

# PÉREZ ARBELAEZIA

Nº 19 - Diciembre de 2008

ISSN 0120-7717



Jardín Botánico de Bogotá  
José Celestino Mutis  
Centro de Investigación y Desarrollo Científico



ENRIQUE PÉREZ ARBELÁEZ  
1896 - 1972

Sacerdote - Investigador  
Fundador del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

PÉREZ  
ARBELAEZIA

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.



Alcalde Mayor de Bogotá, D.C.  
Samuel Moreno Rojas

## Jardín Botánico de Bogotá «José Celestino Mutis».

### Junta Directiva

Juan Antonio Nieto Escalante  
**Secretario Distrital de Ambiente**

Carlos Ossa Escobar  
**Rector - Universidad Distrital**  
Francisco José de Caldas

Tomás León Sicard  
**Director - Instituto de Estudios Ambientales, IDEA. Universidad Nacional de Colombia**

Germán Galindo Hernández  
**Fundación Humedal La Conejera**

Ángel Guarnizo Vásquez  
**Coordinador Unidad de Turismo de Naturaleza – Instituto de Turismo de Bogotá**

Eugenia Ponce de León Chaux  
**Directora General - Instituto Alexander von Humboldt**

### Comité Directivo

Herman Martínez Gómez  
**Director Jardín Botánico**

Julio César Pulido Puerto  
**Secretario General (E)**

Eduardo Villegas Flórez  
**Subdirector Científico**

Frank Leonardo Hernández Ávila  
**Subdirector Educativo y Cultural**

Federico de Jesús Bula Gutiérrez  
**Subdirector Técnico y Operativo**

Hugo Alejandro Sánchez Hernández  
**Jefe Oficina Asesor Jurídico**

Julio César Pulido Puerto  
**Jefe Oficina de Planeación**

Francisco Bocanegra Polanía  
**Jefe Oficina de Arborización**

Amparo Morales Amador  
**Jefe Oficina de Control Interno**

# PÉREZ ARBELAEZIA

Número 19 - Diciembre de 2008

Publicación Anual

---

PÉREZ ARBELAEZIA © 2008 - ISSN 0120-7717

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 esta 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 Jardín Botánico

La edición de las publicaciones del Jardín Botánico de Bogotá se realiza de manera participativa ascendente a través de Comités Operativos integrados por interlocutores válidos de cada subdirección y dependencia, la coordinación editorial, la firma editora externa y el nivel directivo de la entidad, que conforman el comité editorial.

En la planeación, compilación, coordinación y edición de esta revista participaron por parte del Comité Operativo Interno de la Subdirección Científica:

Johanna Katherine Bernal Sotelo  
Vilma Isabel Jaimes Sánchez  
Pamela Tatiana Zúñiga Upegui  
Eduardo Villegas Flórez

Investigadora  
Investigadora  
Investigadora  
Subdirector Científico

## Comité Editorial Honorario

Santiago Madriñán Restrepo

Profesor. Departamento de Ciencias  
Biológicas

Universidad de los Andes

Hernán Mauricio Romero

Profesor. Departamento de Biología

Universidad Nacional de Colombia

Profesor - Investigador

Andrés Etter Rothlisberger

Departamento de Biología y Territorio  
Universidad Javeriana

## Director revista Pérez Arbelaeza

Eduardo Villegas Flórez

## Subdirector Científico

## Coordinación general editorial Jardín Botánico de Bogotá

José Celestino Mutis

Litta Buitrago Sandoval

## Editora

Patricia Jaramillo M. - Comunicación Ambiental

## Coordinación editorial

Patricia Jaramillo M. - Comunicación Ambiental

### • Corrección de rigor científico:

Martha Yaneth Vallejo

Germán Ignacio Andrade Pérez

### • Corrección de estilo:

Juan Carlos Gómez Amaya

### • Diseño y diagramación:

Bibiana Andrea Alturo M.

