

PÉREZ ARBELAEZIA

15 - Agosto de 2004

ISSN 0120-7717



Odontoglossum luteopurpureum. Lindl
Flor insignia de Bogotá

FLORA DE LA REAL EXPEDICIÓN BOTÁNICA
DEL NUEVO REINO DE GRANADA (1783 - 1816)



ENRIQUE PÉREZ ARBELÁEZ

1986 - 1972

Sacerdote - Investigador

Fundador del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

PÉREZ
ARBELÁEZIA

Publicación del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, dedicada a la memoria de su fundador, el doctor Enrique Pérez Arbeláez, quien consagró su vida a institucionalizar la tradición científica de Colombia y a fomentar la investigación, divulgación y defensa de nuestros recursos naturales.



Mutisia clematis L.

Planta ornamental nativa seleccionada como emblema del Jardín Botánico de Bogotá. Debe su nombre a la exaltación que el ilustre botánico Linneo quiso hacer en homenaje a José Celestino Mutis. Es una planta trepadora con zarcillos, hojas tomentosas en tonalidades verde grisáceo y flores casi siempre pedunculares, que con su color rojo vivo atraen insectos y colibríes.



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Luis Eduardo Garzón

Jardín Botánico de Bogotá

“José Celestino Mutis”

Directora

Martha Liliana Perdomo Ramírez

Secretaria General

Angélica Díaz Ortiz

Jefe Oficina Asesora Jurídica

Edna Patricia Rangel Barragán

Jefe Oficina Asesora de Control Interno

Nancy Sanabria Rojas

Asesor de Planeación

Vladimir Forero Serrano

Subdirectora Científica

Claudia Córdoba García

Subdirector Técnico Operativo

Rolando Higueta Rodríguez

Subdirectora Educativa y Cultural

Paola Liliana Rodríguez Suárez

PÉREZ ARBELAEZIA

Número 15 - Agosto de 2004

Publicación Anual

PÉREZ - ARBELAEZIA

La revista *Pérez Arbelaezia* es la publicación científica anual del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, está dirigida a investigadores, estudiantes, científicos y a todas las personas interesadas en los temas que ésta aborda.

Publica artículos científicos originales e inéditos que desarrollan temas de botánica, biología de especies y ecología de ecosistemas altoandinos; a la vez, abre el espacio para la presentación de ensayos, reflexiones, revisiones y conferencias que aportan al conocimiento de dichas disciplinas, así como de otras áreas misionales de la entidad, tales como la arborización urbana, la agricultura urbana y la educación ambiental.

Comité Editorial

Martha Liliana Perdomo	Directora
Claudia Córdoba	Subdirectora Científica
Paola Rodríguez	Subdirectora Educativa y Cultural
Santiago Madriñán Restrepo	Profesor. Departamento de Ciencias Biológicas Universidad de los Andes
	Profesor. Departamento de Biología Universidad Nacional
Hernán Mauricio Romero	Profesor - Investigador.
Andrés Etter Rothlisberger	Departamento de Biología y Territorio Universidad Javeriana

Editores

César Escallón Estupiñán
Fernando Molina

PÉREZ ARBELAEZIA

Publicación anual

© 2004 - Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

ISSN 0120-7717

*La reproducción total o parcial de un artículo debe citar la fuente.
Corresponde a los autores la total responsabilidad de las ideas, tesis
y conceptos emitidos en sus respectivos artículos.*

Coordinación general

Paola Rodríguez Suárez - Subdirectora Educativa y Cultural

- Corrección: Fernando Molina
- Diseño y diagramación: Alexandro Becerra Rodríguez

Impresión

Universidad Nacional de Colombia - Unibiblos

Ilustración carátula

***Odontoglossum luteopurpureum.* Lindl**

FLORA DE LA REAL EXPEDICIÓN BOTÁNICA
DEL NUEVO REYNO DE GRANADA (1783 - 1816)

Tomo XI, Orquidáceas, Lámina XXIV

1989, Ediciones de Cultura Hispánica, Madrid.

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Av. (Cll) 63 No. 68-95 / Tel: 437 7060 / Fax: 630 5075

www.jbb.gov.co

CONTENIDO

Presentación	7
Ecosistemas Colombianos	9
Germán Márquez	
Diagnóstico ecosistémico en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR	43
Elizabeth Valenzuela	
Caracterización preliminar de la vegetación natural en los ecosistemas de alta montaña de colombia	75
César Barbosa y Sandra Cruz Argüello	
Selección multicriterio de áreas de conservación in situ para el Jardín Botánico José Celestino Mutis	89
Fernando Remolina A.	
Plántulas procedentes del banco de semillas germinable de un bosque subandino.	113
Angélica Cardona Cardozo y Orlando Vargas Ríos	

PRESENTACIÓN

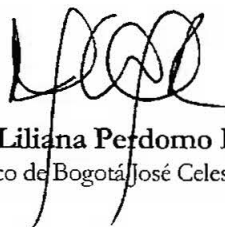
Me complace mucho dar continuidad al trabajo que ha venido desarrollando el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, con la publicación número 15 de la revista Pérez Arbelaezia, la cual entendemos como el proyecto editorial de mayor trascendencia institucional y un elemento relevante de la identidad del Jardín Botánico; por tanto, la comprensión que hemos alcanzado de su papel y las condiciones señaladas la colocan entre las prioridades de la actual administración.

La revista Pérez – Arbelaezia; fue creada con el propósito de dar a conocer los resultados de las investigaciones de la institución y de aquellas que realizan otras entidades del ámbito científico o académico en que se enmarca su temática, la cual se ha orientado a la flora de los ecosistemas andinos.

Dada la misión del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, como centro de investigación científica, la revista Pérez Arbelaezia, se constituye en un medio de divulgación de gran importancia, en la medida que nos brinda la oportunidad de dar a conocer y poner al servicio de los habitantes del Distrito, así como de todos los interesados en estos temas, en el ámbito nacional e internacional, los avances en el conocimiento sobre nuestros ecosistemas y sus especies, para su adecuado manejo, conservación y utilización.

Por tal motivo deseamos invitarle a darnos a conocer sus opiniones y, o a presentar sus artículos, producto de investigaciones científicas relacionadas con la temática de la revista, para que en caso de ser seleccionados, sean publicados en las en las próximas ediciones.

Espero que los estudios aquí presentados sean útiles para quien los consulte.
Cordial saludo,



Martha Liliana Perdomo Ramírez
Directora Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Selección multicriterio de áreas de conservación *in situ* para el Jardín Botánico José Celestino Mutis

Por:

Fernando Remolina A.¹

Resumen

La presente propuesta metodológica para la selección de áreas de conservación *in situ* del Jardín Botánico José Celestino Mutis reúne criterios de estado y presión de la biodiversidad así como valoración de la conectividad con la Estructura Ecológica Principal de Bogotá. La unión de estos conceptos lleva a un modelo multicriterio, semicuantitativo, flexible y aplicable a diferentes lugares ubicados en las áreas rurales de Bogotá. Esta metodología se utiliza siguiendo un árbol de decisión que optimiza el esfuerzo a hacer en cada predio con potencial de convertirse en áreas de conservación *in situ*.

