al Medio Ambiente	<i>Art. 7.-</i> Toda persona tiene derecho a disfrutar de un ambiente sano. <i>Art.15.-</i> Por medios de comunicación adecuada, se motivará a la población para que formule sugerencias y tome iniciativas, a la protección ambiental y para el mejor manejo de los recursos naturales, y se adelantarán programas de divulgación y adiestramiento en la identificación y manejo de sustancias nocivas al ambiente. <i>Art. 47.</i> "Sin perjuicio de los derechos legítimamente adquiridos por terceros o de las normas especiales de este código, podrá declararse de reserva una porción determinada o la totalidad de recursos naturales renovables de una región o zona cuando sea necesario para organizar o facilitar la prestación de un servicio público, adelantar programas de restauración, conservación o preservación de esos recursos y del ambiente, o cuando el Estado resuelva explotarlos. Mientras la reserva esté vigente, los bienes afectados quedarán excluidos de concesión o autorización de uso a particulares".
Acuerdo 30 de 1976	Por el cual se declaran el Área de Reserva Forestal Protectora a la zona denominada Bosque Oriental de Bogotá, ubicada en jurisdicción del Distrito Especial de Bogotá y el Área de Reserva Forestal Protectora - Productora la Cuenca Alta del Río Bogotá.
Decreto 2372 de 2010	Por el cual se reglamenta el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y las categorías de manejo que lo conforman. <i>Art. 3.</i> Sistema Nacional de Áreas Protegidas, Sinap. El Sistema Nacional de Áreas Protegidas es el conjunto de las áreas protegidas, los actores sociales e institucionales y las estrategias e instrumentos de gestión que las articulan, que contribuyen como un todo al cumplimiento de los objetivos generales de conservación del país.

	<p><i>Art. 3.</i> Objetivos de conservación de las áreas protegidas del Sinap. Las áreas protegidas que integran el Sinap responden en su selección, declaración y manejo a unos objetivos de conservación, amparados en el marco de los objetivos generales. Esas áreas pueden cumplir uno o varios de los objetivos de conservación que se señalan a continuación:</p> <p>a) Preservar y restaurar la condición natural de espacios que representen los ecosistemas del país o combinaciones características de ellos.</p> <p>b) Preservar las poblaciones y los hábitats necesarios para la sobrevivencia de las especies o conjuntos de especies silvestres que presentan condiciones particulares de especial interés para la conservación de la biodiversidad, con énfasis en aquellas de distribución restringida.</p> <p>c) Conservar la capacidad productiva de ecosistemas naturales o de aquellos en proceso de restablecimiento de su estado natural, así como la viabilidad de las poblaciones de especies silvestres, de manera que se garantice una oferta y aprovechamiento sostenible de los recursos biológicos.</p> <p>d) Mantener las coberturas naturales y aquellas en proceso de restablecimiento de su estado natural, así como las condiciones ambientales necesarias para regular la oferta de bienes y servicios ambientales.</p>
Norma	Descripción
	<p>e) Conservar áreas que contengan manifestaciones de especies silvestres, agua, gea, o combinaciones de estas, que se constituyen en espacios únicos, raros o de atractivo escénico especial, debido a su significación científica, emblemática o que conlleven significados tradicionales especiales para las culturas del país.</p> <p>f) Proveer espacios naturales o aquellos en proceso de restablecimiento de su estado natural, aptos para el deleite, la recreación, la educación, el mejoramiento de la calidad ambiental y la valoración social de la naturaleza.</p> <p>g) Conservar espacios naturales asociados a elementos de cultura material o inmaterial de grupos étnicos.</p> <p><i>Art.10.</i> Áreas protegidas del Sinap. Las categorías de áreas protegidas que conforman el Sinap son:</p> <p>Áreas protegidas públicas:</p> <p>a) Las del Sistema de Parques Nacionales Naturales.</p> <p>b) Las Reservas Forestales Protectoras.</p> <p>c) Los Parques Naturales Regionales.</p> <p>d) Los Distritos de Manejo Integrado.</p> <p>e) Los Distritos de Conservación de Suelos.</p> <p>f) Las Áreas de Recreación.</p> <p>Áreas Protegidas Privadas:</p> <p>g) Las Reservas Naturales de la Sociedad Civil.</p> <p><i>Art. 29.</i> Ecosistemas estratégicos. Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos como áreas de especial importancia ecológica gozan de protección especial, por lo que las autoridades ambientales deberán adelantar las acciones tendientes a su conservación y manejo, las que podrán incluir su designación como áreas protegidas...</p>

Decreto Ley 1421 de 1993	Por el cual se dicta el régimen especial para el Distrito Capital de Bogotá", que en su artículo 12 señala las atribuciones correspondientes al concejo distrital, que entre otras, son: 7°. Dictar las normas necesarias para garantizar la preservación y defensa del patrimonio ecológico, los recursos naturales y el medio ambiente.
Acuerdo 19 de 1996, del Concejo de Santa Fe de Bogotá D.C.	Por el cual se adopta el Estatuto General de Protección Ambiental del Distrito Capital de Santa Fe de Bogotá y se dictan normas básicas necesarias para garantizar la preservación y defensa del patrimonio ecológico, los recursos naturales y el medio ambiente. <i>Art. 8.</i> Funciones de las Entidades del SIAC. Modificado por el art. 1, Acuerdo Distrital 248 de 2006. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN DISTRITAL - DAPD El DAPD pertenece al grupo uno de las entidades del SIAC definidas en el artículo anterior. Su principal función como integrante del SIAC es la incorporación de consideraciones ambientales en los procesos de zonificación y reglamentación de los usos del suelo y del espacio público en el Distrito Capital.
Norma	Descripción
	JARDÍN BOTÁNICO El Jardín Botánico pertenece al grupo dos de las entidades del SIAC definidas en el artículo anterior. Como integrante de ese grupo le corresponde principalmente: divulgar la flora de la región, promover la diversidad genética de las especies forestales de la ciudad y realizar estudios sobre la diversidad florística del distrito....
Resolución 475 de 2000	Definición de las áreas correspondientes a los denominados bordes norte y noroccidental de Santa Fe de Bogotá Distrito Capital, cuya decisión fue diferida mediante la Resolución No. 1153 del 15 de diciembre de 1999.
Resolución 839 de 2003	Por la cual se establecen los términos de referencia para la elaboración del Estudio sobre el Estado Actual de Páramos y del Plan de Manejo Ambiental de los Páramos.
Decreto 190 de 2004	Derogado por el art. 565, Decreto Distrital 364 de 2013. Por el cual se decreta el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, D. C.
Decreto 437 de 2005	Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Montaña Entrenubes y del Corredor de Restauración Santa Librada Bolonia
Resolución 3194 de 2006	Por la cual se aprueba el plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá.
Decreto 607 de 2011	Por medio del cual se adopta la Política Pública para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital.
Decreto 364 de 2013	Suspendido provisionalmente por Auto CE 624 de 2014. Por el cual se modifican excepcionalmente las normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D. C.
Proyecto de acuerdo 246 de 2014	Por el cual se declara la reserva forestal regional productora del norte de Bogotá, "Thomas Van der Hammen" como parque natural regional de Bogotá, d. c. "Thomas Van der Hammen
Resolución 835 de 2015	Por medio de la cual se declara de utilidad pública e interés social áreas de terreno prioritarias para consolidar la conectividad ecológica, protección y

	restauración de los valores ambientales entre los cerros orientales, el área de reserva forestal regional productora del norte de Bogotá D.C. "Thomas Van der Hammen" y el río Bogotá.
Proyecto de acuerdo 230 de 2015	Por medio del cual se establece una estrategia para la protección de ecosistemas de páramo, subpáramo y bosque altoandino en el Distrito Capital, promover la investigación de los ecosistemas de alta montaña y el conocimiento de los mismos, así como la capacitación de los pobladores históricos de las zonas protegidas para el fortalecimiento en los procesos de protección y manejo de producción sostenible compatible con la conservación, aprovechando la localización biogeográfica del Instituto Educativo Distrital "El Verjon" localizado en la vereda Verjon Alto de la localidad de Santa Fe, en Cerros Orientales, como escenario de investigación y capacitación en la protección y conservación de los ecosistemas de alta montaña, vinculado a la Universidad Distrital y al Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.

Marco Metodológico

Especies e información ambiental

Selección de especies

El uso de los taxones es un enfoque ampliamente usado para contrarrestar las limitaciones de la escasez de datos sobre la distribución de la biodiversidad y para determinar áreas de protección en miras de optimizar la conservación de la biodiversidad en una región (Graham, Ferrier, Huettman, Moritz, & Peterson, 2004). Por lo que, para el caso de esta investigación se seleccionó el género *Puya*, basándose en los intereses de conservación del Banco de semillas del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, el cual está enfocado en especies altoandinas especialmente de zonas de páramo, y en vista de que el género *Puya* es muy representativo de las zonas de páramo y muchas de sus especies se encuentran en algún grado de amenaza, busca conservar y proteger estas especies por medio de su almacenamiento ex situ (Calderón Hernandez , 2016), de esta revisión resultado las siguientes especies de *Puya*:

- *Puya goudotiana*
- *Puya santosii*
- *Puya lineata*
- *Puya trianae*
- *Puya horrida*
- *Puya nítida*

De las cuales el banco de semillas tiene almacenadas actualmente 4 especies: *P. nitida*, *trianae*, *santosii* y *horrida*. Se han tenido excelentes resultados con los experimentos germinación y todas las especies fueron ortodoxas (Calderón Hernandez , 2016), es decir que son semillas que pueden secarse hasta un contenido de humedad bajo, de alrededor del 5 por ciento (peso en húmedo), y almacenarse perfectamente a temperaturas inferiores a 0°C durante largos períodos de tiempo (Willan, 1991).

Posteriormente, para la selección inicial de las especies a modelar se tomaron en cuenta los criterios para la priorización de especies en Colombia, establecido por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y la Red Nacional de Jardines Botánicos (García, Moreno, Londoño, & Sofrony, 2001) (Ver. Imagen 11.). Luego se tomaron las especies con el mayor valor para

después evaluarlas de acuerdo al número de reportes georreferenciados de la especie en las bases de datos del SIB Colombia y el Global Biodiversity Information Facility (GBIF), además se tomó en cuenta si la especie poseía un modelo previamente elaborado y disponible en la página web del Programa de Evaluación y Monitoreo de la Biodiversidad (BioModelos) del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia (2013) (Ver. Tabla 5.); todo esto con el objetivo de obtener una lista reducida donde se hagan evidentes aquellos casos donde hay mayor urgencia de conservación y en los que es posible una gestión rápida y eficaz (García et al., 2001).

Para el caso de la evaluación de los criterios para la priorización de especies en Colombia, establecido por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y la Red Nacional de Jardines Botánicos (Ver. Tabla 6.); los valores correspondientes al valor ecológico y la singularidad genética se evaluaron de acuerdo a la información disponible sobre la familia (*Bromeliaceae*) y el género (*Puya*); el nivel de amenaza se evaluó de acuerdo a las categorías de amenaza asignadas para cada especie por el Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 3: Las bromelias, las labiadas y las pasifloras (Betancur, J & N. García, 2006), por lo tanto no se aplicaron los criterios de distribución y tendencia de las poblaciones. Por último, la amenaza local se le asignó el valor 1 para todas al no encontrar bibliografía al respecto, por ende es de carácter desconocido. Esta fase dio como resultado de especies a priorizar: *Puya goudotiana*, *Puya santosi*, *Puya lineata*, *Puya horrida* y *Puya nítida*; la especie *Puya trianae* fue descartada al tener un nivel de amenaza de preocupación menor. Pasó seguido, se evaluaron estas especies bajo los criterios que figuran en la tabla 5., dando como resultado de especies a modelar (Ver. Tabla 7.): *Puya goudotiana* (0.66), *Puya santosii* (2.04) y *Puya nitida* (1.68); se descartaron las especies *Puya lineata* y *Puya horrida*, debido al limitado número de registros.

Criterio	VALOR				%
	Valor: 4	Valor: 3	Valor: 2	Valor: 1	
Valor ecológico	Taxón clave o estructurante (especie más dominante, hospedador de especies endémicas, especificidad con polinizadores, etc.)	Taxón de papel significativo en el ecosistema, pudiendo compartir dicho rol con una o dos especies más de su mismo grupo taxonómico	El papel ecológico en el ecosistema es compartido por otras 3, 4 o 5 especies de su mismo grupo taxonómico	El papel ecológico en el ecosistema es compartido por más de 5 especies de su mismo grupo taxonómico	20
Distribución	Distribución extremadamente restringida	Distribución estrecha: pocos lugares dentro del territorio	Distribución moderada: se sabe de algunos lugares donde se encuentra pero no se ha confirmado	Distribución amplia: se conoce la distribución	20
Tendencia de las poblaciones	Poblaciones decreciendo en los últimos años	Poblaciones sin disminución significativa en los últimos años	Poblaciones en recuperación o restauración en curso en los últimos años	Poblaciones en crecimiento en los últimos años	20
Singularidad genética	Taxón de una familia monotípica	Taxón de un género monotípico	Taxón que pertenece a un género con 4 o menos especies	Taxón que pertenece a un género de más de 4 especies	10
Nivel de amenaza*	Especie en peligro crítico	Especie en peligro	Especie vulnerable	Casi amenazado	40
Amenaza local	Muy amenazado	Moderadamente amenazado	Ligeramente amenazado	No amenazado o desconocido	10

Imagen 11. Criterios para la priorización de especies en Colombia, establecido por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y la Red Nacional de Jardines Botánicos. Fuente: García, H., Moreno, L. A., Londoño, C., & Sofrony, C. (2001).

Criterio	Datos		Valor	%	
	N°				
N° de registros geográficos	0 a 175		0	GBIF	34
	176 a 351		1		
	352 a 526		2		
	527 a 701		3	SIB Colombia	34
	más de 703		4		

Presencia de Biomodelos- Humboldt	Presencia	0	32
	Ausencia	1	

Tabla 6. Evaluación de criterios para la priorización de especies en Colombia, establecido por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y la Red Nacional de Jardines Botánicos

Especie	Criterio				Total	
	Valor ecológico (20%)	Singularidad genética (10%)	Nivel de amenaza (40%)			Amenaza local (10%)
<i>Puya goudotiana</i>	4	1	NT	2	1	1.8
<i>Puya santosii</i>	4	1	NT	2	1	1.8
<i>Puya lineata</i>	4	1	NT	2	1	1.8
<i>Puya trianae</i>	4	1	LC	1	1	1.4
<i>Puya horrida</i>	4	1	CR	4	1	2.6
<i>Puya nítida</i>	4	1	NT	2	1	1.8

CR	Peligro Critico
NT	Casi amenazado
LC	Preocupación menor

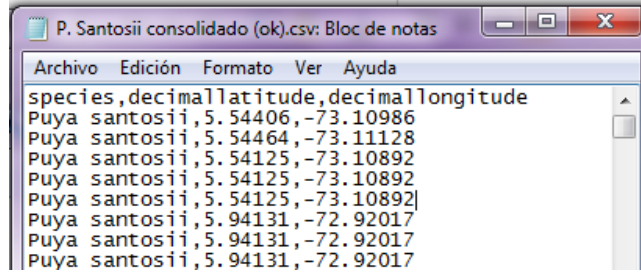
Tabla 7. Evaluación de criterios de acuerdo al número de reportes georeferenciados y presencia de Biomodelo –Humboldt

Especie	Criterio				Total	
	N° de registros geográficos		Presencia de Biomodelos-Humboldt (32%)			
	SIB Colombia (34%)	GBIF (34%)				
<i>Puya goudotiana</i>	96	0	224	1	1	0.66
<i>Puya santosii</i>	457	2	840	4	0	2.04
<i>Puya lineata</i>	1	0	10	0	1	0.32
<i>Puya horrida</i>	1	0	3	0	1	0.32
<i>Puya nítida</i>	226	1	535	3	1	1.68

Datos de solo-presencia de especies

Se obtuvieron los datos de solo-presencia georeferenciados de la base de datos de accesiones del banco de semillas del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino mutis y del herbario virtual de esta institución, así como datos suministrados por el funcionario Carlos Suarez, de la Subdirección científica del Jardín Botánico. También se descargaron los datos del geoportal SIB Colombia y del GBIF. Todos los datos se manejaron en coordenadas decimales.

Estos se transformaron a formato .csv, en el siguiente orden: species (especies), decimallatitude (latitud decimal), decimallongitude (longitud decimal), como se muestra a continuación:



Capas ambientales

Las capas ambientales, corresponden al grupo de predicciones ambientales a lo largo de un área delimitada dividida en una rejilla de datos geográficos (Merow, Smith, & Silander, 2013), las predicciones usadas fueron las 19 variables ambientales que suministra Bioclim, que representan variables continuas. Con ayuda de Arcmap, estas capas se recortaron para la región central de país y se transformaron a formato .asc, formato admitido por Maxent.