Jovana Angélica Noguera V.

## Impresión

Imprenta Nacional de Colombia.

## Ilustración carátula

*Mutisia clematis* L. Lámina Expedición Botánica.

*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.*

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Av. Calle 63 No. 68-95 / Teléfono: 437 7060 / Fax: 630 5075 [www.jbb.gov.co](http://www.jbb.gov.co)



## Grupo de Árbitros

|                             |                         |                                                                                   |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Camilo Cárdenas             | Docente – Investigador  | Universidad Nacional de Colombia                                                  |
| Carlos A. Devia C.          | Docente – Investigador  | Departamento de Ecología Pontificia Universidad Javeriana                         |
| César Ruíz                  | Investigador            | Conservación Internacional                                                        |
| Eduardo Behrentz            | Director                | Centro de estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional – Universidad de los Andes |
| Jeroen Pascal               | Consultor               | Internacional Royal Haskoning                                                     |
| Jorge Jácome                | Profesor Asistente      | Departamento de Biología Pontificia Universidad Javeriana                         |
| José Hipólito Isaza         | Docente                 | Departamento de Química Universidad del Valle                                     |
| José Ignacio Barrera        | Coordinador             | Escuela de Restauración Ecológica Pontificia Universidad Javeriana                |
| Luis David Gómez            | Coordinador             | Prácticas Estudiantiles Pontificia Universidad Javeriana                          |
| María Soledad Hernández     | Investigadora           | Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - Sinchi                       |
| Nancy Isabel Castillo       | Docente - Investigadora | Laboratorio Agroambiente 2015                                                     |
| Luis Guillermo Baptiste     | Subdirector             | Instituto Alexander von Humboldt                                                  |
| Orlando Rangel              | Docente – Investigador  | Universidad Nacional de Colombia                                                  |
| Roxana Yockteng             | Profesora asociada      | Departamento Sistemático de Evolución Museo Nacional de Historia Natural          |
| Willian Fernando Castrillón | Docente                 | Universidad Distrital Francisco José de Caldas                                    |

## CONTENIDO

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Presentación.....                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 10  |
| Reflexiones en torno a la Educación Ambiental en Bogotá a partir de la implementación de Escenarios Vivos de Aprendizaje, EVA, en siete quebradas del Distrito Capital.<br>Alexander Delgado/Luisa Galindo/Luz Marina Buitrago/Néstor Céspedes/Edna Margarita Vargas/Maritzá Suárez/Edwin Ussa ..... | 15  |
| Aspectos ambientales y paleoambientales de los enclaves secos y el caso particular del valle del Checua (Nemocón, Colombia).<br>Thomas van der Hammen.....                                                                                                                                           | 35  |
| Modelo de distribución potencial de <i>Condalia thomasi</i> (Rhamnaceae), especie endémica del valle del río Checua, Sabana de Bogotá, Colombia.<br>Catalina Giraldo P./Carolina Alcázar Caicedo.....                                                                                                | 49  |
| Ensayo experimental con microorganismos benéficos y su potencial uso en la implementación de los proyectos de restauración ecológica en el Distrito Capital.<br>Claudia Cristina Rojas Marulanda.....                                                                                                | 71  |
| Caracterización fisionómica, estructural y florística de algunas comunidades vegetales en la cuenca media del río Tunjuelo.<br>Sandra Pilar Cortés Sánchez.....                                                                                                                                      | 85  |
| Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo.<br>Camilo A. Correa Ayram.....                                                                                                                                                           | 115 |
| Eficacia de dos hongos entomopatógenos para el control de <i>Pseudococcus</i> spp.<br>Raúl H. Posada Almanza/Lermen Forigua Acosta .....                                                                                                                                                             | 141 |
| Análisis y selección de diferentes métodos para eliminar las saponinas en dos variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.<br>Diana C. Corzo Barragán.....                                                                                                                                         | 153 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Evaluación de la actividad antimicrobiana de los extractos etanólicos y aceites esenciales de las especies vegetales <i>Valeriana pilosa</i> , <i>Hesperomeles ferruginea</i> , <i>Myrcianthes rhopaloides</i> y <i>Passiflora manicata</i> frente a microorganismos patógenos. |     |
| Andrea J. Lizcano Ramón/María E. Torres Cárcamo/Jenny L. Vergara González.....                                                                                                                                                                                                  | 163 |
| Vegetación potencial en la cuenca media del río Tunjuelo y procesos de cambio en la cobertura vegetal, otro enfoque metodológico para un análisis multitemporal.                                                                                                                |     |
| Sandra Pilar Cortés Sánchez.....                                                                                                                                                                                                                                                | 189 |
| Requerimientos de edición para la publicación de artículos en la revista.....                                                                                                                                                                                                   | 205 |