Palabras clave

Área de conservación *in situ*, biodiversidad, presión de transformación del paisaje, nivel jerárquico, atributo de biodiversidad.

Abstract

The following framework for selecting conservation areas for the Botanical Garden José Celestino Mutis meets state and pressure biodiversity criteria, as well as connectivity assessment to the Main Ecological Structure of Bogotá. The combination of these concepts leads to a multi-criteria, semi-quantitative, flexible and applicable methodology to the country area of Bogotá. This methodology is applied by following a decision tree in order to either reject or accept a potential conservation area efficiently.

Keywords

Conservation area, biodiversity, landscape-change pressure, hierarchical level, biodiversity attribute.

¹ Biólogo M.A. Profesional de la Subdirección Científica, Jardín José Celestino Mutis de Bogotá, Bogotá, Colombia. fremolin@jbb.gov.co

Antecedentes

El marco orientador de los jardines botánicos del mundo es la agenda internacional titulada “La Estrategia para la Conservación en Jardines Botánicos”, publicada en 1989. En ella se revisa el papel activo que deben jugar los jardines botánicos en la conservación de plantas a nivel internacional. Posteriores documentos de influencia mundial como el Convenio sobre Diversidad Biológica, la Agenda 21 y otras estrategias para la protección de la diversidad biológica, crearon la necesidad de actualizar este primer documento directriz de los jardines botánicos. Es así como nace la Agenda Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos publicada en el 2000 por la Organización Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos. En esta nueva agenda se reitera la importancia de la Conservación *in situ* como una de las estrategias para salvaguardar la diversidad biológica. (Wyse & Sutherland, 2000).

La Agenda Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos es acogida e implementada por la Red de Jardines Botánicos de Colombia y el Ministerio del Medio Ambiente mediante la publicación Plan Nacional de Colecciones para los Jardines Botánicos de Colombia (Olaya et al. (eds), 2002). De esta forma, la misión y estrategias de conservación de los jardines botánicos de Colombia se enmarcan en acuerdos internacionales y se rigen por acuerdos nacionales. En esta publicación rectora a nivel nacional, se promulgan diez estrategias de conservación, entre las cuales se incluye la conservación *in situ*.

Wyse & Sutherland (2000: 43) definen conservación *in situ* como “la conservación de la biodiversidad en sus ecosistemas y hábitats naturales”; el objetivo de estas áreas es asegurar que la biodiversidad se mantenga por sí misma dentro de su propio hábitat. Área de conservación *in situ* para un jardín botánico es una zona de vegetación natural tal como áreas protegidas, reservas o parques naturales, que son manejadas o mantenidas con fines de preservación, ya sea autónomamente o por medio de convenios con los dueños prediales de dichas áreas.

La selección de áreas protegidas, las cuales son la base para escoger áreas de conservación *in situ*, es basada en diferentes criterios de acuerdo al objetivo de conservación planteado y a la disponibilidad de información; es por esto que la selección responde a criterios científicos o parte de observaciones hechas por investigadores con amplio conocimiento ecológico (van der Hammen & Andra-

de 2003); utilizan métodos cuantitativos, semicuantitativos o cualitativos; buscan proteger especies con un valor especial o proteger el mayor número de especies posibles (Temple, 1997).

El criterio científico más usado para la selección de áreas protegidas en el mundo es la presencia de especies valoradas por sus características ecológicas como grandes requerimientos de área mínima, especificidad de hábitat y endemismo, o por otras características de especies como grado de amenaza en que se encuentran o alto valor económico (Noss, 1990). Otros criterios de selección son la determinación de red áreas ocupadas por diferentes grupos de especies en algún tipo de riesgo (Lambeck, 1997; Boitani et al., 2003), caracterización de vegetación (Keel et al., 1993), criterios ecosistémicos y biogeográficos (deMaynadier & Hunter, 1997; van der Hammen & Andrade, 2003), bienes y servicios ambientales (van der Hammen & Andrade, 2003).

Dentro del criterio de selección de especies, éstas son clasificadas en las siguientes categorías (Noss, 1990; deMaynadier & Hunter, 1997; Boitani et al., 2003):

1. Especies Indicadoras: especies que señalan los efectos de perturbaciones sobre otras especies con requerimientos de hábitat similares.
2. Especies Estratégicas: aquellas que cumplen un papel importante en el mantenimiento de la estructura o función de ecosistemas.
3. Especies Sombrija: aquellas que generalmente se encuentran en los niveles jerárquicos superiores de cadenas tróficas y tienen grandes requerimientos de área a ocupar y su conservación conlleva la preservación de especies que se encuentran en niveles jerárquicos inferiores de la misma cadena.
4. Especies Bandera: aquellas que atraen la atención pública y facilitan las actividades de conservación.
5. Especies Vulnerables: especies raras, genéticamente empobrecidas o de baja fecundidad, dependientes de parches de vegetación o recursos impredecibles, extremadamente variables en densidad poblacional, perseguidas, o con tendencia a la extinción en paisajes dominados por el hombre.

Un ejemplo de tomar especies bandera para definir áreas de conservación es la mariposa *Euphydryas* spp., para la cual se determinó, mediante ecología de poblaciones y genética, estructura y patrones de apareamiento, migración e intercambio

de genes, requerimiento de área, identificación de características sutiles del hábitat que requiere dicha especie, tamaño de población mínima viable e introducción de poblaciones en fragmentos de hábitat vacíos (Ehrlich & Murphy, 1987).

Dentro del criterio de seleccionar áreas de conservación determinando el área de diferentes grupos de vertebrados se encuentra el sistema de áreas protegidas en Italia, la cual es llamada "Red Ecológica" (Boitani et al., 2003). Las especies seleccionadas en este estudio son grupo de vertebrados clasificados en una de las categorías de especies estratégicas, sombrilla o bandera. Esta metodología consiste en determinar el territorio ocupado por cada grupo de especies seleccionadas y posteriormente, cruzar estos territorios formando una red con el fin de obtener el área total que los contenga a todos. Ejemplo de esta metodología es aplicado en la región de Lombardía (Italia) donde usan especies sombrilla consideradas en riesgo, cada una con diferentes atributos espaciales presentes en el paisaje y bajo especiales regímenes de manejo; el resultado espacial de esta metodología es una red ecológica con áreas centrales unidas por corredores y escudadas por áreas de amortiguamiento (Bani et al., 2002).