Modelación

Para la modelación de la distribución potencial se usó el programa Maxent, el cual tiene una aproximación mecanicista (Illoldi & Escalante, 2008) y realiza comparaciones relativas entre estas tasas de ocurrencia en las celdas de la rejilla de datos, dando como resultado una tasa relativa de ocurrencia, la cual describe la probabilidad relativa de que una celda este contenida en un grupo de datos de presencia (Merow et al., 2013).

Parámetros de Maxent

Datos de entrada o inputs

Los datos de entrada o “input” del sistema se dividen en las muestras (samples), que serían los Datos de solo-presencia de especies, y las capas ambientales (Environmental layers) (Ver Imagen 12.).

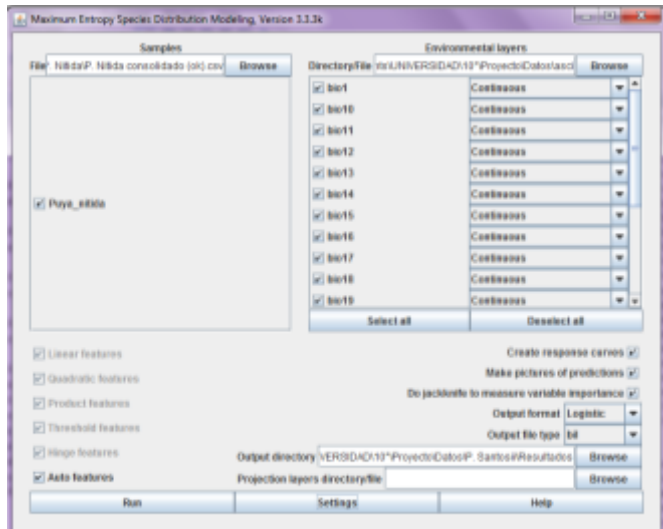


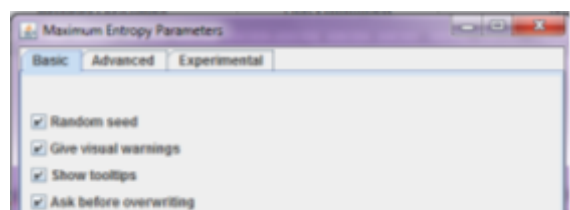
Imagen 12. Ventana principal de Maxent.

Configuraciones de Maxent

- *Create response curves* (curvas de respuesta): permite una visualización rápida de las formas de las respuestas arrojadas por el modelo.
- *Make pictures of predictions* (crear imágenes de las predicciones): Provee imágenes de la proyección geográfica de los resultados del modelo.
- *Do Jackknife to measure variable importance* (hacer Jackknife para medir la importancia de las variables) Permite un análisis de la contribución de cada variable a las características finales del modelo (Townsend Peterson & Cohoon, 1999).
- *Auto features* (configuraciones automáticas): usa el mecanismo de análisis de Maxent.

Parámetros de modelación de Maxent (Settings)

De igual forma los parámetros de modelación usados (Ver Imagen 13.) para realizar los modelos fueron los siguientes:



- *Random seed*: Toma grupos de datos al azar de los puntos de muestreo que se utilizan durante cada ejecución del modelo para la probarlo y el entrenarlo (Solomon Ha'aeo, 2015).
- *Random test percentage* (porcentaje de datos de verificación): Es el porcentaje de datos de presencia a ser utilizados como puntos de prueba en la evaluación del modelo (Solomon Ha'aeo, 2015), que en este caso corresponde al 20% (Gutiérrez Fajardo, 2016).
- *Replicates* (Replicas): Es el número de veces que se corre el modelo (Solomon Ha'aeo, 2015), para este caso 100 veces.
- *Replicated run type* (tipo de ejecución del replicado): Se usó bootstrap, el cual se realiza de forma automática y permite estimar, a través del remuestreo de los datos observados, una función de distribución empírica, y el modelo más seleccionado no se ve afectado por autocorrelación, puesto que de dos variables de autorelación X_1 y X_2 , aunque se excluya X_2 del proceso de selección del modelo, X_1 puede ser tomada como un predictor independiente en todas las muestras bootstrap (Cruz-Cárdenas, Villaseñor, López-Mata, Martínez-Meyer, & Ortiz, 2014).

Datos de salida u outputs

La salida logística, se da como resultado después del procesamiento de la salida cruda o raw de Maxent muestra la tasa de ocurrencia relativa, la cual se considera una aproximación a la distribución potencial y se traduce en una medida de similitud de los ambientes en cada celda a las celdas donde la especie ha sido observada, es decir la probabilidad aproximada $p(x|Y = 1)$ de que se produzcan las especies (Y) dentro de una celda (x) de cuadrícula específica, la salida logística toma el supuesto de que se conoce el valor de probabilidad de observación a las celdas o ambientes llamados "típicos" (Soberon, 2012), por lo tanto se considera que la salida logística de Maxent es una aproximación a la verdadera probabilidad de presencia; el valor de probabilidad típica asignado por es 0.5 y aunque puede ser cambiado se recomienda no hacerlo (Comision Nacional de Biodiversidad & University of Kansas, 2014). Esta salida facilita la interpretación de la probabilidad de la presencia de las especies (Solomon Ha'aeo, 2015).

Por último, el "Output file type" o tipo de archivo de salida es el formato .asc, con el objetivo de visualízalos y procesarlos en Arcmap.

Amenazas y oportunidades para la conservación de la alta montaña del Distrito Capital

Identificación de amenazas a la conservación

Las amenazas antrópicas se evaluaron realizando un mapa de conflictos de uso del suelo teniendo en cuenta el mapa de áreas transformadas disponible en el geovisor del SIAC, la cual incluye: agroecosistemas de cultivos semipermanentes (Palma, café, caña, banano, invernaderos), agroecosistemas ganaderos, áreas agrícolas heterogéneas, áreas con predominio de vegetación secundaria, áreas mayormente alteradas, áreas urbanas, bosque secundario y plantaciones forestales. Se realizó un análisis para las localidades en el cual, se determinó el área de distribución para las especies evaluadas y el área por conflicto de uso, con el fin de determinar el porcentaje de pérdida del área de distribución potencial de especies de *Puya* evaluadas y planificar acciones locales.

Identificación de oportunidades de conservación

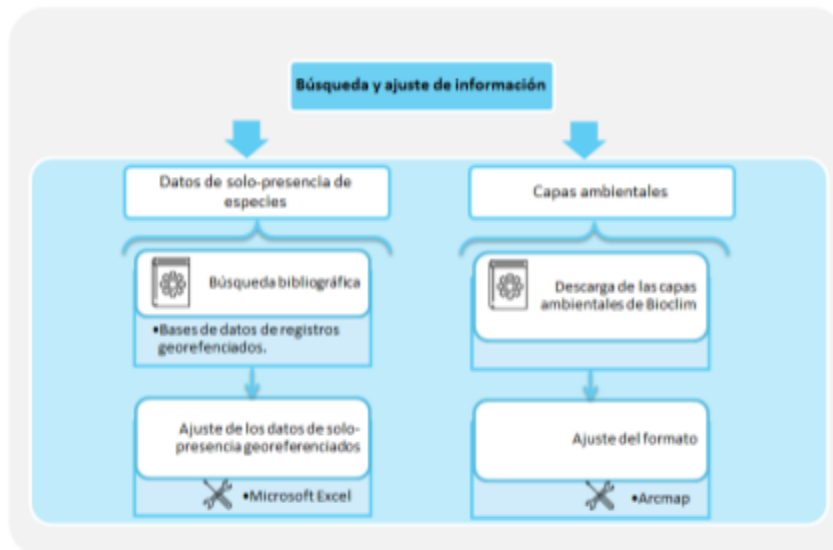
Después de la evaluación de los conflictos de uso del suelo se tomaron las áreas correspondientes a bosques secundarios o áreas con predominio de vegetación secundaria, como una oportunidad para la

conservación. Ya que los bosques secundarios, los cuales se originan a partir del abandono de tierras agrícolas y pastizales (Smith, Sabogal, de Jong, & Kaimowitz, 1997), ya que estas constituyen una gran proporción de la cubierta forestal, con potencial de ser incluidas en las áreas protegidas al poseer tienen un alto potencial para la conservación de la biodiversidad puesto que constituyen zonas de amortiguamiento que podrían establecerse alrededor de áreas de alta biodiversidad (FAO, 2002). Se evaluó las áreas de distribución potencial que se encontraban fuera de las áreas protegidas por el POT (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004), los complejos de páramo definidos por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012), y el Sistema de Parques Nacionales Naturales. Con el fin de identificar estas zonas que puedan ser anexadas a dichas áreas protegidas.

Además, la reforestación de estas zonas constituye una de las estrategias clave para restaurar algunos de los servicios económicos y ecológicos de los bosques primarios; a nivel ecológico ayuda a recuperar la productividad del sitio, regular los flujos de agua y la erosión del suelo, servir de ecosistema para el establecimiento de especies de plantas y animales, entre otros (Smith et al., 1997). Por lo que pueden ser usados como áreas para la recuperación y restauración de las especies de *Puya* evaluadas y del ecosistema asociado a las mismas.

Aplicación de la metodología

La metodología se desarrolló en 4 etapas como se muestra en el esquema a continuación:



Resultados y análisis de resultados

Mapas de distribución potencial

Sobre los mapas arrojados por Maxent se utilizó un valor de corte diferente para cada especie modelada, tomado del valor promedio “Equal test sensitivity and specificity logistic threshold” reportado el programa (Ver Tabla 8.), que hace referencia a los umbrales de sensibilidad y especificidad, el primero es el porcentaje de acierto en los puntos de presencia, y el segundo, el porcentaje de acierto en los puntos de ausencia (Varela, Mateo, García-Valdés, & Fernández-González, 2014). Esto con el objetivo de considerar una alta probabilidad de presencia de las condiciones ambientales que describen el nicho de la especie (Gutiérrez Fajardo, 2016) (Liu, Berry, Dawson, & Pearson, 2005) y generar mapas binarios con resultados más ajustados (Varela et al., 2014).

Tabla 8. Valor de los umbrales de sensibilidad y especificidad para cada especie de <i>Puya</i>	
Especie	Valor
<i>Puya goudotiana</i>	0,1296
<i>Puya santosii</i>	0,1235
<i>Puya nitida</i>	0,2099

De igual forma, al superponer la capa correspondiente a los complejos de páramo se observó que la zona correspondiente al área de distribución potencial ocupa un amplia superficie de dichos complejos; esto se debe a que es una especie característica del orobioma de páramo (Espinosa, Aguilar & Escalante, 2001). Pero en vista de que el lugar de búsqueda para la colecta de germoplasma sería muy amplia se realizó un segundo mapa con umbral corte en el valor correspondiente a la media de la distribución de probabilidades para cada especie (Norris, 2014). El área de distribución potencial obtenida de estos valores de umbral excluye zonas la probabilidad de ocurrencia de la especie es menor al valor del umbral, lo cual no significa que no exista las especie en dicho lugar sino que la probabilidad es menor. Dichos valores de umbral se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 9. Valor de los umbrales correspondientes a la mediana para cada especie de <i>Puya</i>	
Especie	Valor
<i>Puya goudotiana</i>	0,41058
<i>Puya santosii</i>	0,400853
<i>Puya nitida</i>	0,447738

Puya Goudotiana

El área de distribución potencial de esta especie tiene un total de con un área total 1'282.002,1 Ha. Se localiza sobre la Cordillera Oriental, atraviesa los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander y una pequeña área del norte del Meta; sobre los complejos de páramos: Almorzadero, Altiplano Cundiboyacense, Chingaza, Cruz Verde - Sumapaz, Guantiva - La Rusia, Guerrero, Iguaque - Merchán, Jurisdicciones - Santurbán - Berlín, Pisba, Rabanal y río Bogotá, Tota - Bijagual – Mamapacha y Yariguíes (Ver. Mapa 1A).

El área de distribución potencial con umbral de corte a 0,41058, tiene un área de 352.056,6 Ha. Muestra una distribución geográfica reducida a los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Esta

área es la más acertada para la recolección de germoplasma de la especie, debido a que es una área de búsqueda menor en un 27,5%, en comparación con el área definida por el umbral de 0,1296, lo que permite optimizar los esfuerzos humanos de recolección (Ver. Mapa 1B.) y excluye los complejos de páramo: Almorzadero, Jurisdicciones - Santurbán – Berlín y Yariguíes, lo cual no significa que no exista la especie en dicho lugar sino que la probabilidad es menor.

Puya Santosii

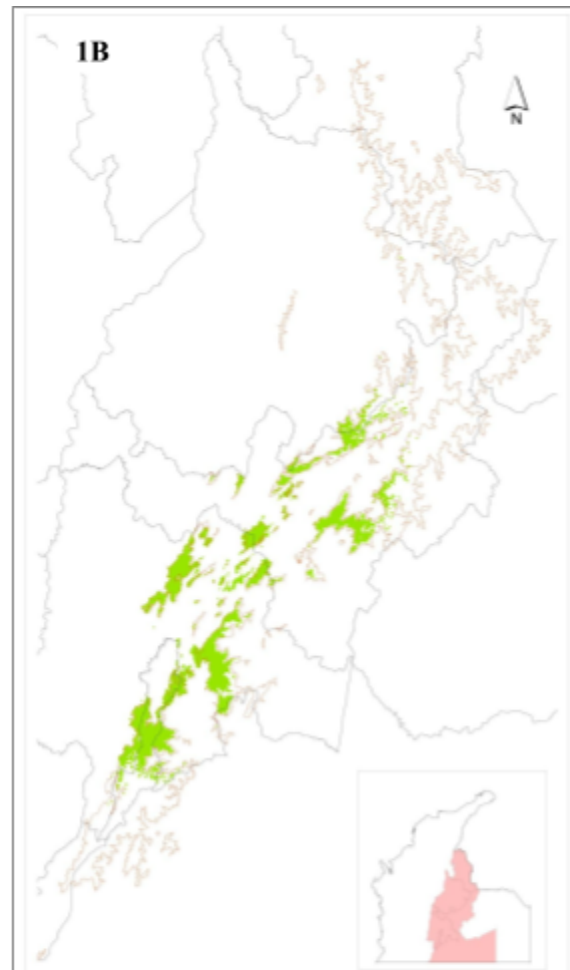
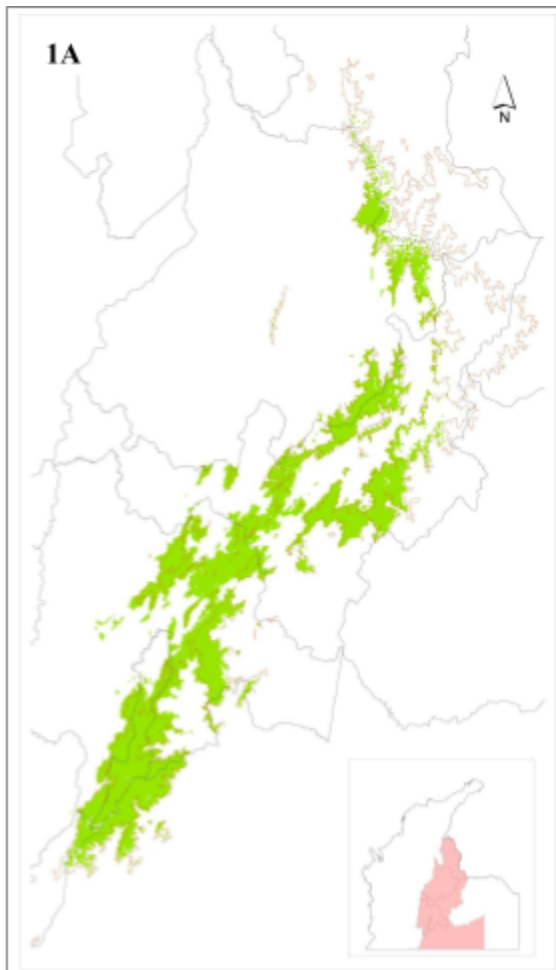
El área de distribución potencial de esta especie tiene un total de con un área total 985.520,2 Ha. Se localiza sobre la Cordillera Oriental, atraviesa los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander y una pequeña área del norte del Meta; sobre los complejos de páramos: Almorzadero, Altiplano Cundiboyacense, Chingaza, Cruz Verde - Sumapaz, Guantiva - La Rusia, Guerrero, Iguaque - Merchán, Jurisdicciones - Santurbán - Berlín, Pisba, Rabanal y río Bogotá, Sierra Nevada del Cocuy, Tota - Bijagual - Mamapacha, Yariguíes (Ver. Mapa 2A).

El área de distribución potencial con umbral de corte a 0,447738, tiene un área de 317.409,3 Ha. Muestra una distribución geográfica reducida a los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Esta área es más pequeña en un 32,2% (Ver. Mapa 2B.) y excluye los complejos de páramo: Almorzadero, Altiplano Cundiboyacense, Jurisdicciones - Santurbán - Berlín, Pisba y Sierra Nevada del Cocuy.