## PRESENTACIÓN

Apreciado lector:

Desde 1985 la revista *Pérez Arbelaez* ha sido el medio a través del cual el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis presenta los resultados de las investigaciones realizadas por el equipo de científicos dedicados al conocimiento de los ecosistemas altoandinos y sus componentes, así como las de investigadores y entidades afines con el fin de aportar en el cumplimiento de los objetivos estratégicos institucionales.

En esta oportunidad, en cumplimiento a los objetivos «Fortalecer los cambios de actitud de la población frente a la valoración, uso y conservación de la flora» y «Aumentar las áreas donde se apliquen estrategias de conservación de la flora de bosque Andino y páramo» se publica el artículo resultado del convenio interadministrativo entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, sobre la aplicación de la metodología Escenarios Vivos de Aprendizaje, EVA, entendidos como *espacios dentro de un territorio compuesto por elementos geográficos, biológicos y sociales que interactúan con las dinámicas de producción económica*.

A través de los EVA se pretende realizar la identificación, caracterización, análisis, comprensión y transformación de las relaciones que se dan entre dichos elementos. Su aplicación tuvo lugar mediante plantaciones participativas y pedagógicas en algunos sectores urbanos y rurales de las quebradas Limas y sus afluentes, Zanjón de la Estrella, Trompetica, Chiguaza, Nutria, Morales, Bolonia y Santa Librada en la cuenca del río Tunjuelo.

En torno al objetivo «Aumentar las áreas donde se apliquen estrategias de conservación de la flora de bosque Andino y páramo» se presenta el artículo del doctor Thomas van der Hammen *Aspectos ambientales y palaeoambientales de los enclaves secos y el caso particular del valle del Checua, Nemocón, Colombia*, en el que hace una descripción detallada de la vegetación, el ambiente, los palaeodatos y los cambios climáticos y de vegetación de los enclaves xerofíticos y subxerofíticos para llegar al origen, especiación y adaptación del género *Condalia* en Nemocón, donde encontró, como él mismo dice «una especie arborecente nueva en la

Sabana de Bogotá, un género nuevo para Colombia y, hasta donde sabemos, endémica en la región de Checua».

En la misma área se llevó a cabo el estudio *Modelo de distribución potencial de Condalia thomasiiana (Rhamnaceae), especie endémica del valle del río Checua, Sabana de Bogotá, Colombia*, cuyas poblaciones están en peligro crítico de extinción especialmente por la fragmentación del único hábitat donde están presentes.

El objetivo de esta investigación fue explorar un modelo de distribución potencial para conocer patrones y relaciones existentes entre los datos de presencia conocida y las variables ambientales de sitio. Se encontró que la especie *Condalia thomasiiana* solo está distribuida en la zona media baja de valle del río Checua en los municipios de Nemocón y Suesca, en un área total de 78,6 km<sup>2</sup>, entre los 2.600 y los 2.880 m. Por este motivo se plantean alternativas de conservación de esta especie endémica y de su área de permanencia actual.