Dentro del uso de especies como criterio de selección de áreas de conservación, Lambeck (1997) acuña el término "especies focales", el cual es un sinónimo de especies sombrilla; sin embargo, Caro (2000, 2002) hace una revisión de este término y encuentra que el concepto de especies focales abarca especies sombrilla, bandera e indicadoras. Caro & O'Doherty (1999) proponen el término de especies "sustitutas" – en inglés, surrogates –, el cual abarca especies bandera, sombrilla e indicadoras, evidenciándose sinonimias y confusiones en el uso de estos vocablos científicos. Armstrong (2002) compara estos dos conceptos y encuentra similares imprecisiones en ambos pero hace claridad que la palabra "focal" es usada para describir algo que es centro de atención, mientras que la palabra "sustituta" describe algo que remplacea otro elemento, por lo cual sugiere volver al uso de la palabra "focal" para agrupar los diferentes criterios utilizados en la selección de especies de interés.

Algunos investigadores han propuesto la selección de sitios de conservación por medio de análisis de vegetación. Keel et al. (1993) compararon varios sitios preseleccionados para preservación en Paraguay con criterios de valor de conservación mediante indicadores obtenidos a partir de levantamientos florísticos como Valores de Importancia de Especies (frecuencia relativa, densidad relativa, dominancia

relativa) y Valores de Importancia de Familias (diversidad relativa, densidad relativa y dominancia relativa). Este criterio de análisis de vegetación caracteriza una comunidad vegetal y describe su composición florística.

deMaynadier & Hunter (1997) proponen conservar áreas a nivel de organización paisaje-región con el criterio de la existencia de ecosistemas que cumplen papeles importantes en la estructura y función del paisaje. Estos ecosistemas son llamados estratégicos por dos razones. La primera es porque sirven como moldeadores de regímenes de disturbio a nivel de paisaje; por ejemplo, los grandes ríos sirven como barrera cortafuegos y evitan que algunos ecosistemas se quemen y en otros casos pueden llegar a convertirse en refugio de algunas especies. La segunda razón es porque suministran un recurso limitante dentro del paisaje en que se encuentran; es así como los oasis en los desiertos proveen comida, agua y sombra, especialmente durante sequías.

El criterio de selección de áreas de conservación por medio de determinación de ecosistemas estratégicos aún se encuentra en evidencia anecdótica o empírica porque comprobar el papel de un ecosistema en un paisaje requeriría "remover" el ecosistema propuesto como estratégico para evaluar la respuesta del paisaje a esta pérdida. Aún pudiéndose "remover" dicho ecosistema, se tendrían dificultades de replicación del experimento para su validez (deMaynadier & Hunter, 1997). A pesar de no haber estudios que demuestren de hecho la pérdida de biodiversidad por cambios en el paisaje, White et al. (1997) han planteado modelos de riesgo de pérdida en riqueza de especies y abundancia de hábitat por cambios en patrones del paisaje.

Las anteriores propuestas de determinación de áreas de conservación tienen virtudes y falencias. Todas apuntan al mantenimiento o restablecimiento de la biodiversidad; sin embargo, los criterios utilizados pueden excluir hábitats de especies importantes para el ecosistema. Es así como las áreas determinadas que tienen en cuenta sólo la riqueza de especies, tienen el potencial de sobrevalorar los hábitats de especies de amplio rango y subvalorar especies endémicas que frecuentemente están confinadas en pequeñas áreas (Temple, 1997). Otra falencia es ver fragmentariamente la biodiversidad en uno solo de sus niveles de organización —la mayoría toma como referente el nivel de especie y algunos el nivel de comunidad— y sólo toman el atributo de composición, dejando de lado los atributos de estructura y función de la biodiversidad.

Por estas razones es importante que los criterios de selección de áreas de conservación sean integrales, es decir, que tengan en cuenta a diferentes niveles de organización -especie, población, comunidad, ecosistema y paisaje- y monitoreen la biodiversidad en sus diferentes atributos.

Noss (1990) propone un modelo de monitoreo de diversidad biológica basado en los atributos primarios de biodiversidad -composición, estructura y función- que se encuentran en los cuatro niveles de organización biótica (paisaje-región, comunidad-ecosistema, población-especie, y genética). Este autor define composición como la identificación y variedad de los elementos en un nivel de organización; ejemplos de composición son los listados de especies e indicadores de diversidad de especies y diversidad genética. Estructura es definida como la organización física o patrón de un sistema; verbigracia, la complejidad del hábitat medido a nivel de comunidad o el patrón de parches y otros elementos a nivel de paisaje. Función hace referencia a los procesos ecológicos y evolutivos como flujo de genes, disturbios y ciclo de nutrientes.

La metodología propuesta por Noss (1990) consiste en usar indicadores de cada uno de los atributos de biodiversidad dentro de cada nivel de organización biótica para determinar biodiversidad de los biomas terrestres. Estos indicadores pueden ser usados como criterios de selección de áreas de conservación *in situ* porque apuntan, de manera integral, a los atributos y organización biótica de la biodiversidad.

Los criterios hasta ahora presentados exponen el estado de conservación de parches de vegetación. Un componente de igual importancia a éste es tener en cuenta factores que potencialmente disminuyan la biodiversidad en cualquiera de los niveles de organización biológica. Estos factores de origen antrópico que causan disminución de la biodiversidad son llamados indicadores de presión (Segnestam et al., 2000). Soulé (1991) propone seis clases de interferencia humana sobre la pérdida de biodiversidad: pérdida de hábitat, fragmentación de hábitat, sobreexplotación de poblaciones, especies y enfermedades introducidas, polución y cambio climático.

A pesar de conocerse las causas de pérdida de biodiversidad, no son comunes los modelos aplicados específicamente a este caso. Forester & Machlis (1996) presentan un modelo específico sobre las causas de efectos humanos sobre la biodiversidad, en donde se incluyen e interrelacionan las fuerzas directrices de este problema como el componente político, social y económico, uso humano de los recursos e impactos sobre el ecosistema.

De lo expuesto arriba, no hay un modelo que incluya criterios de estado y presión sobre la biodiversidad para establecer áreas de conservación, lo cual reuniría tanto la oferta ambiental y el potencial sociodinámico de un área silvestre. Sin embargo, este tipo de metodologías integrales han sido aplicadas en otros campos como el manejo de recursos ambientales. Segnestam et al. (2000) presenta una metodología de desarrollo de indicadores para tomar decisiones sobre el uso sostenible y manejo de recursos ambientales para Centro América. En este trabajo, los indicadores son presentados a diferentes componentes de desarrollo sostenible (social, económico, ambiental), por las interacciones entre componentes (aspectos socioeconómicos, socioambientales y económico ambientales), categorías de indicadores (presión, estado, impacto y respuesta) y a diferentes escalas (regiones, naciones, municipalidades, ecoregiones y ecosistemas). Estos autores aplican este esquema a la biodiversidad, tema que es visto como complementario del desarrollo sostenible rural.