Puya Nitida

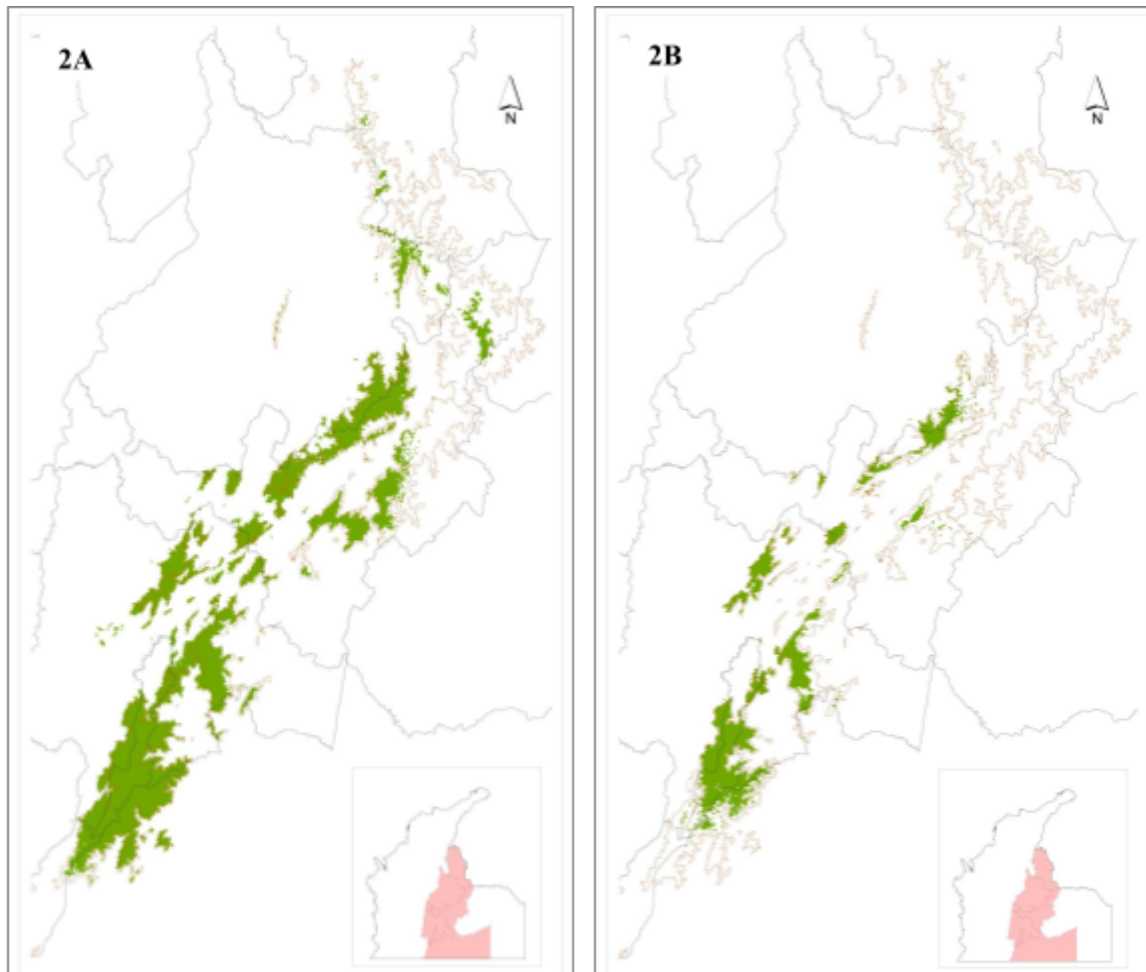
El área de distribución potencial de esta especie tiene un total un área de 1'118.517,6 Ha. Se localiza sobre la Cordillera Oriental, atraviesa los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander y parte del norte del Meta; sobre los complejos de páramos: Almorzadero, Altiplano Cundiboyacense, Chingaza, Cruz Verde - Sumapaz, Guantiva - La Rusia, Guerrero, Iguaque - Merchán, Jurisdicciones - Santurbán - Berlín, Pisba, Rabanal y río Bogotá, Sierra Nevada del Cocuy, Tota - Bijagual – Mamapacha y Yariguíes (Ver. Mapa 3A).

El área de distribución potencial con umbral de corte a 0,400853, tiene un área de 405.111,9 Ha. Muestra una distribución geográfica reducida a los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander. Esta área es más pequeña en un 36,2% (Ver. Mapa 3B.) y excluye los complejos de páramo: Almorzadero, Jurisdicciones - Santurbán – Berlín, Pisba, Rabanal y río Bogotá, Sierra Nevada del Cocuy y Yariguíes.



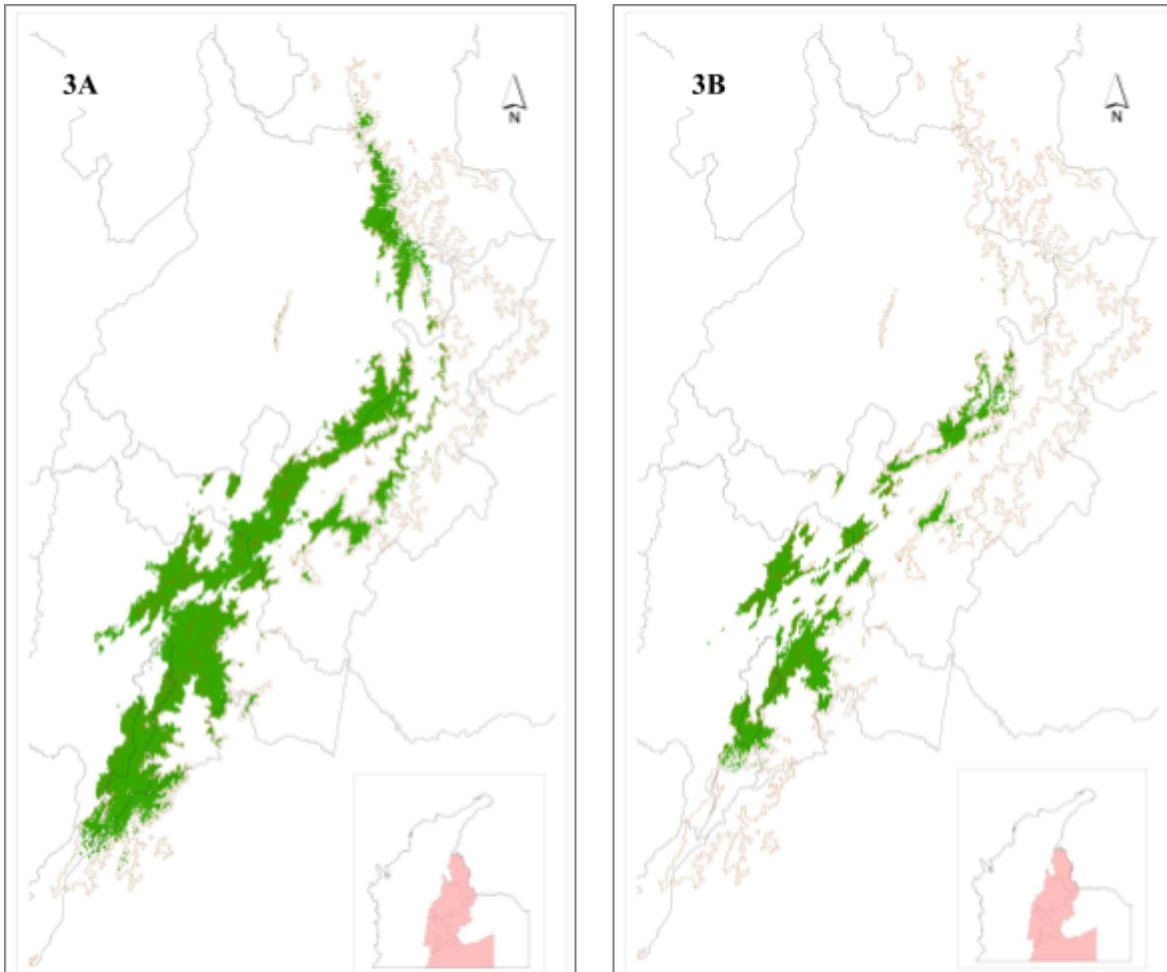
Mapa 1A. Superposición de los complejos de páramos de la Cordillera Oriental sobre el área de distribución potencial para *Puya goudotiana*, con umbral de corte de 0,1296.

Mapa 1B. Superposición de los complejos de páramos de la Cordillera Oriental sobre el área de distribución potencial para *Puya goudotiana*, con umbral de corte de 0,41058.



Mapa 2A. Superposición de los complejos de páramos de la Cordillera Oriental sobre el área de distribución potencial para *Puya santosii*, con umbral de corte de 0,1235.

Mapa 2B. Superposición de los complejos de páramos de la Cordillera Oriental sobre el área de distribución potencial para *Puya santosii*, con umbral de corte de 0,447738.

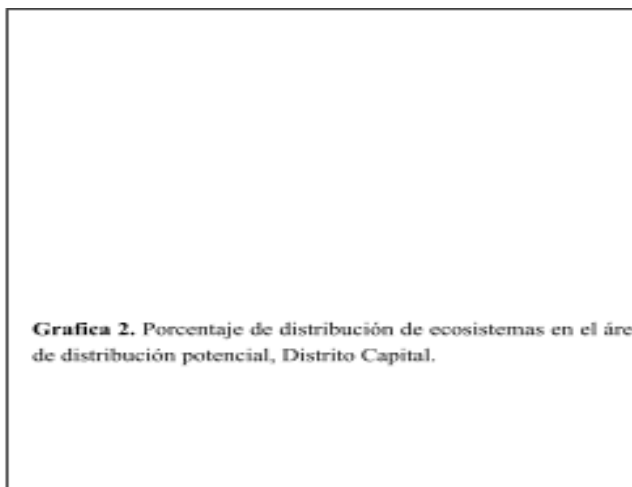
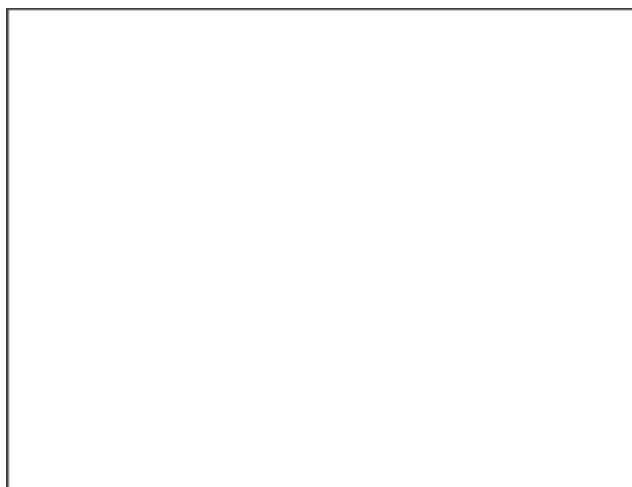


Mapa 3A. Superposición de los complejos de páramos de la Cordillera Oriental sobre el área de distribución potencial para *Puya nitida*, con umbral de corte de 0,2099.

Mapa 3B. Superposición de los complejos de páramos de la Cordillera Oriental sobre el área de distribución potencial para *Puya nitida*, con umbral de corte de 0,400853.

Con base en los mapas elaborados a partir de los umbrales correspondientes a la mediana de los valores de distribución de probabilidad y mediante la intersección de los mismos, se elaboraron los mapas de las zonas idóneas para la recolección de germoplasma de las tres especies, esto con el objetivo de determinar el área de distribución potencial que permita optimizar los esfuerzos de recolección; en la Cordillera Oriental, a escala 1:200.000 (Ver Anexo 1); y en el distrito Capital, a escala 1:100.00 (Ver Anexo 2), ambas escalas son empleadas para el planeamiento general y estudios estratégicos (IGAC, 2016). El área total de las zonas idóneas para la recolección de germoplasma de las tres especies sobre la Cordillera Oriental corresponde a 205.482,6 ha, y se ubica principalmente en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, sobre los complejos de páramo: Chingaza, Cruz Verde - Sumapaz, Guantiva - La Rusia, Guerrero, Iguaque - Merchán, Rabanal y río Bogotá y Tota - Bijagual – Mamapacha. En el Distrito Capital, dicha área comprende 31.797,95 ha sobre el complejo de páramo Cruz Verde – Sumapaz y se distribuye sobre las localidades de Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Usme, Ciudad Bolívar, Sumapaz, y una pequeña área en la localidad de Usaquén.

El área de distribución potencial de estas especies sobre la Cordillera Oriental se localiza principalmente en el orobioma andino de páramos húmedos (43%) y secos (28%), seguido del pedobioma andino BMD Andinos y Alto-andinos de Roble (15%) y los orobiomas BBD Alto-andinos Húmedos y de Niebla (12%); y por último, en menor medida, los orobiomas BBD Alto-andinos secos (2%) (Ver Grafica 1 y Anexo 3). Entiéndase BAD: Bosque alto denso, BBD: Bosque bajo denso y BMD: Bosque medio denso (Latorre Parra, 2005), teniendo en cuenta que la densidad de un bosque depende del arreglo de la vegetación y pues responde a la demanda de los árboles por el espacio de crecimiento es decir, define el número de árboles por unidad de superficie (Hernández Ramos et al., 2013). Para el área de distribución potencial de las especies en el Distrito Capital, predominan los páramos húmedos (67%) y secos (67%), seguidos de los ecosistemas BBD Alto-andinos secos y en menor medida BBD Alto-andinos húmedos y de niebla (Ver Grafica 2 y Anexo 4).



Amenazas y oportunidades para la conservación de la alta montaña del Distrito Capital

Se realizó la identificación y análisis de las oportunidades y amenazas de conservación a partir del área de distribución potencial para el Distrito Capital, obtenida con el valor correspondiente al a la mediana de los valores de distribución de probabilidad para cada especie de *Puya*. Ya que dicha área considera altas probabilidades en un área menor, por ende la identificación de amenazas y la planificación de los esfuerzos para la conservación de los orobiomas asociados más directamente a estas especies en el área de estudio (páramos húmedos y secos, BBD Alto-andinos secos y BBD Alto-andinos húmedos y de niebla), se ejecutarían de manera eficiente, permitiendo determinar las acciones prioritarias a realizar sobre el territorio.

Amenazas a la conservación para la alta montaña del Distrito Capital

Al superponer el área potencial de distribución para las especies evaluadas con los usos del suelo en el Distrito Capital se obtuvo el mapa de conflictos de uso del suelo (Ver Anexo 5.), en el cual se encontró 10908.36 ha con conflictos con el área de distribución de las especies, lo que quiere decir que del total de 31.797,95 ha, solo el 34% del área potencial de distribución es adecuado para las especies evaluadas. Dichos conflictos se dividen de la siguiente forma:

Tabla 10. Área en hectáreas (ha) de conflictos de uso del suelo respecto a las áreas idóneas para la recolección de germoplasma en el Distrito Capital.

Cobertura	Área (ha)
Agroecosistemas ganaderos	6436.21
Bosque secundario o áreas con predominio de vegetación secundaria	1145.25
Áreas agrícolas heterogéneas	2240.78
Plantación forestal	1086.13
Total	10908.36

En la gráfica 3 se evidencia que el uso del suelo en conflicto con las áreas de distribución de las especies que predomina son los agroecosistemas ganaderos (59%) y las áreas agrícolas heterogéneas (21%), siguen en porcentaje los bosques secundarios o áreas con predominio de vegetación secundaria (10%) y de plantación forestal (10%).

Localidades que abarcan el área total de las zonas idóneas para la recolección de germoplasma de las tres especies, las cuales son Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Usme, Ciudad Bolívar y Sumapaz, tienen en gran parte un carácter rural, en especial las localidades de Sumapaz (100% rural) y Usme (86% rural), seguidas de Santa Fe (85%) , Ciudad Bolívar (73%) , Chapinero (66%) y San Cristóbal (66%) (Secretaría Distrital de Planeación, 2009b) (Secretaría Distrital de Planeación, 2011d) (Secretaría Distrital de Planeación, 2009a) (Secretaría Distrital de Planeación, 2011a) (Secretaría Distrital de Planeación, 2011b)(Secretaría Distrital de Planeación, 2011c). Esta característica impacta los ecosistemas y con ello las áreas de distribución de las especies evaluadas. Situación que se evidencia al realizar el análisis del área potencial con conflictos de uso por cobertura para cada localidad. La localidad que posee mayor cantidad de hectáreas en conflicto con áreas de distribución potencial de las especies evaluadas es Usme (41%) seguido de Sumapaz (20%) y Santa Fe (18%), luego sigue Ciudad Bolívar con 14% y por último San Cristóbal (4%) y Chapinero (3%) (Ver grafica 4).