Sobre el objetivo «Aumentar la calidad ambiental de los ecosistemas estratégicos y del paisaje de la ciudad» se presenta el artículo *Ensayo experimental con microorganismos benéficos con miras a implementar en modelos de restauración ecológica en el Distrito Capital*, que muestra los resultados obtenidos en la multiplicación con plantas trampa y reporta la presencia de esporas nativas de las especies *Lycianthes hycioides* (gurrubo), *Dodonaea viscosa* (hayuelo) y *Persea mutisii* (aguacatillo) en tres estados de crecimiento.

El empleo de microorganismos para el mejoramiento de las calidades edáficas o para la biofertilización de plantas ha sido empleado en los últimos años como estrategia para mejorar los rendimientos o disminuir la cantidad de agroquímicos al suelo. Tras los resultados obtenidos se propone el empleo de microorganismos benéficos (micorrizas y rhizobium) para inocular las especies que el Jardín Botánico José Celestino Mutis emplea en modelos de restauración ecológica.

En cumplimiento al mismo objetivo se expone el trabajo *Caracterización fisionómica, estructural y florística de algunas comunidades vegetales en la cuenca media del río Tunjuelo*. A pesar de la fuerte transformación el 39,8 por ciento de este territorio aún presenta vegetación de tipo natural y seminatural correspondiente a las formaciones vegetales de las regiones de vida andina y paramuna. En este estudio

se presenta la caracterización de cuatro tipos fisionómicos de vegetación entre los que se cuentan pastizales subxerófitos, matorrales subxerófitos, vegetación de páramo y bosques ribereños, que corresponden a quince comunidades vegetales descritas con relación a su composición florística y estructura y se mencionan algunos aspectos ecológicos de los ecosistemas relacionados.

Así mismo se presenta el artículo *Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo*, en el cual se propone un modelo de conectividad estructural y funcional entre los fragmentos de vegetación natural que aún persisten. Los resultados demuestran que a nivel de paisaje el estado de conectividad estructural de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo está ampliamente influenciado por el dominio en general de la matriz antrópica.

De acuerdo con los resultados encontrados es evidente el bajo grado de conectividad estructural de las coberturas de bosque y matorral y, por el contrario, la vegetación riparia confirmó su propiedad de elemento conector del paisaje presentando un alto grado de conectividad espacial. Por medio de las rutas de mínimo costo se pudo confirmar la importancia de asegurar la conectividad por medio de la vegetación riparia y al mismo tiempo disminuir el grado de resistencia por parte de la matriz antrópica.

Adicionalmente se presenta el trabajo *Eficacia de dos hongos entomopatógenos para el control de Pseudococcus spp.* debido al complejo de insectos succionadores pertenecientes al género *Pseudococcus* (Hemiptera: Pseudococcidae) que afecta entre otras especies vegetales al caucho sabanero, *Ficus soatensis* Dugand, especie ampliamente empleada en la arborización urbana de Bogotá. Su asociación con el insecto llevó a evaluar mecanismos de control eficiente, poco contaminantes y con tiempos de residencia bajos por las condiciones de ambiente urbano.

Se evaluó la mortalidad ejercida por los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en formulación de polvo soluble en cinco concentraciones, más un testigo, bajo un diseño completamente aleatorizado sobre el complejo *Pseudococcus* spp. en condiciones de laboratorio.

Los tratamientos evaluados no mostraron efecto sobre la plaga, posiblemente por la especificidad de virulencia de las cepas o la formulación del producto;

el trabajo sugiere la evaluación de otras cepas y nuevas formulaciones para encontrar aislamientos eficaces.

Con relación al objetivo «Aumentar el conocimiento, la oferta, el uso y el aprovechamiento de especies vegetales presentes en los ecosistemas Andinos del Distrito Capital y la región» se realizaron investigaciones como *Análisis y selección del método más apropiado para eliminar las saponinas en dos variedades de Chenopodium quinoa* y *Evaluación de la actividad antimicrobiana de los extractos etanólicos y aceites esenciales de las especies vegetales Valeriana pilosa, Hesperomeles ferruginea, Myrcianthes rhopaloides y Passiflora manicata frente a microorganismos patógenos*.