Los anteriores criterios para selección de áreas protegidas y por ende a áreas de conservación *in situ* son aplicables a extensas zonas silvestres a nivel regional o nacional y son en su mayoría lugares con procesos lentos de transformación del paisaje. Bogotá D.C. es uno de los territorios con mayor velocidad de transformación del paisaje en Colombia por tratarse de una ciudad con grandes demandas de servicios ambientales y de infraestructura, alta accesibilidad vial y coyunturalmente ser el lugar que acoge a buena parte de inmigrantes de nuestro país. Es por esto que la selección de áreas de conservación *in situ* en Bogotá debe tener criterios tanto de estado ecológico como de presión por cambios no deseables sobre áreas silvestres. Este ingrediente social de presión sobre áreas de conservación *in situ* hace que los criterios de selección presentados aquí solo sean aplicables a sitios con alta velocidad de transformación como lo son grandes ciudades y frentes cocaleros (FEBB, 1998).

El objetivo de este trabajo es formular criterios de selección para áreas de conservación *in situ* del Jardín Botánico José Celestino Mutis dentro del Distrito Capital, teniendo en cuenta factores ecológicos y sociales.

Principios orientadores de los criterios de selección de áreas de conservación *in situ* para el Jardín Botánico José Celestino Mutis

La selección de áreas de conservación *in situ* se basa en la aplicación de tres principios:

- Los criterios de selección deben ser verificables, repetibles y acordes con la misión del Jardín Botánico José Celestino Mutis.
- Se incluirán criterios de estado de la diversidad biológica, con énfasis en plantas, basados en información de especies, comunidades y paisaje. La metodología debe articular especies con alto valor ecológico; comunidades vegetales que brinden hábitat a las especies con alto valor ecológico y otras propias de los ecosistemas altoandinos; valores en la escala de paisaje por ser el contexto que impacta directamente flujos ecosistémicos.
- Se hará énfasis en prioridades de conservación por presión de transformación antrópica del paisaje.

Metodología

El modelo conceptual para seleccionar áreas de conservación *in situ* se basa en el estado de la biodiversidad, valoración de conectividad con la Estructura Ecológica Principal de Bogotá y la presión antrópica sobre la transformación del paisaje. El procedimiento de elección de áreas de conservación *in situ* para el Jardín Botánico José Celestino Mutis tiene tres componentes principales: requisitos generales, estado ecológico del área silvestre y presión por transformación del paisaje (ver figura 1)



Figura 1. Procedimiento general para la selección de áreas de conservación *in situ* del Jardín Botánico José Celestino Mutis.

Componente "Requisitos Generales".

Las potenciales áreas de conservación *in situ* deben cumplir los siguientes requisitos generales para continuar con el proceso de aplicación de criterios de biodiversidad, conectividad con la Estructura Ecológica Principal y presión de transformación del paisaje:

- Ser un área silvestre ubicada dentro del Distrito Capital.
- Ser un lugar con cobertura vegetal levemente a medianamente alterada; el área del predio en estudio debe cubrir como mínimo el 70% de su extensión total en coberturas de bosque, matorrales nativos o vegetación nativa azonal.
- El dueño del predio con potencial de área de conservación debe estar interesado en mantener la propiedad y continuar administrándola; el papel del Jardín Botánico será la asesoría en el manejo del área silvestre y propiciar su preservación.
- Se tendrán en cuenta sitios en que hay claridad jurídica en la tenencia de la tierra por medio de escrituras.
- Tener un área mínima que contribuya a la producción o mantenimiento de bienes y servicios ambientales. El área mínima es internacionalmente calculada a partir del espacio que necesita una especie sombrilla para sobrevivir en estado silvestre. Sin embargo, tales estudios no se han realizado en el Distrito Capital, por lo cual es necesario recurrir a otra medida que calcule el mantenimiento de un servicio ambiental diferente al de biodiversidad.

El área mínima tomada como referente será el tamaño promedio de las vertientes más pequeñas que se encuentren en Bogotá. El fundamento de este criterio es el área mínima requerida para la producción y mantenimiento del recurso hídrico en condiciones ideales de captación de agua por medio de vegetación nativa. Este referente podrá ser reevaluado por medio de estudios sobre requerimientos de área mínima para especies focales o análisis de viabilidad de poblaciones.

Una vez cumplidos estos requisitos generales se continúa aplicando el componente de biodiversidad del área silvestre.

Componente "Biodiversidad del Área Silvestre"

El estado ecológico del área silvestre se define por los componentes de biodiversidad –composición, estructura y función– definidos por Noss (1990) a nivel de paisaje, comunidad vegetal y especies vegetales. En el nivel paisaje se toma como referente el mapa de cobertura actual del área rural de Bogotá; el nivel comunidad se infiere de levantamientos florísticos; el nivel de especies toma las Orchidaceae como indicadoras de biodiversidad y estado ecológico del bosque, porque son plantas que han coevolucionado con bosques maduros y se encuentran en medio a alto grado de amenaza (comunicación personal Sarmiento J.). En la tabla 1 se presentan los criterios de estado ecológico utilizados para la selección de áreas de conservación *in situ* para el Jardín Botánico José Celestino Mutis.

Tabla 1. Indicadores de estado ecológico para áreas de conservación *in situ* en el Distrito Capital (Adaptado de Noss, 1990).

NIVELES DE ORGANIZACIÓN	ATRIBUTOS DE BIODIVERSIDAD			
		Composición	Estructura	Función
	Paisaje	Riqueza y dominancia en clases de cobertura vegetal.	Índices de configuración del paisaje: distribución de tamaño de parche, complejidad de la forma del parche, área interior, aislamiento/proximidad; conectividad.	Proporción de cobertura vegetal nativa versus exóticas; Contraste entre coberturas.
	Comunidad	Índices de biodiversidad y valor de importancia.	Pendiente y aspecto del terreno, fisonomía, número de estratos de follaje y dominancia por cobertura y distribución de características físicas estratégicas (escarpes, abrigos rocosos y disponibilidad hídrica).	Ninguno.
	Especie	Riqueza.	Distribución geográfica y endemismos.	Fragilidad Poblacional.

Nivel de organización paisaje

Atributos de composición

El atributo de composición a nivel de paisaje cuantifica y hace referencia a características asociadas con la variedad y abundancia de tipos de parches de vegetación en el paisaje, sin considerar la posición de los mismos dentro del paisaje (Turner et al., 2003).

Para la aplicación de índices de composición, las coberturas se clasifican en dos grupos:

- Levemente y medianamente alteradas (bosques, bosque enano de subpáramo, pajonal-frailejónal zonal y azonal, matorrales, vegetación de turbera, vegetación casmófita y cuerpo de agua natural).
- Fuertemente alteradas (canteras, plantaciones de exóticas, urbanizaciones y pastizales).

Los índices de composición para este estudio son:

- Riqueza: El número de diferentes clases de parches de vegetación levemente alterada.
- Dominancia: Es la abundancia relativa por área de diferentes tipos de parches de vegetación dentro del predio en estudio.