Grafica 3. Porcentaje del área potencial con conflictos de uso por cobertura.

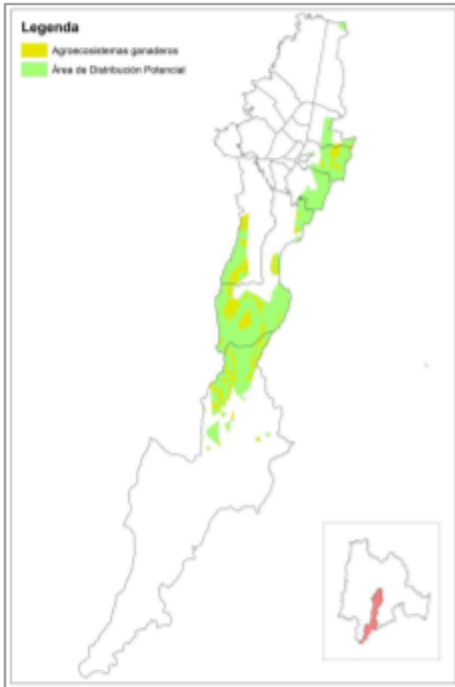


Grafica 4. Porcentaje del área potencial con conflictos de uso por cobertura, para cada localidad.

Del total de las coberturas asociadas a agroecosistemas ganaderos la mayoría se localizan en la localidad de Usme (41%), seguido de la localidad de Sumapaz (31%); además las localidades de Ciudad Bolívar, y San Cristóbal poseen el 18% y el 9%, respectivamente. Por último esta la localidad de Chapinero con el 1% (Ver Grafica 5). En cuanto a los bosques secundarios o áreas con predominio de vegetación secundaria (Ver Grafica 6), se encontró que la localidad de Usme tiene el mayor porcentaje de dichas áreas (51%), seguido por Sumapaz (35%), en las localidades de Chapinero y San Cristóbal se localiza el restante 3% y 11%, respectivamente.

La localidad con mayor áreas en conflicto por áreas agrícolas heterogéneas es Usme con 53%, seguido de la localidad de Santa Fe (22%) y Ciudad Bolívar (15%). Sumapaz y Chapinero poseen la menor cantidad de áreas con conflictos de este tipo con 7% y 3%, respectivamente (Ver Grafica 7). Por último, las localidades con mayor área de conflictos de uso por efecto de plantaciones forestales son Santa Fe (40%) y San Cristóbal (34%), seguido de Ciudad Bolívar, Chapinero y Usme, con 3%, 16% y 7%, respectivamente (Ver Grafica 8).

Mapa 4.



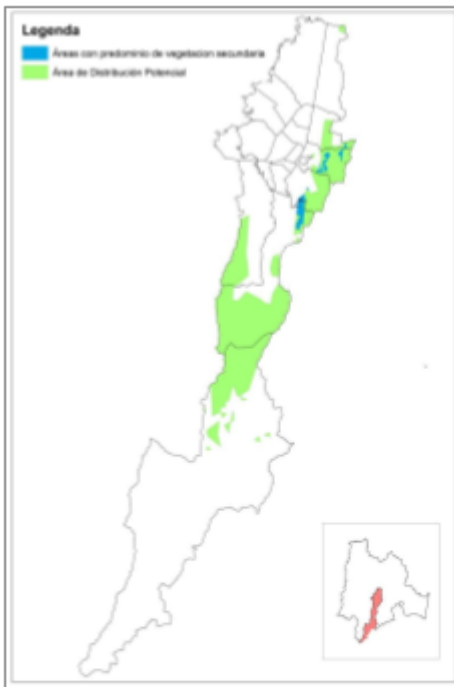
Grafica 5.



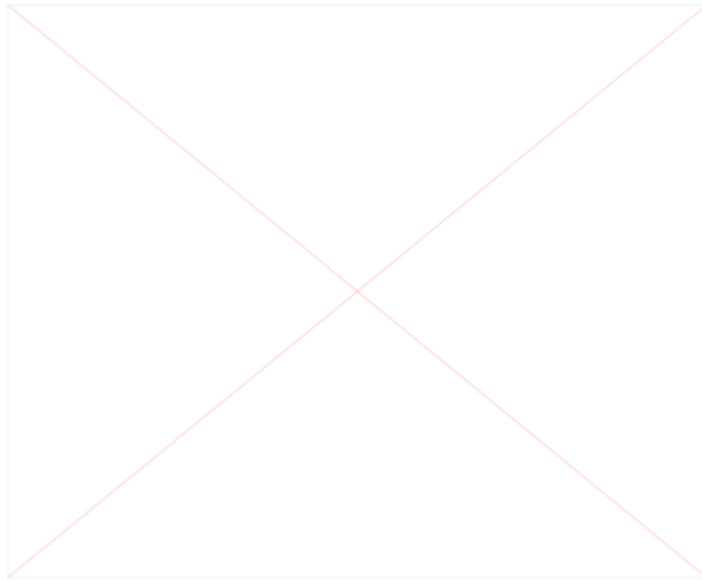
Mapa 4. Conflictos de uso del suelo asociados a agroecosistemas ganaderos.

Grafica 5. Porcentaje del total de coberturas asociadas a agroecosistemas ganaderos para cada localidad.

Mapa 5.



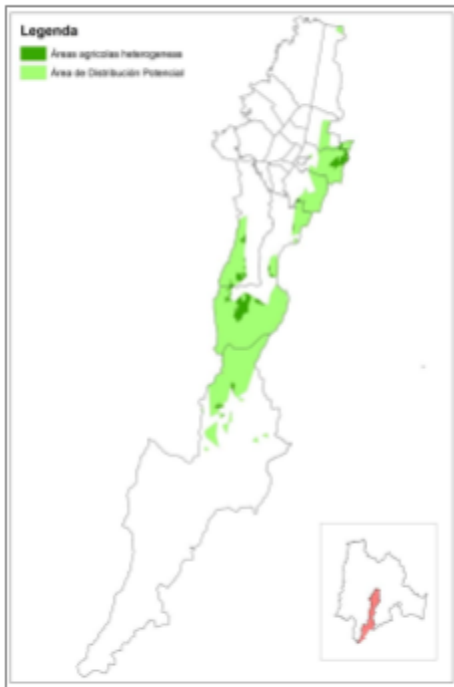
Grafica 6.



Mapa 5. Conflictos de uso del suelo asociados a bosques secundarios o áreas con predominio de vegetación secundaria.

Grafica 6. Porcentaje del total de coberturas asociadas a bosques secundarios o áreas con predominio de vegetación secundaria para cada localidad.

Mapa 6.



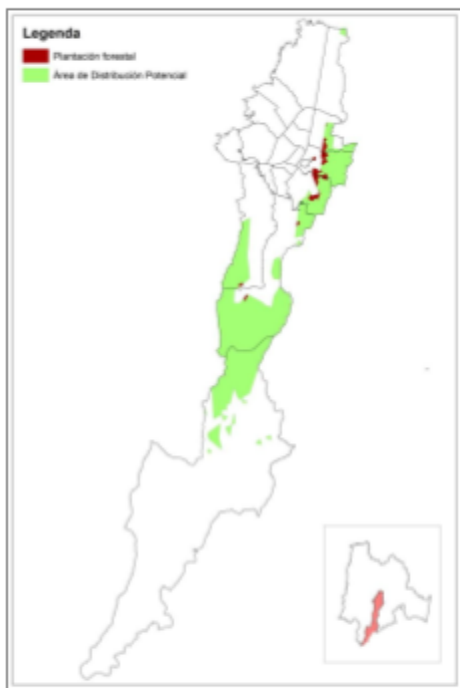
Grafica 7.



Mapa 6. Conflictos de uso del suelo asociados a áreas agrícolas heterogéneas.

Grafica 7. Porcentaje del total de coberturas asociadas a áreas agrícolas heterogéneas para cada localidad.

Mapa 7.



Grafica 8.



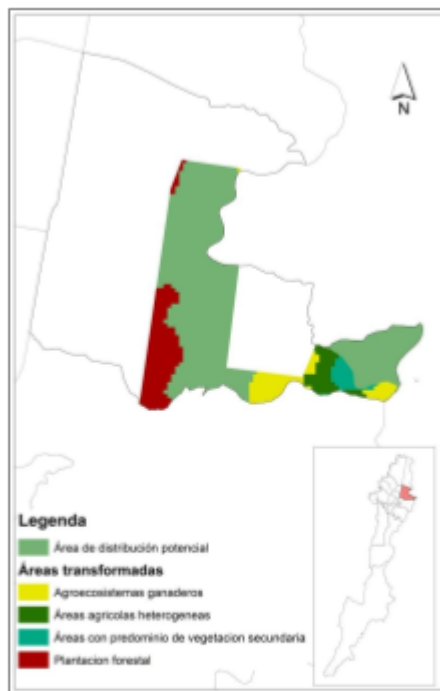
Mapa 7. Conflictos de uso del suelo asociados a plantaciones forestales.

Grafica 8. Porcentaje del total de coberturas asociadas a plantaciones forestales para cada localidad.

Por otro lado, en la localidad de Chapinero (Ver Mapa 8 y Grafica 9.) predominan las plantaciones de uso forestal (50%), seguido de los agroecosistemas ganaderos (25%), las áreas agrícolas heterogéneas (16%) y plantaciones forestales (9%). En cambio en la localidad de Ciudad Bolívar (Ver Mapa 9 y Grafica 10.) predominan las áreas de agroecosistemas ganaderos (75%) seguidas de las áreas agrícolas heterogéneas (23%) y de plantación forestal (2%), en esta localidad no hay áreas de bosque secundario o áreas con predominio de vegetación secundaria que entren en conflicto con las áreas de distribución potencial de las especies de *Puya* evaluadas.

En la localidad de San Cristóbal (Ver Mapa 10 y Grafica 11.) los conflictos de uso se dividen en dos: plantaciones forestales y bosque secundario o áreas con predominio de vegetación secundaria, con 75% y 25%, respectivamente. En la localidad de Santa Fe (Ver Mapa 11 y Grafica 12) la distribución es más homogénea los agroecosistemas ganaderos representan el 31%, el bosque secundario o áreas con predominio de vegetación secundaria el 21%, las áreas agrícolas heterogéneas el 26% y las plantaciones forestales el 22%. La localidad de Sumapaz tiene dos conflictos de uso, agroecosistemas ganaderos con el 93% y áreas agrícolas heterogéneas (7%) (Ver Mapa 12 y Grafica 13), los cuales se localizan sobre todo al norte de la localidad. Al igual, en la localidad de Usme el principal conflicto de uso se da por los agroecosistemas ganaderos con un 59%, seguido de las áreas agrícolas heterogéneas; por ultimo están los bosques secundarios o áreas con predominio de vegetación secundaria (13%) y plantaciones forestales (2%) (Ver Mapa 13 y Grafica 14).

Mapa 8.



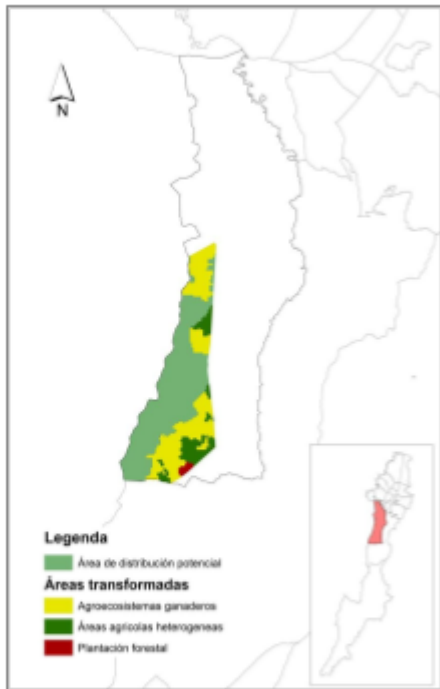
Grafica 9.



Mapa 8. Conflictos de uso del suelo para la localidad de Chapinero.

Grafica 9. Porcentaje del área potencial con conflictos de uso por cobertura, para la localidad de Chapinero.

Mapa 9.



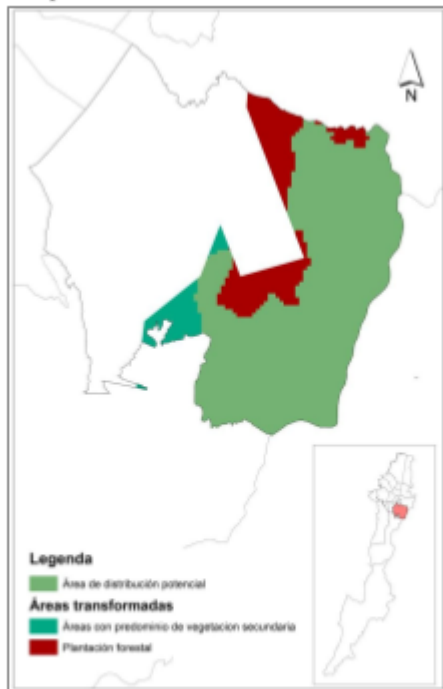
Grafica 10.



Mapa 9. Conflictos de uso del suelo para la localidad de Ciudad Bolívar.

Grafica 10. Porcentaje del área potencial con conflictos de uso por cobertura, para la localidad de Ciudad Bolívar

Mapa 10.



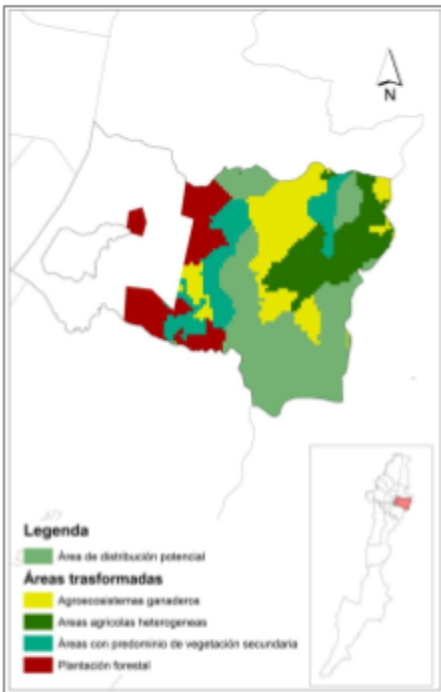
Grafica 11.



Mapa 10. Conflictos de uso del suelo para la localidad de San Cristóbal.

Grafica 11. Porcentaje del área potencial con conflictos de uso por cobertura, para la localidad de San Cristóbal

Mapa 11.



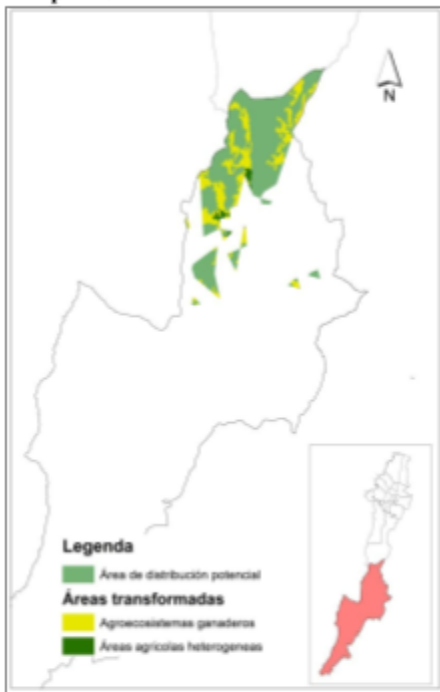
Mapa 11. Conflictos de uso del suelo para la localidad de Santa Fe.

Grafica 12.



Grafica 12. Porcentaje del área potencial con conflictos de uso por cobertura, para la localidad de Santa Fe

Mapa 12.



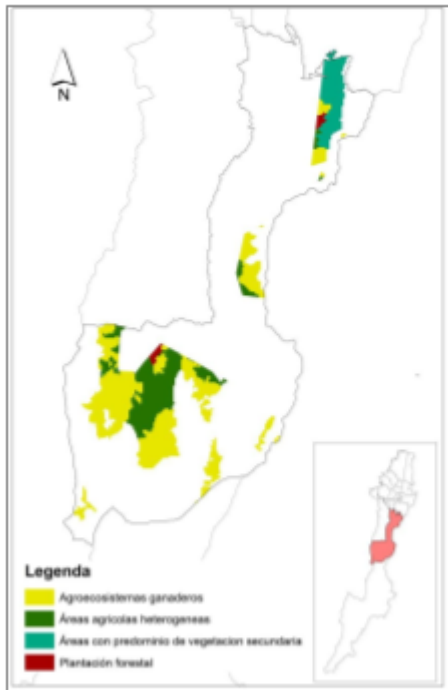
Mapa 12. Conflictos de uso del suelo para la localidad de Sumapaz.

Grafica 13.



Grafica 13. Porcentaje del área potencial con conflictos de uso por cobertura, para la localidad de Sumapaz

Mapa 13.