En el primero se analizó y seleccionó el método más apropiado para eliminar las saponinas de dos variedades amargas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), amarilla de maragani y sajama morada, según criterios de costo beneficio, con el fin de incentivar la propagación, el uso y el manejo de la especie en la región debido a sus características.

Este estudio permitirá a los productores primarios hacer la desaponificación con un método económico y favorable con el ambiente. Los métodos de desaponificación valorados fueron: por vía húmeda, combinado, químico, seco y termomecánico; el mejor resultado se obtuvo con el método combinado, porque se logró eliminar el 75 por ciento de las saponinas.

En el segundo, y mediante la técnica de difusión de disco en agar de Kirby-Bauer, se midió la susceptibilidad *in vitro* de los microorganismos patógenos seleccionados frente a sustancias de origen natural con potencial antimicrobiano. En este trabajo se concluyó que el extracto etanólico de *Passiflora manicata* fue el que presentó mayor acción frente a todos los microorganismos, permitiendo realizar el fraccionamiento con los diferentes solventes identificando a la fase acuosa como la responsable del principio activo con potencial antimicrobiano.

Este trabajo recomienda darle continuidad a futuras investigaciones en torno a la potencialidad antimicrobiana de las especies seleccionadas, para lo cual es necesario aislar y elucidar la molécula capaz de inhibir a los microorganismos tratados.

El artículo *Vegetación potencial en la cuenca media del río Tunjuelo y procesos de cambio en la cobertura vegetal, otro enfoque metodológico para un análisis multitemporal* presenta los

resultados obtenidos tras la interpretación de los procesos de cambio ocurridos en la vegetación a partir de la comparación entre el modelo de vegetación potencial, como escenario ecosistémico original, y el mapa de cobertura vegetal actual, con lo cual se logró establecer que el 54 por ciento de los ecosistemas naturales del área de estudio han sido transformados, mientras que apenas un 24 por ciento se encuentra con ecosistemas que abarcan comunidades vegetales de bosque, páramo, vegetación riparia, matorrales y herbazales subxerófitos en conservación, los cuales son importantes para sostener la biodiversidad local y regional.

Los resultados de estas investigaciones sin duda aportan al conocimiento sobre los ecosistemas altoandinos y son muy importantes para garantizar la sostenibilidad de los servicios ambientales de la ciudad. Esperamos que contribuyan al desarrollo sostenible de nuestra región y aporten beneficios a la comunidad en general.



**Herman Martínez Gómez**

Jardín Botánico de Bogotá

José Celestino Mutis

Director

# Ensayo experimental con microorganismos benéficos y su potencial uso en la implementación de los proyectos de restauración ecológica en el Distrito Capital

Por

CLAUDIA CRISTINA ROJAS MARULANDA<sup>1</sup>

Recibido: 29 de septiembre de 2009 / Aceptado: 18 de noviembre de 2009

## Resumen

El empleo de microorganismos para el mejoramiento de las calidades edáficas o para la biofertilización de plantas ha sido empleado en los últimos años como estrategia para mejorar los rendimientos o disminuir la cantidad de agroquímicos al suelo. En este ensayo se propuso el empleo de microorganismos benéficos —micorrizas y rhizobium— para inocular especies que el Jardín Botánico José Celestino Mutis emplea en los proyectos de restauración ecológica. Se presenta una compilación de la información que se ha obtenido producto de investigaciones realizadas en el Jardín Botánico relacionada con microorganismos benéficos. Uno de los resultados está relacionado con la cantidad de esporas halladas en tres especies nativas *Lycianthes lycioides* (gurrubo), *Dodonaea viscosa* (hayuelo) y *Persea mutisii* (aguacatillo) en tres estados de crecimiento y de particular interés para el proyecto de restauración ecológica. El otro resultado muestra la cantidad de esporas/10 g obtenidas luego de la multiplicación con cuatro especies de planta trampa.