Cada uno de los índices tomará uno de tres valores posibles de acuerdo a la proporción del tipo de cobertura vegetal que domine, a saber:

- Alta: La proporción de coberturas levemente y medianamente alteradas frente a coberturas fuertemente alteradas, se encuentra en proporción mayor a 70:30.
- Media: La proporción de coberturas levemente y medianamente alteradas frente a coberturas fuertemente alteradas, se encuentra en proporción 50:50 a 69:31.
- Baja: La proporción de coberturas levemente y medianamente alteradas frente a coberturas fuertemente alteradas, se encuentra en proporción menor a 50:50.

Los atributos de composición serán medidos en los parches de vegetación que se encuentran dentro del predio a ser potencialmente convertido en área de conservación. Los resultados de estos atributos serán comparados con los resultados arrojados para todos los predios con potencial de convertirse en área de conservación *in situ*, mediante la matriz de decisión cualitativa (ver tabla 2).

ÍNDICE DE COMPOSICIÓN		VALOR DE COMPOSICIÓN
Dominancia	Riqueza	
Alta	Alta, Media o Baja	Alto
Media	Alta, Media o Baja	Medio
Baja	Alta, Media o Baja	Bajo

Tabla 2. Matriz de decisión para atributos de composición a nivel paisaje.

Los atributos de composición con ponderación alta muestran que el predio en estudio tiene gran proporción de vegetación nativa bien conservada y por lo tanto serán tenidos en cuenta para áreas de conservación *in situ*. Si los atributos de composición dan ponderación media o baja indica que los predios con esta característica requieren grandes intervenciones de restauración ecológica.

Atributos de Estructura

Estructura, a nivel de Paisaje, es la disposición espacial de los parches de cobertura vegetal dentro del paisaje (Turner et al., 2003). Los índices de estructura –configuración espacial– son:

- **Tamaño de parche:** índice estadístico que presenta el promedio y desviación estándar de los tamaños de los parches de vegetación que se encuentran en el área de estudio.
- **Borde de parche:** representa la cantidad de borde de un parche expuesta a otros tipos de vegetación.
- **Complejidad de la forma del parche:** cuantifica la complejidad geométrica de los parches de vegetación en el área de estudio.
- **Área núcleo:** es el área central de los parches de vegetación no afectada por el efecto borde. El ancho del buffer de afectación del borde será de 50 m para bosques.

- Aislamiento/proximidad: es la tendencia de los parches de vegetación a estar relativamente aislados espacialmente de otros parches de la misma o similar clase.
- Conectividad: es el grado de adyacencia entre parches de la misma clase.

Los atributos de estructura del paisaje se calcularán para las coberturas levemente y medianamente alteradas que se encuentran dentro del predio así como para aquellas que se encuentran aledañas al mismo. Los resultados de estructura serán comparados entre los diferentes predios con potencial de convertirse en áreas de conservación *in situ* mediante la matriz de decisión cualitativa presentada en la tabla 3.

ÍNDICE	CRITERIO DE VALORACIÓN	VALORACIÓN
Distribución de Tamaño de Parches	Predominan el número de parches grandes sobre los pequeños.	Alto
	Predomina el número de parches pequeños sobre los grandes.	Bajo
Complejidad de la Forma del Parche	Predominio de parches voluminosos sobre parches alargados.	Alto
	Predominio de parches alargados sobre parches voluminosos.	Bajo
Área Interior	Predominio de parches con mayor proporción de área interior que área borde.	Alto
	Predominio de parches con mayor proporción de área borde que área interior.	Bajo
Aislamiento / Proximidad	Predominio de parches cercanos de la misma clase.	Alto
	Predominio de parches aislados de la misma clase.	Bajo
Conectividad	La mayoría de los parches están adyacentes.	Alto
	La mayoría de los parches no están adyacentes.	Bajo

Tabla 3. Matriz de decisión para el atributo de estructura a nivel paisaje.

La ponderación de la estructura del paisaje es alta si en el área de estudio predominan en número parches de vegetación leve a medianamente alterados de gran tamaño, con formas voluminosas y están próximos unos de otros. La ponderación del paisaje es baja si predominan, en número, parches de vegetación leve a medianamente alterados pequeños, alargados y distantes unos de otros.

Atributos de función

La función del paisaje será analizada a partir de aquellas coberturas vegetales que pueden estar bloqueando o desmejorando procesos ecológicos como movimiento de especies nativas y otros servicios ambientales. El índice para medir este bloqueo de funciones ecológicas es llamado contraste, el cual es el grado de permeabilidad de procesos ecológicos (verbigracia, movimiento de especies animales entre parches de vegetación y éxito de colonización de propágulos vegetales) entre parches de vegetación vecina. Es así como hay alta permeabilidad de procesos ecológicos entre coberturas levemente alteradas (bosques, frailejónal-pajonal y vegetación azonal); semipermeabilidad (es decir, algunos procesos fluyen pero otros no) entre coberturas leve alteradas y medianamente alteradas (matorrales); e impermeabilidad (la mayoría de procesos ecológicos no fluyen) entre coberturas levemente alteradas y fuertemente alteradas (canteras, plantaciones de exóticas, urbanizaciones y pastizales).

La Tabla 4 presenta la matriz de decisión para cualificar el atributo de función mediante el índice de Borde Total Contrastante (porcentaje de perímetro contrastante frente a perímetro total de las coberturas que se encuentra en las áreas de estudio).

Índice de borde total de contraste entre vegetación leve a medianamente alterada vs. Vegetación fuertemente alterada	Grado de función
Alto (mayor de 70%)	Bajo
Medio (30-70%)	Medio
Bajo (menor de 30%)	Alto

Tabla 4. Matriz de decisión para el atributo de función.

Valor unificado de biodiversidad a nivel paisaje

Una vez obtenidos los atributos de composición, estructura y función a nivel paisaje, éstos se consolidan en una matriz de decisión para obtener una sola calificación a este nivel de organización (ver tabla 5).

Valoraciones de atributos de estado ecológico			Valor consolidado
COMPOSICIÓN	ESTRUCTURA	FUNCIÓN	
Alto	Alta / Media	Alta	ALTO
	Baja	Medio / Bajo	MEDIO
Medio	Alta / Media	Alto / Medio	MEDIO
	Baja	Bajo	BAJO
Bajo	Media / Baja	Medio / Bajo	BAJO

Tabla 5. Matriz de decisión de biodiversidad a nivel paisaje.

El valor "Alto" de biodiversidad a nivel paisaje indica que la vegetación tiene gran proporción de cobertura nativa leve a medianamente transformada, fuerte estructura y su función no tiene grandes impedimentos para que fluyan procesos ecológicos. De otra parte, los predios con valores "Medio" y "Bajo" en el estado ecológico a nivel paisaje están alterados a tal punto que se requiere de una restauración activa para recuperar procesos ecológicos, por lo cual estos predios no serán tenidos en cuenta para establecer áreas de conservación *in situ*.