Mapa 13. Conflictos de uso del suelo para la localidad de Usme.

Grafica 14.

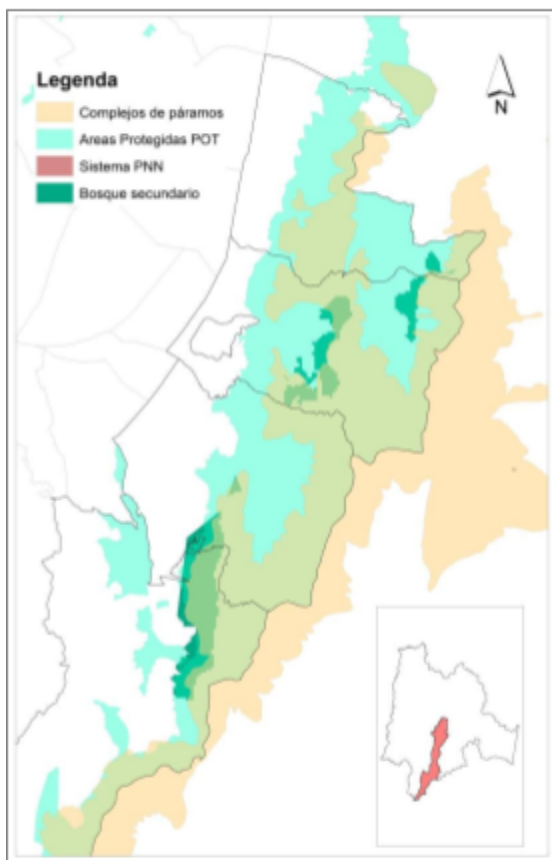


Grafica 14. Porcentaje del área potencial con conflictos de uso por cobertura, para la localidad de Usme

Oportunidades de conservación de la alta montaña del Distrito Capital

Las evaluar los conflictos de uso del suelo se encontró que de 31.797,9 ha, que son el total de áreas de distribución potencial para las especies de Puya evaluadas, 1.145,3 ha están sobre áreas de bosques secundarios o áreas con predominio de vegetación secundaria, es decir el 10% del total de las áreas de distribución potencial de las especies con conflictos de uso del suelo (Ver Grafica 4). A su vez el 57% de estas áreas, están en áreas protegidas que corresponden a el complejo de páramo Cruz Verde-Sumapaz, al tiempo se encuentra en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, área protegida definida por el POT, y se ubica en su mayoría en las localidades de Usme (58%) y Santa Fe (32%) (Ver Grafica 15).

Mapa 14.



Grafica 15.

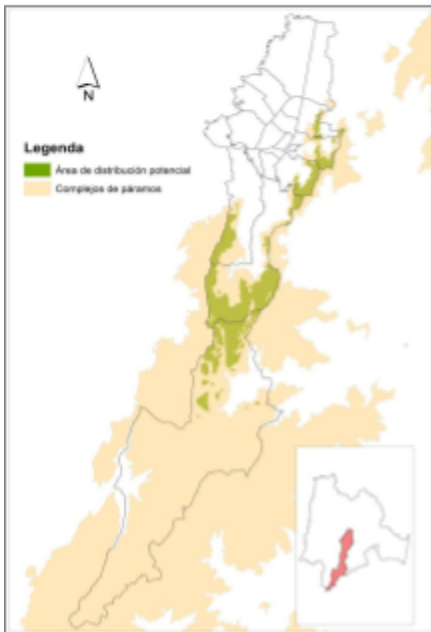


Mapa 14. Superposición de áreas con bosque secundario o áreas con predominio de vegetación secundaria en conflicto de uso con el área de distribución potencial de las especies con áreas protegidas.

Grafica 15. Porcentaje de área de bosques secundarios o áreas con predominio de vegetación secundaria en conflicto con áreas de distribución potencial para las especies de Puya evaluadas que se superponen con zonas protegidas, por localidad.

Por otro lado, de las 31.797,95 ha de distribución potencial para las especies evaluadas el 66% no poseen conflictos de uso del suelo, es decir, 20.889,6 ha. Estas áreas se encuentran en su mayoría (96%) en el complejo de páramos Cruz Verde- Sumapaz (IAvH, 2012) (Ver mapa 15), de las cuales 4.491,1 ha, es decir 21%, se superponen al tiempo con el Parque Nacional Natural Sumapaz en las localidades de Sumapaz y Usme, con un 94% (4.230,4 ha) y 6% (260,8 ha) respectivamente (Ver mapa 16). Adicionalmente, de estas 20.889,6 ha., 15.608,5 ha (75%) se encuentran en áreas protegidas áreas protegidas por el POT (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004) (Ver mapa 17).

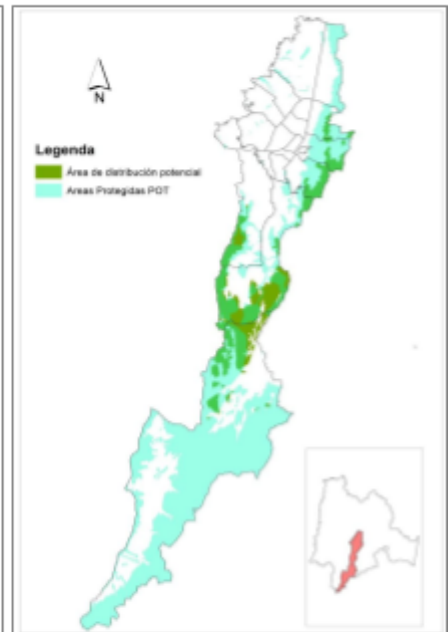
Mapa 15.



Mapa 16.



Mapa 17.



Mapa 15. Áreas de distribución potencial de las especies sin conflictos de uso en complejos de páramo.

Mapa 16. Áreas de distribución potencial de las especies sin conflictos de uso en el Sistema de Parques Nacionales Naturales.

Mapa 17. Áreas de distribución potencial de las especies sin conflictos de uso en áreas protegidas definidas por el POT.

Conclusiones

- Los modelos de distribución potencial suponen un insumo importante para la planeación de la conservación ya que, con ayuda de los SIGs, permiten visualizar de forma geográfica dicha distribución, lo cual facilita su análisis y constituye una base para evaluar el estado de conservación de las especies permitiendo tomar decisiones en función del territorio entendido como el espacio geográfico resultado de la transformación de la matriz biofísica (clima, relieve, hidrografía, suelo, vegetación, fauna) por efectos antrópicos (San Vicente, 2011).
Las interacciones entre los sistemas ecológicos y sociales, los ecosistemas, su biodiversidad, los beneficiarios y el sistema de gobernanza a escala local y regional, tienen como resultado sinergias y enfrentamientos que se superponen en el territorio y se traducen en conflictos de uso del suelo, los cuales deben ser gestionados de forma sostenible para garantizar la conservación de la biodiversidad y de los ecosistemas asociados a la misma (Barborak, Cuesta, Montes, & Palomo, 2015).
- Las especies de *Puya* evaluadas, son especies endémicas y de distribución restringida a Cordillera Oriental en ecosistemas de páramos húmedos y secos, principalmente. En zonas sobre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá y, los complejos de páramo: Chingaza, Cruz Verde - Sumapaz, Guantiva - La Rusia, Guerrero, Iguaque - Merchán, Rabanal y río Bogotá y Tota - Bijagual – Mamapacha. En el Distrito Capital, dicha área se encuentra en el complejo de páramo Cruz Verde – Sumapaz y se distribuye sobre las localidades de Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Usme, Ciudad Bolívar, Sumapaz, y una pequeña área en la localidad de Usaquén.
- El área de distribución determinada a partir de los umbrales correspondientes a la mediana de los valores de distribución de probabilidad, corresponde al área más óptima para la recolección de germoplasma, puesto que son áreas con un valor de probabilidad de ocurrencia más alto; es decir que en estas zonas es más probable encontrar la especie lo que optimiza las labores de recolección de germoplasma para labores de conservación exsitu.
- Las principales amenazas antrópicas sobre la distribución de las especies son los agroecosistemas ganaderos y las áreas agrícolas heterogéneas, las cuales son amenazas marcadas para los ecosistemas de páramo (Hofstede et al., 2014). Siendo las localidades de Usme y Sumapaz las afectadas, al poseer el mayor porcentaje de ruralidad y de áreas de páramo en su territorio.
Los agroecosistemas propician la desaparición a largo plazo del banco de semillas y una disminución en la entrada de semillas desde los bosques naturales alrededor de la zona, el efecto del pastoreo sobre el suelo contribuye a la desaparición de la capa vegetal, y por ende la estructura (más abierta, menos alta) y la composición de la vegetación (más especies rastreras y hierbas exóticas, menos arbustos y hierbas endémicas); también hay un efecto por la compactación de suelo por el pisoteo dejando menos espacio para agua, y por lo tanto pierde su capacidad de infiltración (Hofstede et al., 2014). Esta Situación que se agudiza con el cambio climático ya que los cambios en el tiempo y la reducción en predictibilidad de las precipitaciones, genera cambios en los patrones de siembra y cosecha y por lo tanto una mayor dependencia hacia la ganadería, con la ampliación de pastos en las zonas de páramo (Hofstede et al., 2014).

- Los bosques secundarios o áreas con predominio de vegetación secundaria, suponen áreas con potencial para la recuperación del nicho ecológico de las especies de *Puya* evaluadas. Para dicha tarea hay que tener en cuenta medidas de protección como: la protección contra el fuego o el pastoreo y la lucha contra la erosión; y medidas para acelerar la recuperación y regeneración natural como: la siembra directa o la siembra a de plántulas; la eliminación de las malas hierbas (Kollert & Sabogal, s.f.), siendo las localidades de Usme y Santa Fe las que ben liderar estos procesos al poseer mayor área con potencial de restauración.
Las áreas de distribución potencial con coberturas de este tipo fuera de dichas áreas protegidas son más vulnerables a actividades antrópicas, por lo que se recomiendan sean destinadas como zonas amortiguadoras, que atenúen las perturbaciones causadas por la actividad humana (Presidencia de la República de Colombia, 1974), que después de un proceso de restauración podrían ser anexadas al Sistema de Reservas Forestales Protectoras, las cuales comprenden espacios donde los ecosistemas de bosques mantienen su función aunque su estructura haya sido cambiadas (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2009), que para el contexto del Distrito Capital correspondería a la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá (Ver mapa 14).
- De las 31.797,95 ha de distribución potencial para las especies evaluadas 20889,6 ha (66%) no poseen conflictos de uso del suelo. A su vez esas áreas se encuentran en su mayoría (96%) en el complejo de páramos Cruz Verde- Sumapaz (IAvH, 2012) (Ver mapa 15), las cuales muchas se superponen sobre los otros sistemas de áreas protegidas como el Parque Nacional Natural Sumapaz en el cual se encuentran 4.491,1 ha de estas, que representan el 21% de las áreas sin conflictos de uso del suelo, y se localizan principalmente en las localidades de Sumapaz y Usme, con un 94% (4.230,4ha) y 6% (260,8ha) respectivamente (Ver mapa 16).
Adicionalmente, 15.608,5 ha se encuentran en áreas protegidas por el POT (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004) (Ver mapa 17), que representan el 75% de las áreas sin conflictos de uso del suelo. Lo que quiere decir en alguna medida una conectividad entre las zonas de distribución dispersas, entendida como capacidad ecológica del territorio para permitir los desplazamientos de los organismos entre las diferentes zonas del mismo (San Vicente, 2011).
- Se puede decir que el grado de conservación de estas especies es aceptable ya que, de las 31.797,95 ha de distribución potencial en el Distrito Capital para las especies evaluadas el 66% no poseen conflictos de uso del suelo, es decir 20.889,6 ha; de estas el 96% se contemplan dentro del complejo de páramos Cruz Verde- Sumapaz (IAvH, 2012), pero solo el 75% se superpone con el suelo protegido por el POT y 21% con el Parque Nacional Natural Sumapaz, al tiempo.
Además, las 20.889,6 ha de distribución potencial de las especies que no poseen conflictos de uso del suelo en el Distrito Capital, y que se encuentran fuera de áreas protegidas por el POT (5281.1 ha) y del Sistema Nacional de Parques Nacional Naturales (16.398,4 ha), son áreas con potencial de ser anexadas al Sistema de Áreas Protegidas.
- Esta investigación constituye una primera aproximación para determinar la amenaza local y por ende re-evaluar el nivel de riesgo de cada especie.

Recomendaciones

- Usar este trabajo como base para modelar los efectos del cambio climático sobre la distribución futura de las especies de *Puya*: *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida*.
- Se recomienda realizar observaciones de campo en las zonas donde la probabilidad de distribución es menor, es decir para la *Puya goudotiana*: Los páramos de Almorzadero, Altiplano Cundiboyacense, Jurisdicciones - Santurbán – Berlín, Pisba, Rabanal y río Bogotá, Sierra Nevada del Cocuy, Tamá y Yariguíes; *Puya santosii*: Almorzadero, Altiplano Cundiboyacense, Jurisdicciones - Santurbán - Berlín, Pisba y Sierra Nevada del Cocuy; y *Puya nitida*: Almorzadero, Jurisdicciones - Santurbán – Berlín, Pisba, Rabanal y río Bogotá, Sierra Nevada del Cocuy y Yariguíes.
Además, el área potencial ubicada al norte en la localidad de Usaquén correspondiente a Cerro de Torca, debe ser evaluada mediante una visita de campo para determinar la presencia de las especies, ya que corresponde a áreas con predominio de vegetación secundaria.
- Para la recuperación del nicho ecológico de estas especies haciendo uso de los bosques secundarios o áreas con predominio de vegetación secundaria, se recomienda estudiar factores como el uso anterior de la tierra, la fertilidad del suelo y proximidad a fuentes de propágulos, factores que cumplen un papel crítico en la recuperación del sitio, ya sea en términos estructurales (biomasa, altura, o área basal) o florísticos (Smith et al., 1997).
A su vez se recomienda hacer de este proceso altamente participativo con el objetivo de conocer los diferentes intereses, percepciones, necesidades y condiciones de los actores involucrados (pequeños campesinos, comunidades indígenas, actores políticos, comunidad internacional, ONGs, entre otros), en aras de generar procesos de recuperación que perduren en el tiempo (FAO, 2002).
- Se recomienda realizar el estudio de conflictos de uso del suelo respecto a proyectos mineros actuales, con el fin de determinar el grado de afectación por esta actividad.
- Realizar estudios a nivel de sus atributos básicos (representatividad, necesidad de conocimientos biológicos previos, facilidad de estudio), de historia de vida (tamaño corporal, tiempo generacional, tasa metabólica), ecológicos (nivel trófico particular, tamaño de las poblaciones) y de sensibilidad (a perturbaciones humanas, variabilidad en la respuesta, tiempo de persistencia), para determinar la posibilidad de usar las especies evaluadas como especies sucedáneas (surrogate species- en inglés) (Isasi-Catalá, 2011).