## Palabras clave

Restauración, microorganismos, micorriza, bacterias fijadoras de nitrógeno, rhizobium.

1. Lic.Q. M.Sc. Equipo de Investigación en Restauración Ecológica, Subdirección Científica, Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.

## Potential use of beneficial microorganisms in ecological restoration; an experimental approach in the Bogotá Capital District

### Abstract

The use of microorganisms for improving the soil quality or biofertilizing plants has been used in the last years like a strategy to improve the performance or decrease the quantity of agrochemicals in the soil. In this essay is proposed the use of beneficial microorganisms —mycorrhizas and rhizobium— to inoculate species that the Botanical Garden José Celestino Mutis uses for ecological restoration projects. This study shows a summary of information that has been obtained through beneficial microorganisms' researches which have been developed by the Botanical Garden. One result is related with the quantity of spores found in three native species of three different growth states *Lycianthes hycioides* (gurrubo), *Dodonaea viscosa* (hayuelo) and *Persea mutisii* (aguacatillo). The other result shows the quantity of spores/10 g obtained after multiplication with four tramp plants.

### Key words

Restoration, microorganisms, mycorrhizae, nitrogen-fixing bacteria, rhizobium

## INTRODUCCIÓN

Desde 1998 el Jardín Botánico de Bogotá ha liderado procesos de investigación e intervenciones en restauración ecológica en zonas del Distrito Capital que presentan alteraciones en especial por incendios forestales, especies exóticas o uso agropecuario del suelo (Córdoba *et al* 2005, Ríos 2005, Jarro 2005).

En un tiempo relativamente corto la vegetación de Bogotá ha sufrido grandes alteraciones antrópicas. Muy pocas áreas del territorio contienen aún comunidades ecológicas inalteradas. La huella de la deforestación, las quemadas de monte, el sobrepastoreo y sus consecuencias sobre la vegetación y el suelo fértil están a la vista en casi cualquier paisaje del país. Ante esta situación de tan graves consecuencias sobre la productividad y la conservación de la biodiversidad surge como una prioridad inaplazable el comenzar a desarrollar procedimientos para revertir este deterioro.

Un recurso fundamental para lograrlo lo constituyen los microorganismos que tengan la potencialidad de crecer en zonas alteradas y que con el tiempo

puedan permitir la recuperación de la fertilidad del suelo y, por qué no, el restablecimiento o reactivación de cepas nativas.

Bajo este contexto el Jardín Botánico ha incursionado en una propuesta donde los microorganismos se emplean como una herramienta en la implementación de proyectos de restauración ecológica; para esto se planteó un esquema que contempla unas fases experimentales las cuales, una vez realizadas, conducirán a la reintroducción de especies vegetales nativas en áreas alteradas del Distrito Capital.

El Jardín Botánico ha llevado a cabo la caracterización de coberturas vegetales en algunas localidades del área rural y urbana del Distrito Capital; en cuanto a microorganismos (García 2006) realizó un trabajo con las especies *Lycianthes hycioides* (gurrubo), *Dodonaea viscosa* (hayuelo) y *Persea mutisii* (aguacatillo) sobre aislamiento de esporas de los géneros más representativos que se encuentran asociados a la rizósfera y relacionó los porcentajes de infección, diversidad y número de esporas en tres estados de desarrollo —regeneración, intermedios y adultos— de las especies vegetales en estudio.

En cuanto a rhizobium (Rojas 2006) realizó el aislamiento, la identificación y la multiplicación en nódulos de las especies *Dalea coerulea* y *Vicia andicola* de interés para el proyecto de restauración, así como la medición del efecto de la inoculación en tres tipos de sustrato a través de la altura y la cantidad de nódulos.