Una vez definido el estado ecológico a nivel paisaje, se analiza el estado ecológico a nivel de comunidad vegetal.

Nivel de organización comunidad

A partir de levantamientos florísticos realizados en los predios visitados que cumplen los requisitos generales, se obtienen atributos de composición (índices de biodiversidad y valor de importancia) y estructura (pendiente y aspecto del terreno, fisonomía, número de estratos de follaje y dominancia por cobertura) y distribución de características físicas estratégicas (escarpes, abrigos rocosos y disponibilidad hídrica). La tabla 6 presenta la matriz de decisión para los atributos de composición y estructura a nivel comunidad vegetal.

Composición	Estructura	Ponderación a Nivel Comunidad
Alta	Alta / Media	Alta
Alta	Baja	Media
Media	Alta / Media	Media
Media	Baja	Baja
Baja	Alta / Media / Baja	Baja

Tabla 6. Matriz de decisión para atributos de biodiversidad a nivel comunidad vegetal.

Nivel de organización especies vegetales.

Las Orchidaceae fueron seleccionadas como especies indicadoras de biodiversidad por sus características biológicas especializadas, alto grado evolutivo, tasas de crecimiento, endemismo y distribución gradual dentro de los ecosistemas, así como su localización en función de la estructura del bosque (comunicación personal Sarmiento J.).

Las especies que se encuentren en los predios se analizan de acuerdo a sus características en composición (riqueza), estructura (distribución geográfica y endemismos) y función (fragilidad poblacional) como especies, para determinar valores que justifiquen su conservación. Se ha calificado cualitativamente cada condición como media a alta (gran riqueza, endémicas o fragilidad poblacional), y baja (no hay riqueza de especies, endemismos o fragilidad poblacional) para las especies encontradas en los áreas visitadas.

Ponderación de estado ecológico en áreas de conservación *in situ*.

Una vez determinados los atributos de composición, estructura y función en los niveles de paisaje, comunidad y especie, se procede a aplicar la matriz de decisión que se detalla en la figura 2. Una vez determinado el estado ecológico, se continúa con el análisis de conectividad con la Estructura Ecológica Principal.

Conectividad con la Estructura Ecológica Principal.

La conectividad del área en estudio es evaluada mediante trabajo en campo y análisis de mapas de cobertura vegetal actual, observando la presencia de parches de vegetación o drenajes que sirven como conectores naturales con ecosistemas aledaños dentro de la Estructura Ecológica Principal Distrital o con cobertura vegetal nativa levemente alterada adyacente pero ubicada fuera de Bogotá. Los predios que tengan conectividad con la Estructura Ecológica Principal o con vegetación de municipios vecinos son los de mayor importancia para el Distrito por tener continuidad física y no necesitar de conectores para evitar su aislamiento geográfico. Estos predios son para preservación y continúan siendo evaluados para constituirse en áreas de conservación *in situ*.

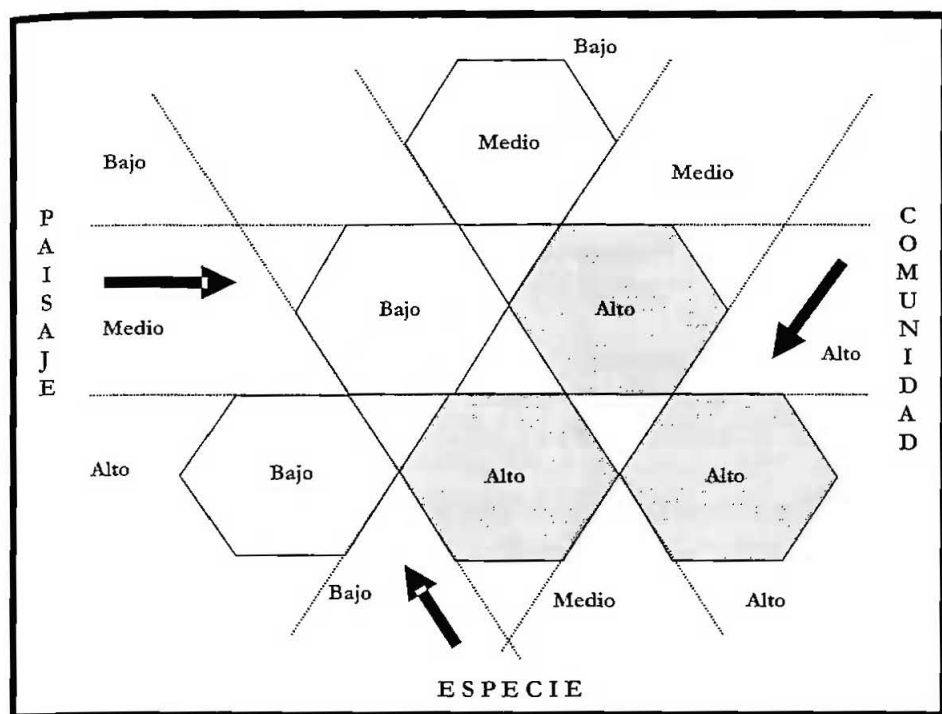


Figura 2. Matriz de decisión para determinar biodiversidad en potenciales Áreas de Conservación in situ. Los valores que se encuentran dentro de los hexágonos son las ponderaciones resultantes de cruzar los niveles de organización paisaje, comunidad y especie.

Componente “Presión de transformación del paisaje”

El componente “Presión de Transformación del Paisaje” es dado por elementos indicadores que promueven cambios acelerados en una región; estos elementos son accesibilidad vial, pendiente, fragmentación predial y tipo de dueño. Estos elementos son sintetizados en dos componentes: accesibilidad vial y tamaño predial (ver figura 3).

La accesibilidad vial es importante porque afecta el movimiento de personas, bienes y servicios. La malla vial que recorre un territorio trae consigo mayor productividad económica y sin dudas también propicia la transformación el medio natural (Segnestam et al., 2000). Los predios importantes ecológicamente y que tienen gran accesibilidad vial corren el riesgo de ser transformados en “inmuebles productivos privados”, siendo esto incompatible con la preservación de los escasos recursos

naturales que se encuentran en buen estado ecológico en Bogotá D.C. De otra parte, los predios de importancia ecológica y con baja accesibilidad vial no corren gran riesgo de ser transformados porque al ser inaccesibles, su usufructo acarrea altos costos económicos si se les compara con aquellos predios de alta accesibilidad.