Bibliografía

- Alcaldía Mayor de Bogotá. Decreto 190 de 2004 (2004). Bogotá D.C., Colombia.
- Alcaldía Mayor de Bogotá & Secretaría Distrital de Planeación. (2015). *Planeación en Bogotá Humana*. Bogotá D.C.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (22 de Junio de 2004). Decreto 190. Bogotá D.C., Colombia.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (7 de Diciembre de 2005). Decreto 437. Bogotá D.C., Colombia.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (22 de Diciembre de 2011). Decreto 607- Política Pública para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital. Bogotá D.C., Colombia.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (26 de Agosto de 2013). Decreto 364. Bogotá D.C., Colombia.
- Altorre Parra, J. P. (2005). Biodiversidad y Conservación en Los Parques Nacionales Naturales de Colombia. Bogotá D.C.
- Alvarado Fajardo, V. M., Morales Puentes, M. E., & Larrota Estupiñán, E. F. (Marzo de 2013). Bromeliaceae en algunos municipios de Boyacá y Casanaré, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(142), 5.
- Andrade, M. G. (2011). Estado del Conocimiento de la Biodiversidad en Colombia y sus Amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. *Revista de la Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales*, 35(137).
- Angiosperm Phylogeny Group (APG). (28 de Marzo de 2003). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal*, 141(4), 399–436.
- Austin, M. P. (2002). Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157, 101-118.
- Barborak, J., Cuesta, F., Montes, C., & Palomo, I. (2015). *Planificación en áreas protegidas. Territorio y Cambio Climático* (Cooperación).
- Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Betancur, J. (2000). *Guía de las Bromelias de Bogotá y sus alrededores*. Bogotá D.C.: DAMA.
- Betancur, J., 2015a. *Puya goudotiana* Mez R. Bernal, S. Grandstein, & M. Celis, eds. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Available at:<http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co> [Accessed September 28, 2015]
- Betancur, J., 2015b. *Puya santosii* Cuatrec. R. Bernal, S. Grandstein, & M. Celis, eds. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de

Colombia. Available at:<http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co> [Accessed September 28, 2015]

- Betancur, J. 2016-9-22 a. Puya. En Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Betancur, J. 2016-9-22 b. Puya goudotiana Mez En Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Betancur, J. 2016-9-22 c. Puya santosii Cuatrec. En Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Betancur, J. 2016-9-22 d. Puya nitida Mez En Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Betancur, J & N. García. 2006. Las bromelias. Pp. 51-384. En: García N. & G. Galeano (eds.). Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 3: Las bromelias, las labiadas y las pasifloras. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Alexander von Humboldt- Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. ISBN: 978-958-8151-79-3
- Betancur, J., A. Zuluaga, L. Clavijo, Z. Cordero-P. & N.R. Salinas. 2007. Santa María pintada de flores. Serie Guías de Campo del Instituto de Ciencias Naturales No. 1. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Boston, A. N., & Stockwell, D. B. (1995). Interactive species distribution reporting, mapping and modelling using the World Wide Web. *Computer Networks and ISDN Systems*, 28, 231-238.
- Brail, R. K. (2008). *Planning Support Systems for Cities and Regions*. Lincoln Institute of Land Policy.
- Buermann, W., Saatchi, S., Smith, T. B., Zutta, B. R., Chaves, J. A., Mila, B., y otros. (2008). Predicting species distributions across the Amazonian and Andean regions using remote sensing data. *Journal of Biogeography*(35), 1160–1176.
- Cabral, E. L. (19 de Marzo de 2015). *exa.unne.edu.ar*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2016, de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/diversidadv/documentos/ANGIOSPERMAS/Introducci%20a%20las%20Angiospermas.pdf>
- Cabrera, M., & Ramírez, W. (Eds.). (2014). *Restauración ecológica de los páramos de Colombia: Transformación y herramientas para su conservación* (Instituto). Bogotá D.C., Colombia.
- Calderón Hernandez , M. (12 de Septiembre de 2016). Intereses de conservación del banco de semillas del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.
- Camargo Camargo, B., & Cruz Reyes, A. (2001). *Glosario de términos en Parasitología y Ciencias Afines*. México D.F.: Plaza y Valdés, S.A. de C.V.

- Catálogo de la Biodiversidad de Colombia. (2015). Recuperado el 19 de Septiembre de 2016, de <http://www.biodiversidad.co>
- Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. (Abril de 2011). <http://www.atmosfera.unam.mx/>. Recuperado el 16 de Septiembre de 2016, de http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/Docs/f_bioclimaticos.html
- Chase, J. M., & Leibold, M. A. (2003). *Ecological Niches: Linking Classical and Contemporary Approaches*. University of Chicago Press.
- Chase, J. M., & Leibold, M. A. (2009). *Interspecific Interactions : Ecological Niches : Linking Classical and Contemporary Approaches*. Chicago, US: University of Chicago Press.
- Climate Commons. (2013). <http://climate.calcommons.org/>. Recuperado el 19 de Septiembre de 2016, de <http://climate.calcommons.org/dataset/worldclim-global-climate-data>
- Cody, M. L., & Diamond, J. M. (1975). *Ecology and Evolution of Communities*. Harvard University Press.
- Comision Nacional de Biodiversidad & University of Kansas. (Febrero de 2014). <http://nicho.conabio.gob.mx/>. Recuperado el 30 de Septiembre de 2016, de <http://nicho.conabio.gob.mx/la-calibracion-del-modelo/maxent>
- Concejo de Bogotá D.C. (2014). Proyecto de acuerdo 246.
- Concejo de Bogotá D.C. (2015). Proyecto de Acuerdo 230- Estrategia para la protección de ecosistemas de páramo, subpáramo y bosque altoandino en el Distrito Capital. Bogotá D.C., Colombia.
- Concejo de Santa Fe de Bogotá D.C. (9 de Septiembre de 1996). Acuerdo 19 -Estatuto General de Protección Ambiental del Distrito Capital de Santa Fe de Bogotá. Bogotá D.C., Colombia.
- Congreso de Colombia. (16 de Diciembre de 1959). Ley 2ª.
- Congreso de Colombia. (9 de Noviembre de 1994). Ley 165. Bogotá D.C., Colombia.
- Congreso de Colombia. Ley 373- Uso Eficiente y Ahorro del Agua. (11 de Junio de 1997). Bogotá D.C., Colombia.
- Constitución Política de Colombia. (1991), Bogotá D.C., Colombia.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- CAR. (2006). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá, 104.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- CAR. (23 de Noviembre de 2006). Resolución 3194. Bogotá D.C., Colombia.
- Cortés Duque, J., & Sarmiento, C. (Edits.). (2013). *Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E., & Ortiz, E. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 20(2), 187–201. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.09.034>
- Dangermond, J., & Baker, J. (Febrero de 2010). Climate Change Is a Geographic Problem. *GIS for Climate Change*.
- de Miró Orell, M., & Domingo Morató, M. (1984). En torno a la eco-geografía y la planificación territorial. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 5, 167-178.
- Draper, D., Rossello -Graell, A., Garcia, C., Tauleigne Gomes, C., & Sérgio, C. (2003). Application of GIS in plant conservation programmes in Portugal. *Biological conservation*, 113, 337- 349.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Yung, E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*(17), 43–57.
- Ellsworth Davis, B. (2001). *GIS: A Visual Approach* (2nd ed. ed.). Cengage Learning.
- Elton, C. (1927). *Animal Ecology*.
- Espinosa Organista., D., Aguilar Zúñiga, C., & Escalante Espinosa, T. 2001. Endemismo, Áreas de Endemismo y Regionalización Biogeográfica. Pp.31-37. En: Llorente Bousquets, J. & J.
- Espitia R., E., Escobedo L., D., Mapes S., E. C., & Núñez C., C. A. (31 de Diciembre de 2010). Áreas prioritarias para coleccionar germoplasma de *Amaranthus* en México con base en la diversidad y riqueza de especies. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(4), 609-617.
- Etterson, J.R., & Shaw, R. G. (2001). Constraint to adaptive evolution in response to global warming. *Science*, 294 (5540), 151-4. Disponible en: <http://ezproxy.unbosque.edu.co:2048/login?url=http://search.proquest.com/docview/213570270?accountid=41311>
- Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2013). *Raven Biology of Plants* (W. H. Free). New York.
- FAO. (2002). *Workshop on Tropical Secondary Forest Management in Africa: Reality and Perspectives*. Roma, Italia. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/006/J0628E/J0628E00.htm#contents>
- FAO. (12 de Junio de 2008). [ftp.fao.org](ftp://ftp.fao.org). Recuperado el 10 de Agosto de 2015, de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0142s/i0142s01.pdf>
- FEDEGAN. (31 de Julio de 2015). fedegan.org.co. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://fedegan.org.co/noticias/numero-de-vacas-por-hectarea-se-duplica-en-fincas-tecnificadas>
- Fivaz, F. P., & Gonseth, Y. (2014). Using species distribution models for IUCN Red Lists of threatened species. *Journal of Insect Conservation*(18), 427–436.
- Franco, P., & Betancur, J. (1999). La flora del Alto Sumapaz (cordillera Oriental, Colombia). *Revista de la Academia Colombia de Ciencias*, 23, 53 -78.

- Franklin, J. (2009). *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Furnari, G., Guglielmo, A., Longhitan, N., Pavone, P., Salmeri, C., & Scelsi, F. (s.f.). http://www.dipbot.unict.it/sistemica_es/Index.html. (U. d. Catania, Editor) Recuperado el 16 de Septiembre de 2016, de http://www.dipbot.unict.it/sistemica_es/Brom_fam.html
- García, H., Moreno, L. A., Londoño, C., & Sofrony, C. (2001). *Estrategia Nacional para la Conservación de Plantas Actualización de los antecedentes normativos y políticos y revision de avances*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt & Red Nacional de Jardines Botánicos.
- García, J. & T. Toledo. 2008. Epífitas vasculares: bromelias y orquídeas. Pp. 69-82. En: Manson, R. H., V. -Hernández-Ortiz, S. Gallina & K. Mehlreter (Eds.). *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz biodiversidad, Manejo y conservación*. Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMAR-NAT), México, 348 p.
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). (2016). Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de <http://www.gbif.org/>
- Goodchild, M. J. (1993). *Environmental Modeling with GIS*. 8-15.
- Graham, C. H., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C., & Peterson, T. (September de 2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 9(9), 497-503.
- Granado Lorenzo, C. (2000). *Ecología de comunidades: el paradigma de los peces de agua dulce*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Granado Lorenzo, C. (2007). *Avances en ecología: hacia un mejor conocimiento de la naturaleza*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Grant, J. R., & Zijlstra, G. (1998). AN ANNOTATED CATALOGUE OF THE GENERIC NAMES OF THE BROMELIACEAE. *Selbyana*, 19(1), 91-121.
- Grau, A., Gómez Romero, S. E., & Aráoz, E. (Agosto - Septiembre de 2010). Puyas Andinas. *Ciencia hoy*, 20(118).
- Greenpeace. (Diciembre de 2013). *Páramos en peligro El caso de la minería de carbon en Pisba*.
- Grinnell, J. (Jul. de 1924). *Geography and Evolution*. *Ecology*, 5(3), 225-229.
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8, 993-1009.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, 147-186.
- Gutiérrez Fajardo, F. (2016). *Análisis de los patrones de distribución geográfica de especies de interés para la conservación en escenarios de cambio climático*. Informe de Investigación. Bogotá D.C.: Jardín Botánico José Celestino Mutis.

- Herbario JBB en línea - Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Disponible en: <http://coleccion.es.jbb.gov.co/herbario>. Consultado en 2016-10-06
- Hernández Camacho, J. 1997. Síntesis de los biomas de Colombia. Pp. 15-33. En: Manson, R. H., V. -Hernández-Ortiz, S. Gallina & K. Mehlreter (Eds.). Biodiversidad y Manejo de fauna silvestre. Memorias. Ministerio del Medio Ambiente e Instituto Colombiano para el fomento de la Educación Superior- ICFES, Medellín, Colombia.
- Hernández Ramos, J., García Magaña, J. J., Muñoz Flores, H. J., García Cuevas, X., Sáenz Reyes, T., Flores López, C., & Hernández Ramos, A. (2013). Guía de densidad para manejo de bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 62–77. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322013000500006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Hijmans, R. J., & Elith, J. (15 de June de 2016). Species distribution modeling with R.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., ... Cerra, M. (2014). *Los páramos andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. Retrieved from <https://portals.iucn.org/library/node/44760>
- Holt, R. D. (1996a). Adaptive evolution in source-sink environments: Direct and indirect effects of density dependence on niche evolution. *OIKOS*, 75, 182-192.
- Holt, R. D. (Enero de 1996b). Demographic constraints in evolution: Towards unifying the evolutionary theories of senescence and niche conservatism. *Evolutionary Ecology*, 10(1), 1-11.
- Holt, R. D., & Gaines, M. S. (1992). Analysis of adaptation in heterogeneous landscapes: Implications for the evolution of fundamental niches. *Evolutionary Ecology*, 3, 433-447.
- Holt, R. D., & R. Gomulkiewicz. 1996. The evolution of species' niches: A population dynamic perspective. Pp. 25-50. En: H. G. Othmer, F. R. Adler, M. A. Lewis & J. C. Dallon (eds.). Case Studies in Mathematical Modeling: Ecology, Physiology and Cell Biology. Prentice-Hall, Saddle River, N.J.
- Hutchinson, G. E. (1944). Limnological studies in Connecticut. VII. A critical examination of the supposed relationship between phytoplankton periodicity and chemical changes in lake waters. *Ecology*.
- Hutchinson, G. E. (1957). "Concluding Remarks" on Animal Ecology and Demography. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*(No 22), 415-427.
- Hutchinson, G. E. (May - Jun de 1959). Homage to Santa Rosalia or Why Are There So Many Kinds of Animals? *The American Naturalist*, 93(870), 145-159.
- IAvH. (2012). Cartografía de Páramos de Colombia Esc. 1:100.000. Proyecto: Actualización del Atlas de Páramos de Colombia. Convenio Interadministrativo de Asociación 11-103. Bogotá D.C., Colombia: Instituto Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Retrieved from <http://www.humboldt.org.co/images/pdf/CartografiaParamos/1-Mapa General-Horizontal.pdf>

- ICA. (2016). Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://www.ica.gov.co/getdoc/8232c0e5-be97-42bd-b07b-9cdbfb07fcac/Censos-2008.aspx>
- IDEAM. (2011). *Aportes del IDEAM para la definición y aplicación de la Estructura Ecológica Nacional*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM-.
- IGAC. (23 de Octubre de 2016). www.igac.gov.co. Recuperado el 23 de Octubre de 2016, de <http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/AreasEstrategicas>
- Illoldi, P., & Escalante, T. (2008). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*, 3(Enero), 7–12. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?q=intitle:De+los+modelos+de+nicho+ecol?gic+a+las+reas+d+e+distribuci+n+geogr?fica#0>
- Isasi-Catalá, E. (2011). Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación. *Interciencia*, 36(1), 31–38. Retrieved from http://www.interciencia.org/v36_01/031.pdf
- Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente -INDERENA. (30 de Septiembre de 1976). Acuerdo 30. Bogotá D.C., Colombia.
- Jardín Botánico de Bogotá. (2016). Recuperado el 8 de Agosto de 2016, de <http://jbb.gov.co/index.php/area-cientifica>
- Kawecki, T. J. (1995). Demography of source-sink populations and the evolution of ecological niches. *Evolutionary Ecology*, 9, 38-44.
- Kollert, W., & Sabogal, C. (s.f.). www.fao.org. (FAO, Forestry Department) Recuperado el 23 de Octubre de 2016, de <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-restoration-and-rehabilitation/basic-knowledge/es/>
- Laboratorio de Biogeografía Aplicada y Bioestadística. 2013. Biomodelos. Instituto Alexander von Humboldt. <http://biomodelos.humboldt.org.co>.
- Latorre Parra, J. P. (2005). Biodiversidad y Conservación en Los Parques Nacionales Naturales de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.
- Laverde Martínez, C. (2008). *Servicios ecosistémicos que provee el páramo de la cuenca alta del río Teusacá: Percepción de los actores campesinos y su relación con los planes ambientales en la vereda Verjón Alto, Bogotá D.C.* Pontificia Univerisdad Javeriana.
- Leibold, M. A. (July de 1995). The Niche Concept Revisited Mechanistic Models and Community Context. *Ecology*, 76(5), 1371-1382.
- Leyva Franco, P. (Ed.). (1 de Enero de 1998). El medio ambiente en Colombia. Colombia.
- Llorente, J., Papavero, N. & Bueno, A. 2001. Síntesis Histórica De La Biogeografía. Pp. 1-14. En: Llorente, J. & Morrone J. (Eds.). INTRODUCCIÓN A LA BIOGEOGRAFÍA EN

LATINOAMÉRICA: TEORÍAS, CONCEPTOS, MÉTODOS Y APLICACIONES. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F

- Lobo Burle, M., Torres Cordeiro , C. M., Fonseca , J. R., das Neves Alves , R. d., Abadie , T., & Palhares de Melo , L. M. (2003). Characterization of germplasm according to environmental conditions at the collecting site using GIS—two case studies from Brazil. *Biodiversity International - FAO*(135), 1-11.
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P., & Pearson, R. G. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28(3), 385–393. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x>
- Luther, H. E. (2004). Recuperado el 18 de Septiembre de 2015, de http://ssl2.mysecureserver.com/selbyorg/research/bic/Binom_2004_Alpha.Pdf
- Madriñán, S. (julio-septiembre de 2015). Una nueva especie de Puya (Bromeliaceae) de los páramos cercanos a Bogotá, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(152), 389-398.
- Madriñán, S., Zapata, F., Aponte, A., Bello, M. A., & González, F. (2011). Flora Ilustrada del Páramo de Chingaza, Colombia. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.
- Ministerio de Ambiente. (17 de Mayo de 2000). Resolución 475. Bogotá D.C., Colombia.
- Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. (2002). *Programa nacional para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de alta montaña colombiana: páramos. Congreso mundial de páramos- Memorias Tomo I*. Bogotá D.C. Retrieved from http://www.paramocolombia.info/doc_memorias.html
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1 de Agosto de 2003). Resolución 839. Bogotá D.C., Colombia.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial;, & Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM. (2005). *Atlas Climatológico de Colombia*.
- Ministerio de Ambiente vivienda y Desarrollo Territorial, & Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM. (2011). *Estructura ecológica principal de Colombia*. Bogotá D.C.
- Miranda J., M. E., Arellano, J. J., Salazar, B. Z., Hernández, F., Quero C., R., & Pérez, L. (2007). *Bases para el manejo comunitario de bromelias ornamentales*. México: Grupo Autónomo para la Investigación Ambiental A.C.
- Mondragón, D. C. (2002). Dinámica poblacional de *Tillandsia brachycaulos* Schltdl. en el Parque Nacional de Dzibilchaltún, Yucatán. Tesis doctoral. Mérida, México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC (CICY).
- Morrone, J. (eds.). Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. México, D.F. México. Facultad de Ciencias, UNAM.