En cuanto a micorrizas arbusculares (Rojas 2008) realizó una evaluación de la efectividad de distintos sustratos empleando cuatro plantas trampa para medir el porcentaje de colonización y la cuantificación del número de esporas y comparar la efectividad de los tratamientos.

## METODOLOGÍA

El siguiente esquema muestra la secuencia de fases a desarrollar para la implementación de los proyectos de restauración ecológica que lidera el Jardín Botánico, ligada a la funcionalidad de los microorganismos y cómo estos generan procesos dinámicos en el suelo (Figura 1).

El esquema general se plantea desde la perspectiva de usar los microorganismos como agentes mejoradores y potenciadores de los sustratos empleados en el Jardín Botánico de Bogotá con el objeto de optimizar la sobrevivencia y la tolerancia de las plantas en los lugares donde se realizan los trabajos de restauración ecológica.



## FASES EXPERIMENTALES

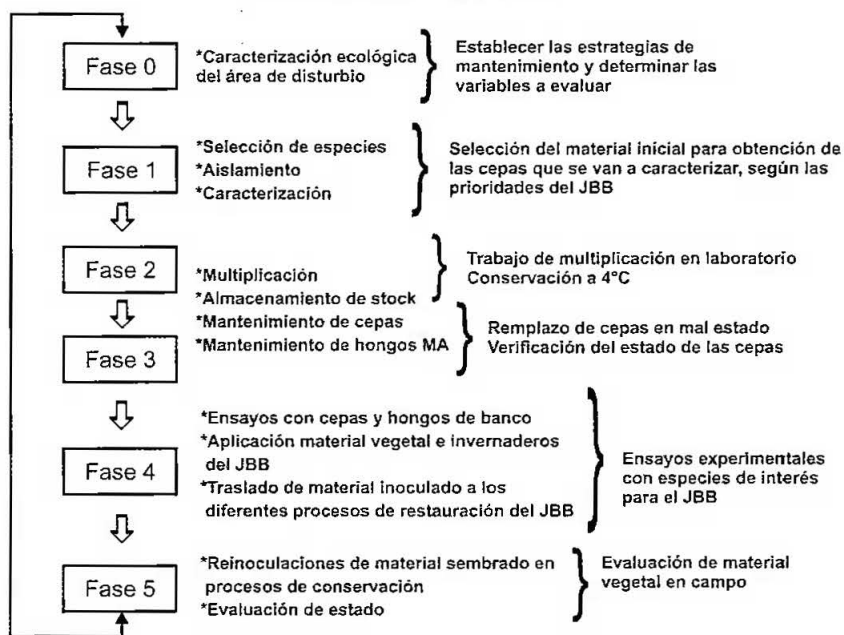


Figura 1. Secuencia de fases experimentales.

La fase experimental comprende seis fases: la fase cero se puede ejemplificar a partir de un escenario en particular, de un tipo de suceso que altera el funcionamiento del ecosistema, como por ejemplo los incendios forestales, las especies invasoras o el uso agropecuario del suelo. No obstante este esquema puede aplicarse en general a cualquier disturbio, ya que la propagación de especies arbóreas y arbustivas en condiciones de sanidad y buen estado no está relacionado con la situación en particular (Figura 2). Este trabajo es complementado por profesionales de otras áreas que hacen apoyo al trabajo de caracterización de coberturas vegetales en áreas de disturbio para la implementación de especies en los modelos de restauración.

La fase uno y la fase dos se realizan continuamente para aumentar el número de especies de microorganismos que se caracterizan y se almacenan con el objeto de ser multiplicados en un banco de germoplasma y posteriormente ser inoculados en las especies que serán llevadas a campo. Este proceso comprende la fase de caracterización de hongos micorrízicos asociados a la rizósfera de especies vegetales en relictos de vegetación natural en el Distrito Capital.