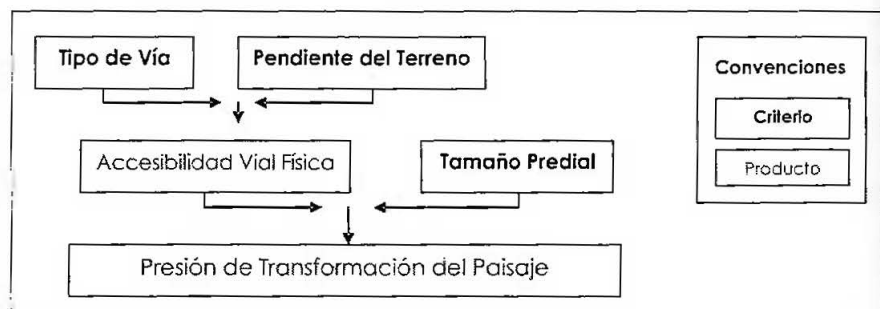


Figura 3. Modelo conceptual para determinar la presión de transformación del paisaje.

La accesibilidad vial física se determina por el tipo de vía y pendiente del terreno. Las áreas ubicadas en pendientes altas tienen menor probabilidad de ser transformadas que aquellas localizadas en sitios planos a ondulados. La Tabla 7 presenta la matriz de decisión que califica la accesibilidad vial.

Tipo de vía Pendiente	Vía Principal (10)	Vía Secundaria (7)	Camino (3)	Sin vía (0)
No Data (10)	20	17	13	10
0-12% (10)	20	17	13	10
13-25 (7.5)	17.5	14.5	10.5	7.5
26-50 (5)	15	12	8	5
51-75% (1)	11	8	4	1

Tabla 7. Matriz de decisión para determinar accesibilidad vial.

Accesibilidad Alta: Valores iguales o mayores de 17. Lugares totalmente accesibles.

Accesibilidad Media: Valores entre 10.5 y 16. Limitaciones de accesibilidad vial por pendiente del terreno o falta de vía.

Accesibilidad Baja: Valores menores a 10.5. Restricciones de accesibilidad por pendiente del terreno y falta de vías.

Una vez obtenida la accesibilidad física vial, este resultado se cruza con el tamaño predial para obtener el grado de presión de transformación del paisaje. Los predios son clasificados en tres tamaños a saber:

Menores de 3 ha: altamente fragmentados y con tendencia a usos residenciales.

Entre 3 y 15 ha: medianamente fragmentados y con potencial de ser aún más fragmentados para usos residenciales.

Mayores de 15 ha: Levemente fragmentados; su uso es pasivo y generalmente son fincas encargadas o predios fiscales.

La anterior clasificación sólo es válida para áreas cercanas al borde urbano bogotano por dominar allí minifundios presionados para convertirse en desarrollo progresivo o vivienda planificada frente a la malla vial bogotana, o casas campestres (chaletización) en sitios accesibles solo por vías principales municipales, intermunicipales o rurales en donde ya se presenta este fenómeno.

La tabla 8 presenta la matriz de decisión para determinar la presión de transformación del paisaje.

Accesibilidad Vial \ Tamaño Predial	Accesibilidad Alta (100)	Accesibilidad Media (9)	Accesibilidad Baja (0.5)
Menores de 3 ha (100)	10000	900	50
Entre 3 y 15 ha (10)	1000	90	5
Mayores de 15 ha (1)	100	9	0.5

Tabla 8. Matriz de decisión para "Presión de transformación del paisaje".

Presión Alta de Transformación: 900-10000. Predios menores de 3 ha con accesibilidad media o alta.

Presión Media de Transformación: 50-100. Predios de diferentes tamaños con restricciones de accesibilidad vial.

Presión Baja de Transformación: 0.5-9. Predios mayores de 15 ha de propiedad privada con caminos o predios fiscales con cualquier tipo de vía.

Una vez determinada la presión de transformación del paisaje, los predios se evalúan bajo el criterio de tipo de dueño predial, lo cual hace referencia a si el área en cuestión se encuentra en manos privadas o hace parte de los inmuebles de una institución distrital, regional, o nacional. Esta clasificación es relevante porque los predios con usos urbanos o agropastoriles generan presión de transformación sobre predios vecinos con alto grado de preservación. Este fenómeno se observa en el borde urbano, área rural y al interior de áreas protegidas en Bogotá. De otro lado, los predios fiscales, es decir, aquellos que pertenecen a instituciones del orden Distrital, Regional o Nacional, no muestran tendencia de transformación a usos de vivienda, minería o agropastoriles porque fueron adquiridos con fines de preservación, restauración ecológica o producción de servicios ambientales. Además, dichos predios cuentan con un alto grado de gobernabilidad porque sus dueños invierten en administración y amojonamiento de predios evitando que los vecinos invadan o hagan transformaciones no deseadas. Ejemplo de este alto grado de gobernabilidad al interior de los predios fiscales es la existencia de tan solo 6 viviendas ilegales en las 4900 ha de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá en los Cerros Orientales de Bogotá. Por todo lo anterior, se privilegiarán los predios privados sobre los predios fiscales en caso de que se encuentren en ellos ponderaciones similares en los criterios de estado de la biodiversidad y conectividad con la Estructura Ecológica Principal.

Discusión de resultados

El resultado de este protocolo de selección (ver figura 4) es semicuantitativo porque no se cuenta con toda la información sobre diferentes niveles jerárquicos de biodiversidad; es por esto que el protocolo puede ir siendo mejorado y refinado a medida que se realicen estudios detallados y cuantitativos sobre los criterios de selección a nivel especie y comunidad.

A nivel especie, el actual estado de conocimiento solo ha permitido dar ponderaciones basados en presencia/ausencia de especies focales; la ponderación puede ser mejorada si se conocen detalles de las especies seleccionadas como requerimientos de área mínima para su existencia y análisis de viabilidad poblacional. Adicional-

mente, es importante incluir otras especies diferentes a las de la familia Orchidaceae para no incurrir en el error de excluir especies focales con otros requerimientos de hábitat, viabilidad y área mínima. Estos dos elementos pueden llevar a que el área de conservación *in situ* sea de mayor extensión o se necesite de una red ecológica como las planteadas por Bani et al. (2002) y Boitani et al. (2003).

En el nivel comunidades vegetales no se tiene información sobre la influencia de la diversidad en la función de los ecosistemas; en la literatura científica se parte de la premisa que el cambio en las especies (número y composición de especies o poblaciones) en un ecosistema pueden influir sobre la calidad y cantidad de flujos ecosistémicos pero no se menciona de que forma influye sobre los mismos. Este conocimiento llevaría a tomar medidas de preservación sobre aquellos grupos de especies que inducen cambios cualitativos o cuantitativos en la función de los ecosistemas.

El componente de presión sobre transformación del paisaje puede ser mejorado mediante modelos de autómatas celulares y simulaciones multiagentes, los cuales proporcionan modelos más precisos y dinámicos sobre la inclusión de variables sociales al manejo de recursos naturales.

El modelo de selección es multicriterio con el fin de lograr complementariedad entre niveles y atributos de biodiversidad así como tener en cuenta que las potenciales áreas de conservación *in situ* se encuentran bajo diferentes grados de amenaza de transformación antrópica. La complementariedad lleva a una decisión con gran número de elementos de juicio relevantes, y por ende, se pueden tomar decisiones más integrales frente a la selección de áreas de conservación *in situ*.