- Montañez Díaz, L. A., Arévalo Santos, C., & Marquéz Calle, G. (2006). Evaluación del estado de conservación de las microcuencas pertenecientes a los Cerros Orientales de Chía, Cundinamarca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 1(1), 143.
- Morales, M., Otero, J., Van der Hammen, T., Torres, A., Cadena, C., Pedraza, C., y otros. (2007). *Atlas de páramos de Colombia*. Bogotá D.C.
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Norris, D. (2014). Model thresholds are more important than presence location type: Understanding the distribution of lowland tapir (*Tapirus terrestris*) in a continuous Atlantic forest of southeast Brazil. *Tropical Conservation Science*, 7(3), 529–547.
- Ortega-P., S. C., García-Guerrero, A., Ruíz, C.-A., Sabogal, J., & Vargas, J. D. (Eds.). (2010). *Deforestación Evitada. Una Guía REDD + Colombia* (Patrimonio). Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Conservación Internacional Colombia, Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), The Nature Conservancy, Corporación Ecovera, Fundación Natura, Agencia de Cooperación Americana (USAID).
- Ospina Rodríguez, M. (2003). El Páramo de Sumapaz un Ecosistema Estratégico para Bogotá. Bogotá D.C, Colombia: Sociedad Geográfica de Colombia.
- Oviedo Torres, B. E. (2010). *GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONALES Y LOCALES A PARTIR DE MODELOS GLOBALES - GUÍA PARA TOMADORES DE DECISIONES*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2009). www.parquesnacionales.gov.co. Recuperado el 28 de Septiembre de 2016, de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap/>
- Pêknicová, J., & Berchová-Bímová, K. (2016). Application of species distribution models for protected areas threatened by invasive plants. *Journal for Nature Conservation* (34), 1-7.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, (48), 61–79. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005>
- Presidencia de la República de Colombia. (18 de Septiembre de 1974). Decreto Ley 2811 - Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección a Medio Ambiente. Bogotá D.C., Colombia.
- Presidencia de la República de Colombia. (21 de Julio de 1993). Decreto Ley 1421. Bogotá D.C., Colombia.

- Presidencia de la República de Colombia. (1 de Julio de 2010). Decreto 2372. Bogotá D.C., Colombia.
- Programa de Evaluación y Monitoreo de la Biodiversidad. (s.f.). (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia) Recuperado el 19 de Septiembre de 2016, de <http://biomodelos.humboldt.org.co/>
- Read, R. W., & Daniels, G. S. (Marzo-Abril de 1975). Puya in Costa Rica. *Journal of the Bromeliad Society*, 25(2), 43-47.
- República de Colombia - Gobierno Nacional. (22 de Diciembre de 1993). Ley 99. Bogotá D.C., Colombia.
- Romero, M., Cabrera, E., & Ortiz, N. (2008). *Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2006- 2007*. Bogotá D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Smith, J., Sabogal, C., de Jong, W., & Kaimowitz, D. (1997). Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina. *Center for International Forestry Research (CIFOR)*, 62(13), 1–31.
- Soberon, J. (2012). *Las probabilidades de Maxent*.
- Solomon Ha'aeo, K. I. (2015). *Using Maxent to Model the Distribution of Prehistoric Agricultural Features in a Portion of the Hōkūli'a 'a Subdivision in Kona, Hawai'i*. University of Southern California.
- San Vicente, M. G. (2011). La Gestión De La Conectividad Ecológica Del Territorio En España : Iniciativas Y Retos. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, (56), 225–244.
- Sarmiento, C., Cadena, C., Sarmiento, M., Zapata, J., & León, O. (2013). *Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia : actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000* (Instituto). Bogotá D.C., Colombia.
- Sarria, F. A. (2 de Julio de 2004). SIG aplicados al análisis y cartografía de riesgos climáticos. Asociación Española de Climatología.
- Secretaría de Planeación; Alcaldía mayor de Bogotá D.C. (Ed.). (2009). *Conociendo Bogotá y sus localidades: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos*. Bogotá D.C. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá D.C. (24 de Junio de 2015). Resolución 835. Bogotá D.C., Colombia.
- Secretaria Distrital de Ambiente (Ed.). (2007). *Atlas Ambiental de Bogotá*. Bogotá D.C.
- Secretaria Distrital de Ambiente y Conservación Internacional. (2010). *Política para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital* (Editorial). Bogotá D.C., Colombia.
- Secretaría Distrital de Planeación. (2009a). *Conociendo la localidad de Santa Fe: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos*. Bogotá D.C. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

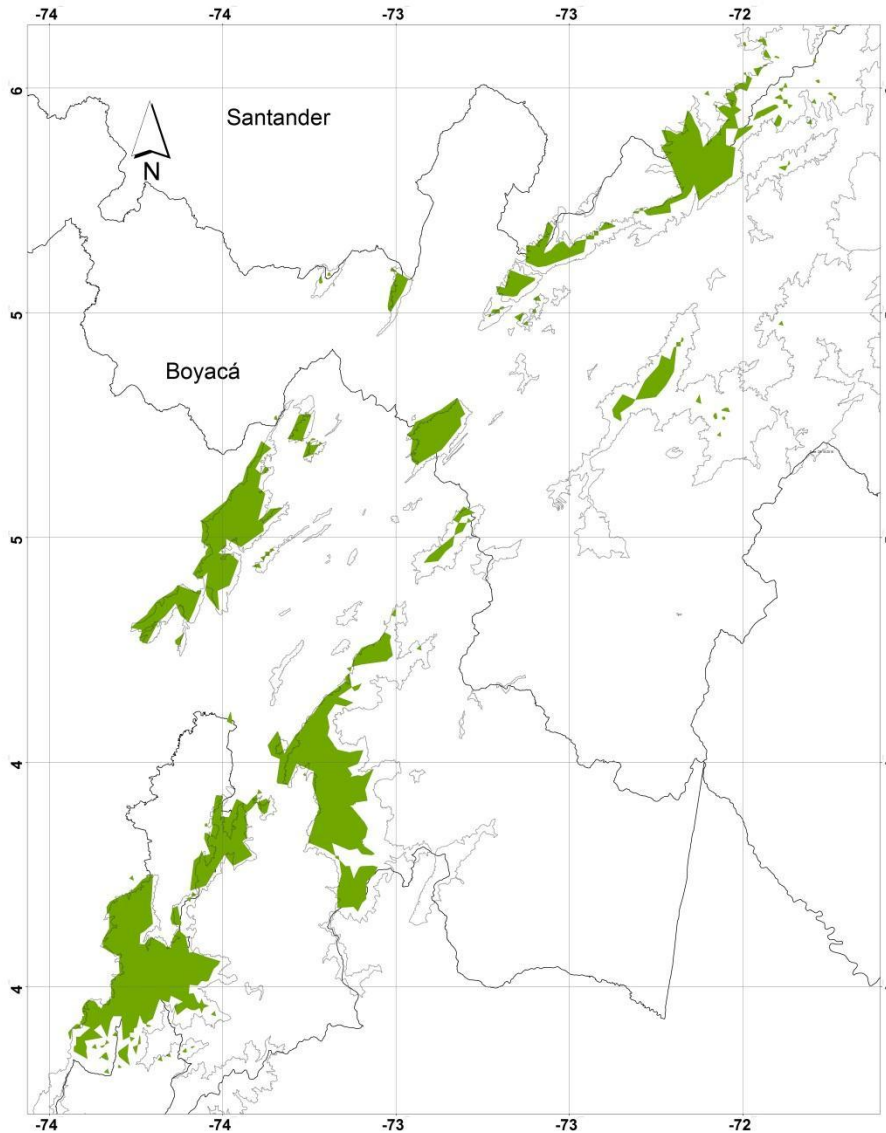
- Secretaría Distrital de Planeación. (2009b). *Conociendo la localidad de Sumapaz: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos*. Bogotá D.C., Colombia.
- Secretaría Distrital de Planeación. (2011a). *Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos 2011. Localidad 19 Ciudad Bolívar*. Bogotá D.C., Colombia. <https://doi.org/978-958-691-296-9>
- Secretaría Distrital de Planeación. (2011b). *Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos 2011. Localidad 2 Chapinero*. Bogotá D.C., Colombia.
- Secretaría Distrital de Planeación. (2011c). *Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos 2011. Localidad 4 San Cristóbal*. Bogotá D.C., Colombia. <https://doi.org/978-958-691-296-9>
- Secretaría Distrital de Planeación. (2011d). *Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos 2011. Localidad 5 Usme*. Bogotá D.C., Colombia. <https://doi.org/978-958-691-296-9>
- Sillero, N., Barbosa, A. M., Martínez-Freiría, F., & Real, R. (2010). Los modelos de nicho ecológico en la herpetología ibérica: pasado, presente y futuro. *Boletín de la asociación herpetológica española*, 10, 2-24.
- Soberón, J. (2007). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, 10, 1115–1123.
- Soberón, J., & Peterson, T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1-10.
- Stockwell, D., & Peters, D. (1999). The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(2), 143-158.
- Tellería, J. L. (2013). Pérdida de biodiversidad. Causas y consecuencias. *Real Sociedad Española de Historia Natural*.
- Tilman, D. (2004). Niche tradeoffs, neutrality, and community structure: A stochastic theory of resource competition, invasion, and community assembly. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(30), 10854–10861.
- Townsend Peterson, A., & Cohoon, K. P. (1999). Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. *Ecological Modelling*, 117(1), 159–164. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(99\)00023-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(99)00023-X)
- UCAR. (2016). gis.ucar.edu. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de <https://gis.ucar.edu/projects/gis-climate-change-portal>
- Varela, S., Mateo, R. G., García-Valdés, R., & Fernández-González, F. (2014). Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Ecosistemas*, 23(1), 46–53. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2014.23-1-07>

- Vasak, V. (Septiembre- Octubre de 1969). THE VIABILITY OF BROMELIAD SEEDS. *The Bromeliad Society Bulletin*, 19(5).
- Villordon, A., Njuguna, W., Gichuki, S., Ndolo, P., Kulembeka, H., Jeremian, S. C., y otros. (2006). Using GIS-Based Tools and Distribution Modeling to Determine Sweetpotato Germplasm Exploration and Documentation Priorities in Sub-Saharan Africa. *HortScience*, 41(6), 1377-1381.
- Walter, H. (1977). *Zonas de vegetación y clima. Breve exposición desde el punto de vista causal y global*. Barcelona, España: Omega S.A.
- Walter, H. (1985). *Vegetation of the Earth and ecological systems of the geobiosphere*. New York: Springer-Verlag.
- Wildlife Conservation Society. (2008). <https://programs.wcs.org/>. Recuperado el 17 de Septiembre de 2016, de <https://programs.wcs.org/andeanbear/Datos-e-informaci%C3%B3n/Galer%C3%ADa-de-im%C3%A1genes/Se%C3%B1ales-de-presencia/Comederos/Bromelias-terrestres/Puya.aspx>
- Williams, D. E., Jarvis, A., Guarino, L., Mottram, G., Williams, K., Ferguson, M., y otros. (2001). Usando SIG para el Estudio Ecogeográfico de Arachis Silvestre. *III SIRGEALC, Simpósio de Recursos Genéticos para a América Latina e Caribe*, 19-22.
- Willan, R. L. (1991). *Guía para la manipulación de semillas forestales* (Centro de). Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/006/ad232s/ad232s00.htm#TOC>
- Worldclim. (s.f.). www.worldclim.org. Recuperado el 17 de Septiembre de 2015, de <http://www.worldclim.org/bioclim>
- Yi, Y. jun, Cheng, X., Yang, Z. F., & Zhang, S. H. (2016). Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. riparia* Lour) in Yunnan, China. *Ecological Engineering*, (92), 260–269. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.04.010>

Anexos

Anexo 1. Área de Distribución Potencial para la Recolección de Germoplasma. Cordillera Oriental.

Puya goudotiana, *Puya santosii* y *Puya nitida*



Área de Distribución Probable
para la Recolección de
Germoplasma. Cordillera Oriental.

Puya goudotiana, *Puya santosii*
y *Puya nitida*.