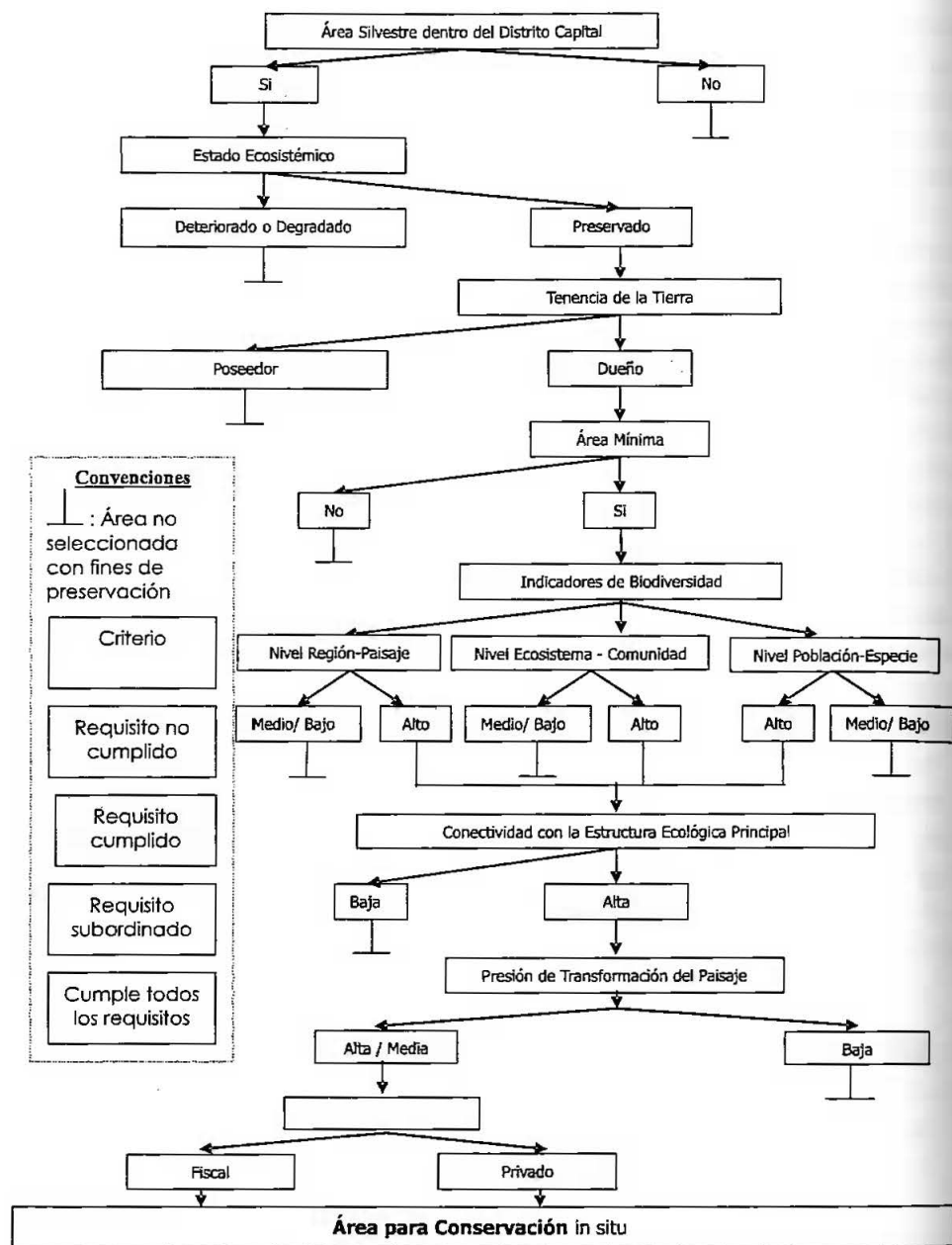


Figura 4. Árbol de decisión para determinar áreas de conservación *in situ*.

Agradecimientos: Jorge Sarmiento Téllez, investigador del Jardín Botánico José Celestino Mutis, por sus sugerencias y revisión del documento.

BIBLIOGRAFÍA

- Armstrong, D. 2002. Focal and Surrogate Species: getting the language right. *Conservation Biology* 16: 285-286.
- Bani, L., M. Baietto, L. Bottoni and R. Massa. 2002. The Use of Focal Species in Designing a Habitat Network for a Lowland Area of Lombardy, Italy. *Conservation Biology* 16: 826-831.
- Boitani, L., A. Falcucci, L. Maiorano, and A. Montemaggiori. 2003. Italian Ecological Network: the Role of the Protected Areas in the Conservation of Vertebrates. Animal and Human Biology Department, University of Rome "La Sapienza". Nature Conservation Directorate of the Italian Ministry of Environment, Institute of Applied Ecology. Roma. 88 Pp.
- Caro T., 2000. Focal Species. *Conservation Biology* 14: 1569-1570.
- Caro T., 2002. Letter. *Conservation Biology* 16: 286-287.
- Caro, T., & G. O'Doherty 1999. On the use of Surrogate Species in Conservation Biology. *Conservation Biology* 13: 805-814.
- deMaynadier, P., and M. Hunter. 1997. Role of Keystone Ecosystems in Landscapes. Pp. 68-77. In Boyce, M., and A. Haney (eds.). *Ecosystem Management: Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources*. Yale University Press. New Haven & London.
- Ehrlich, P., & D. Murphy. 1987. Conservation Lessons from Long - Term Studies of Checkerspot Butterflies. *Conservation Biology* 1: 122-131.
- FEBB -Fundación Estación Biológica Bachaqueros-. 1998. *Ecología Humana y Ordenamiento Territorial*. En Plan de Manejo de Ecosistemas Estratégicos para las Áreas Rurales del Distrito Capital. Departamento Técnico Administrativo de Medio Ambiente -DAMA- (Ed.). Bogotá. Pp. 1-44.
- Keel S., A. Gentry, and L. Spinzi. 1993. Using Vegetation Analysis to Facilitate the Selection of Conservation Sites in Eastern Paraguay. *Conservation Biology* 7: 66-76.
- Lambeck, R., 1997. Focal Species: A Multi-Species Umbrella for Nature Conservation. *Conservation Biology* 11: 849-856.
- Mora, L., 1973. Programa para los años 1973-1978. Jardín Botánico José Celestino Mutis. Bogotá. 34 Pp.
- Noss, R., 1990. Indicators for Monitoring biodiversity: A hierarchical Approach. *Conservation Biology* 4: 355-364.
- Olaya, A., A. Rivera & C. Rodríguez (eds). 2002. Plan Nacional de Colecciones para los Jardines Botánicos