1:200.000

0 4,75,5 19 28,5 38

Kilometers

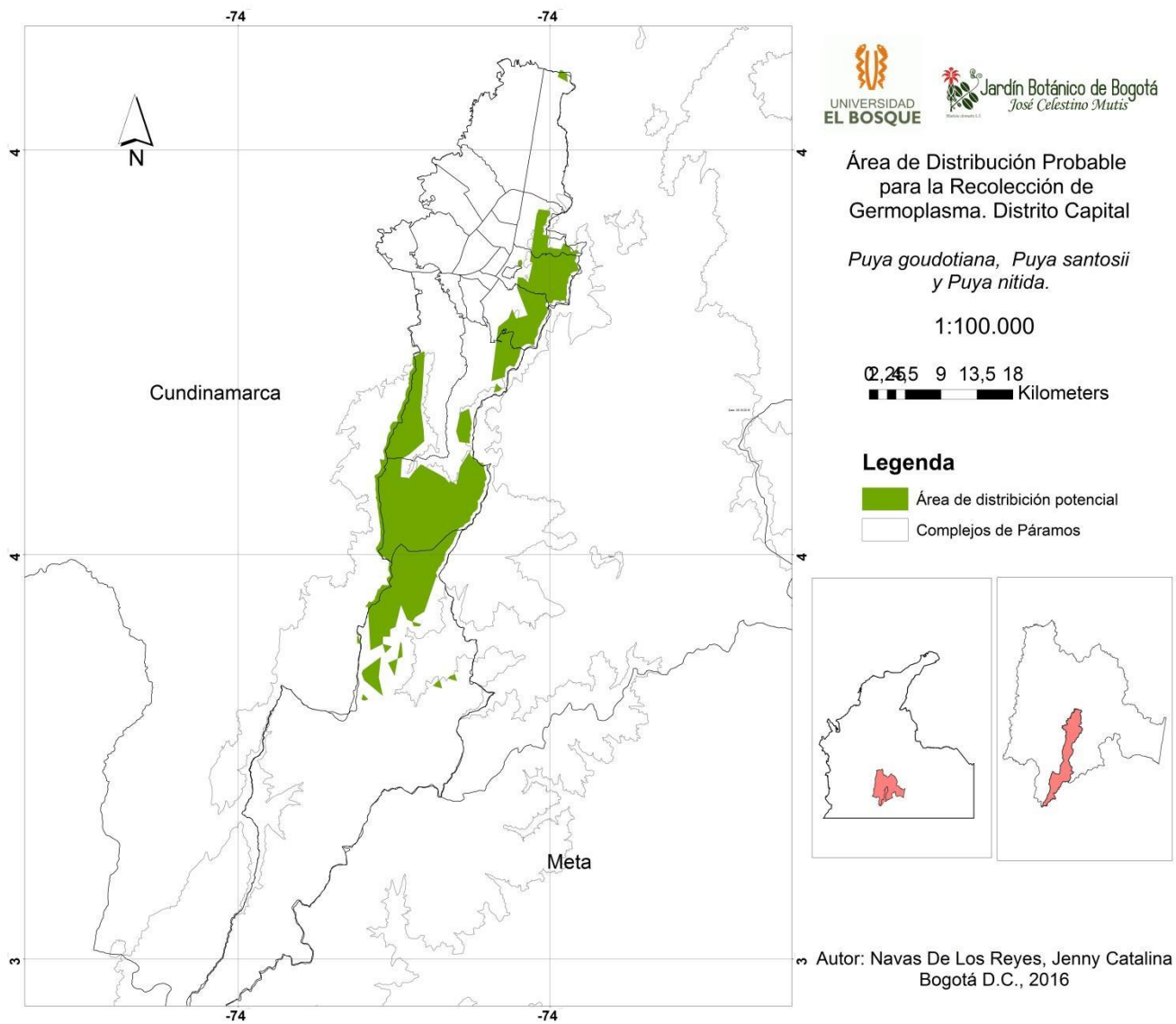
Legenda

- Complejos de Páramos
- Área de distribución potencial

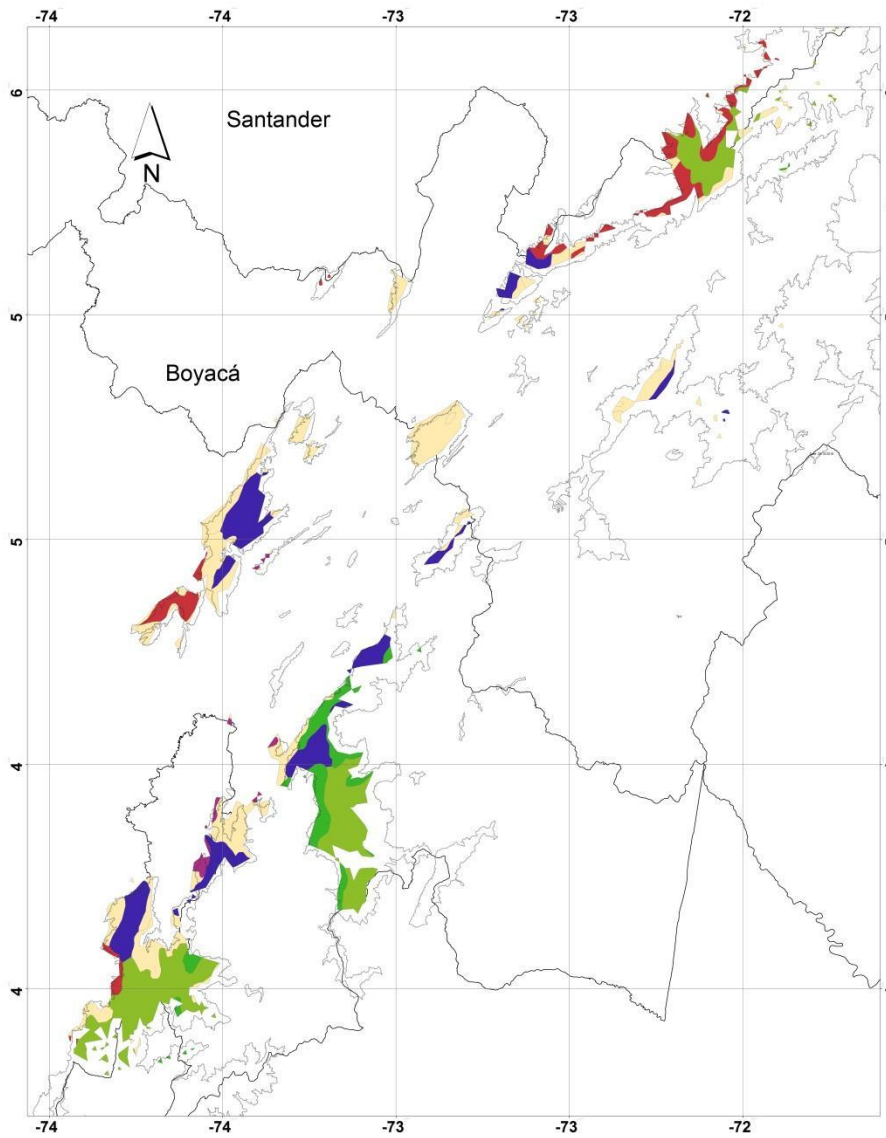


Autor: Navas De Los Reyes, Jenny Catalina
Bogotá D.C., 2016

Anexo 2. Área de Distribución Potencial para la Recolección de Germoplasma. Distrito Capital. *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida*



Anexo 3. Ecosistemas en el área de distribución potencial, Cordillera Oriental.
Puya goudotiana, Puya santosii y Puya nitida



Ecosistemas en el área de distribución probable, Cordillera Oriental.

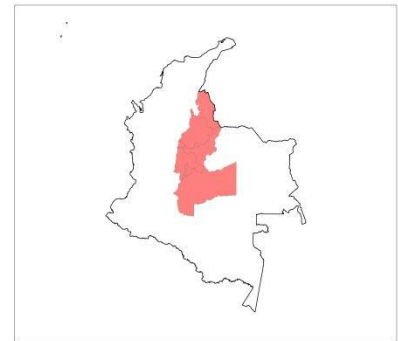
Puya goudotiana, Puya santosii y Puya nitida.

1:200.000

0 7,5 15 22,5 30 Kilometers

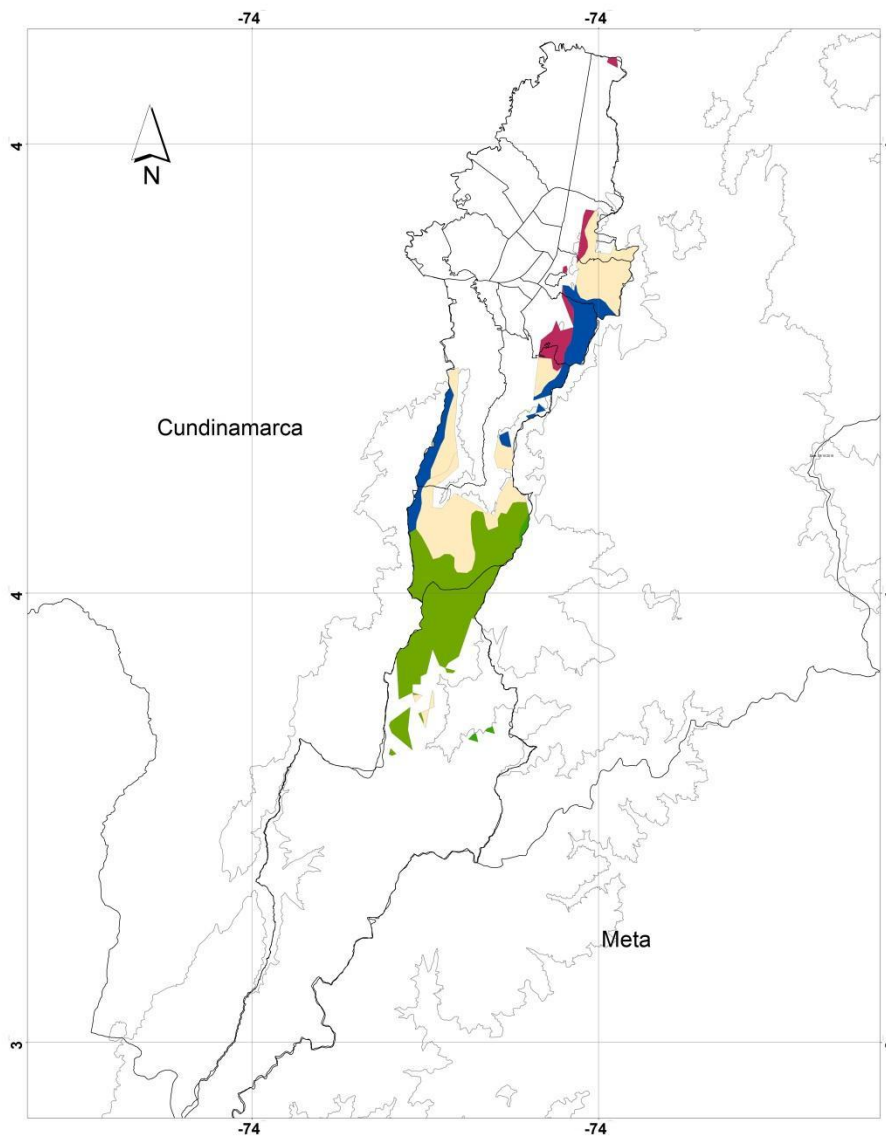
Legenda

- Complejos de Páramos
- Ecosistemas transformados
- BBD Alto-andinos Húmedos y de Niebla
- BBD Alto-andinos secos
- BMD Andinos y Alto-andinos de Roble
- Páramos Húmedos
- Páramos Secos



Autor: Navas De Los Reyes, Jenny Catalina
Bogotá D.C., 2016

Anexo 4. Ecosistemas en el área de distribución potencial, Distrito Capital.
Puya goudotiana, Puya santosii y Puya nitida









Ecosistemas en el área de distribución probable, Distrito Capital

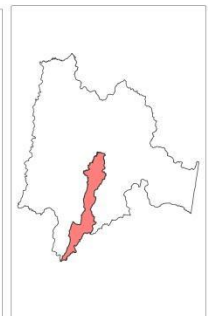
Puya goudotiana, Puya santosii y Puya nitida.

1:100.000

0, 2,5 5 9 13,5 18 Kilometers

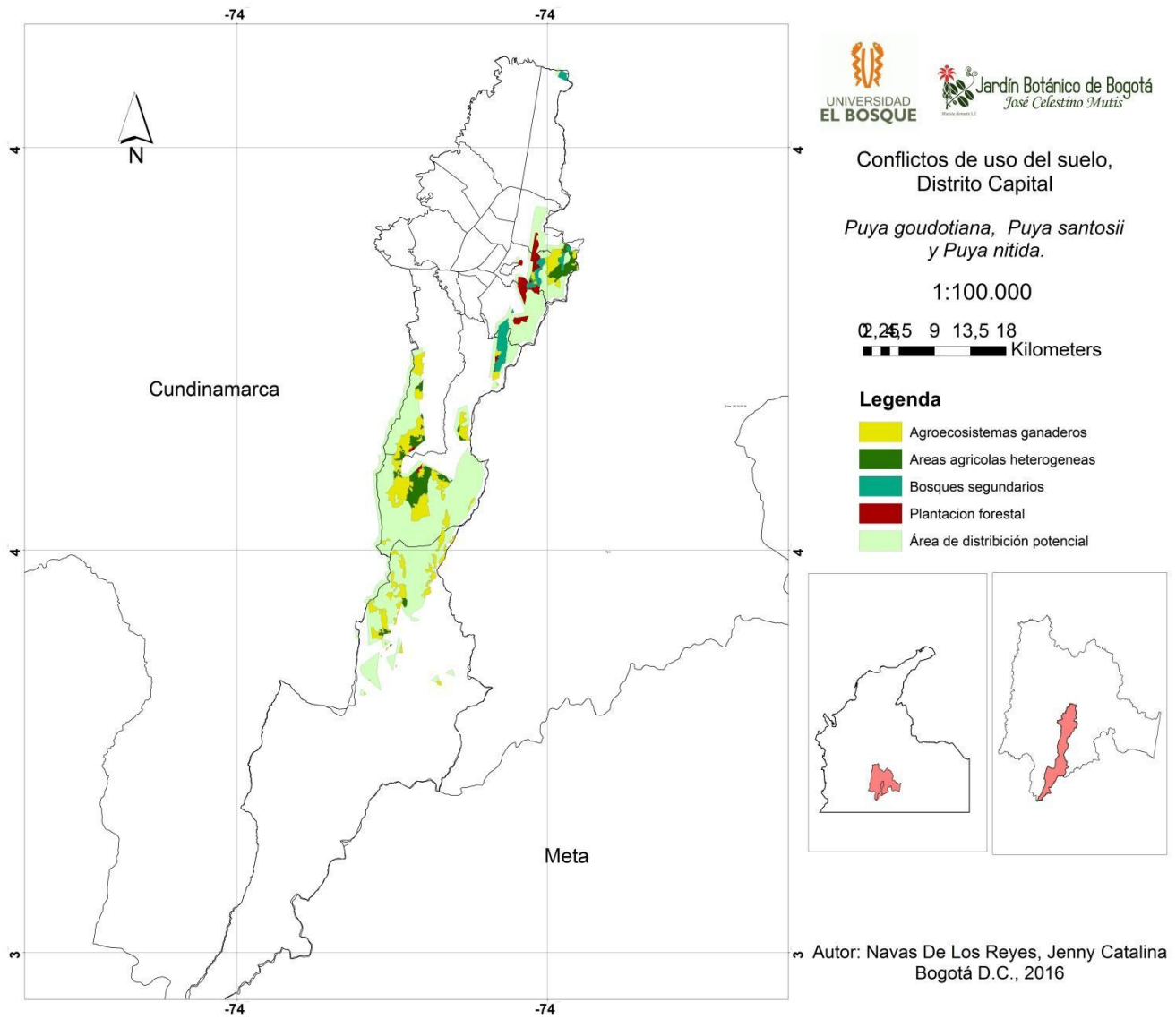
Legenda

-  Ecosistemas transformados
-  BBD Alto-andinos Húmedos y de Niebla
-  BBD Alto-andinos secos
-  Páramos Húmedos
-  Páramos Secos
-  Complejos de Páramos



Autor: Navas De Los Reyes, Jenny Catalina Bogotá D.C., 2016

Anexo 5. Mapa de conflictos de uso del suelo. Distrito Capital.
Puya goudotiana, Puya santosii y Puya nitida



Anexo 6. Conflictos de uso del suelo en las áreas de distribución potencial de las especies *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida*.

Localidad	Área de distribución potencial Total (ha)	Área potencial con conflictos (ha)		Agroecosistemas Ganaderos		Bosque secundario o áreas con predominio de vegetación secundaria		Áreas agrícolas heterogéneas		Plantación forestal	
		ha	%	AC	%	AC	%	AC	%	AC	%
		Chapinero	1266.9	356.8	3	88.3	1.4	33.7	2.9	58.1	2.6
Ciudad Bolívar	3454.7	1503.9	14	1122.6	17.4	0.0	0.0	344.8	15.4	36.4	3.4
San Cristóbal	2367.3	484.0	4	0.0	0.0	121.0	10.6	0.0	0.0	363.0	33.4
Santa Fe	3092.8	1935.1	18	599.0	9.3	405.5	35.4	496.2	22.1	434.4	40.0
Sumapaz	8201.1	2182.8	20	2022.3	31.4	0.0	0.0	160.5	7.2	0.0	0.0
Usme	13415.1	4445.9	41	2604.1	40.5	585.0	51.1	1181.1	52.7	75.7	7.0
Total	31797.9	10908.4		6436.2		1145.2		2240.8		1086.1	

Anexo 7. Conflictos de uso del suelo relacionados con bosque secundario o áreas con predominio de vegetación secundaria en las áreas de distribución potencial de las especies *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida*.

Localidad	Área de distribución potencial Total (ha)	Área de conflictos con bosque secundario o áreas con predominio de vegetación secundaria		Área de bosque secundario o áreas con predominio de vegetación secundaria en zonas protegidas									Área de bosque secundario o áreas con predominio de vegetación secundaria fuera de zonas protegidas	
		ha	%	Áreas protegidas por el POT			Complejos de páramo			Parques NN		ha	%	
				ha	%	%	ha	%	%	ha	%			
Chapinero	1266.9	33.7	2.9	5.9	1	res	5.9	0.9	re	0	0	27.8	5.7	
Ciudad Bolívar	3454.7	0.0	0.0	0.0	0	pec	0.0	0.0	sp	0	0	0.0	0.0	
San Cristóbal	2367.3	121.0	10.6	60.0	9	to	60.0	9.2	to	0	0	61.0	12.4	
Santa Fe	3092.8	405.5	35.4	211.2	32	al	211.2	32.3	al	0	0	194.3	39.6	
Sumapaz	8201.1	0.0	0.0	0.0	0	tot	0.0	0.0	to	0	0	0.0	0.0	
Usme	13415.1	585.0	51.1	377.4	58	al	377.4	57.7	tal	0	0	207.6	42.3	
Total	31797.95	1145.2		654.6		57	654.6		57	0		490.7	43	

Anexo 8. Áreas de distribución potencial de las especies *Puya goudotiana*, *Puya santosii* y *Puya nitida* sin conflictos de uso del suelo.

Localidad	Áreas de distribución potencial Total (ha)	Áreas de distribución potencial sin conflictos de uso (ha)	%
Chapinero	1266.9	910.2	
Ciudad Bolívar	3454.7	1950.8	
San Cristóbal	2367.3	1883.3	
Santa Fe	3092.8	1157.7	
Sumapaz	8201.1	6018.3	
Usme	13415.1	8969.1	
Total	31797.95	20889.58	66

Localidad

Áreas de distribución potencial sin conflictos de uso del suelo en áreas protegidas

	Áreas protegidas por el POT		Complejos de páramo		Parques NN		
	ha	%	ha	%	ha	%	%
Chapinero	910.2	6	569.2	3	0.0	0	r e s p e c t o a l t o t a l
Ciudad Bolívar	1516.6	10	1942.3	10	0.0	0	
San Cristóbal	1883.3	12	1571.0	8	0.0	0	
Santa Fe	1157.7	7	1101.1	5	0.0	0	
Sumapaz	4377.6	28	6018.4	30	4230.4	94	
	5763.0						
Usme		37	8911.3	44	260.8	6	
Total	15608.5	75	20113.2	96	4491.1	21	

Localidad	Áreas de distribución potencial sin conflictos de uso del suelo fuera de áreas protegidas								
	Áreas protegidas por el POT			Complejos de páramo			Parques NN		
	ha	%	%	Ha	%	%	ha	%	%
Chapinero	0.0	0	re	341.0	44	es	910.2	6	re
Ciudad Bolívar	434.3	8	s	8.6	1	s	1950.8	12	s
San Cristóbal	0.0	0	p	312.4	40	p	1883.3	11	p
Santa Fe	0.0	0	e	56.7	7	e	1157.7	7	e
Sumapaz	1640.7	31	c	0.0	0	c	1788.0	11	c
			t			t			t
			o			o			o
			a			a			a
			l			l			l
			t			t			t
			o			o			o
			t			t			t
			a			a			a
Usme	3206.1	61	l	57.8	7	l	8708.4	53	l
			25.			3.			
Total	5281.1	3		776.4	7		16398.4	79	