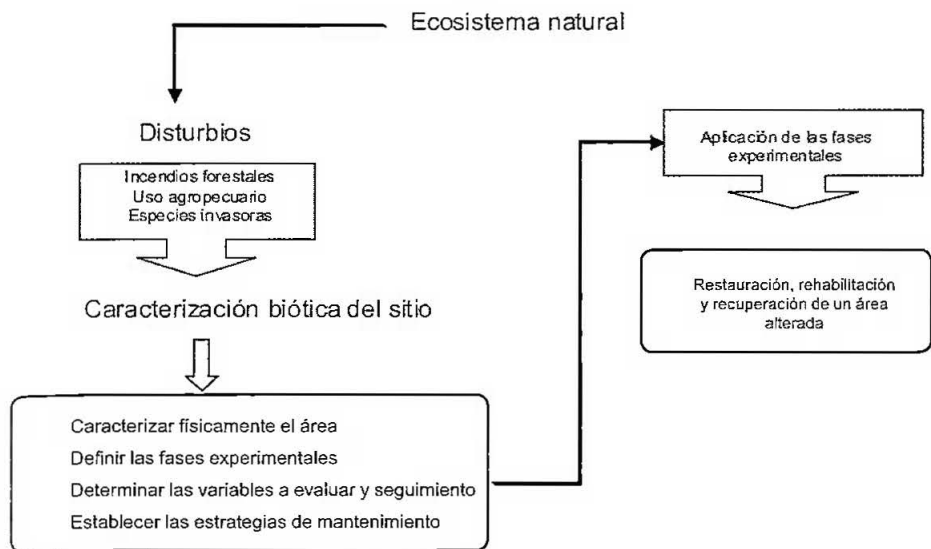


Figura 2. Fase cero del esquema. Caracterización ecológica del disturbio en particular.

En la fase dos se siguió la metodología que se explica en el diagrama de flujo de la Figura 3 para la obtención de cepas del género *Rhizobium* sp. y para los aislamientos de hongos de micorriza arbuscular.

Para la multiplicación de esporas se colocaron de 1-1,5 kg de suelo esterilizado en macetas de 2 a 3 kg que luego se cubrieron con una capa de 3-5 cm (200-250 g) de la muestra obtenida en el campo o inóculo a propagar para después completar el peso total de la maceta con suelo estéril. Para la esterilización del suelo se emplearon 50 g de Bazamid/m<sup>2</sup> de suelo. Se ubicaron en un sitio aislado y se mezcló uniformemente. Se dejó cubierto con un plástico por 8 días. Al cabo de este tiempo se retiró el plástico, se mezcló nuevamente el suelo y se dejó airear por 15 días. Se regó y se sembró la planta trampa o la semilla pregerminada de la planta trampa, se cubrió con 0,5 kg adicional de suelo estéril. Para la mezcla del sustrato el suelo, se tamizó y se mezcló con arena en una relación de 2:1. Luego de tener listas las macetas con la cantidad de suelo y con la humedad requerida se sembró el hospedero (8-10 semillas o plántulas por maceta).

Se fertilizaron las plantas con 12,5 kg /ha de P como  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 50 kg/ha de K como KCl; 10 kg/ha de Mg como  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y 5 kg/ha de Zn como  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , en solución nutritiva, una sola vez durante todo el período de propagación en invernadero (3-6 días después de la siembra) —la cantidad de solución nutritiva a aplicar por maceta será la misma que se tiene en el momento para su riego normal con agua (aplicar solución en vez de agua)—. Se hizo un control de pureza a partir de los 6 meses de la inoculación, se tomó una muestra del suelo y de las raíces para separar las esporas y se cuantificó el porcentaje de colonización. Para bacterias se siguió la «metodología general Banco de Germoplasma de microorganismos biofertilizantes» (CORPOICA, Tibaitatá 2001) y para micorrizas el «Manual de métodos para la investigación en micorrizas vesículo-arbusculares» de Sieverding (CIAT 1983).

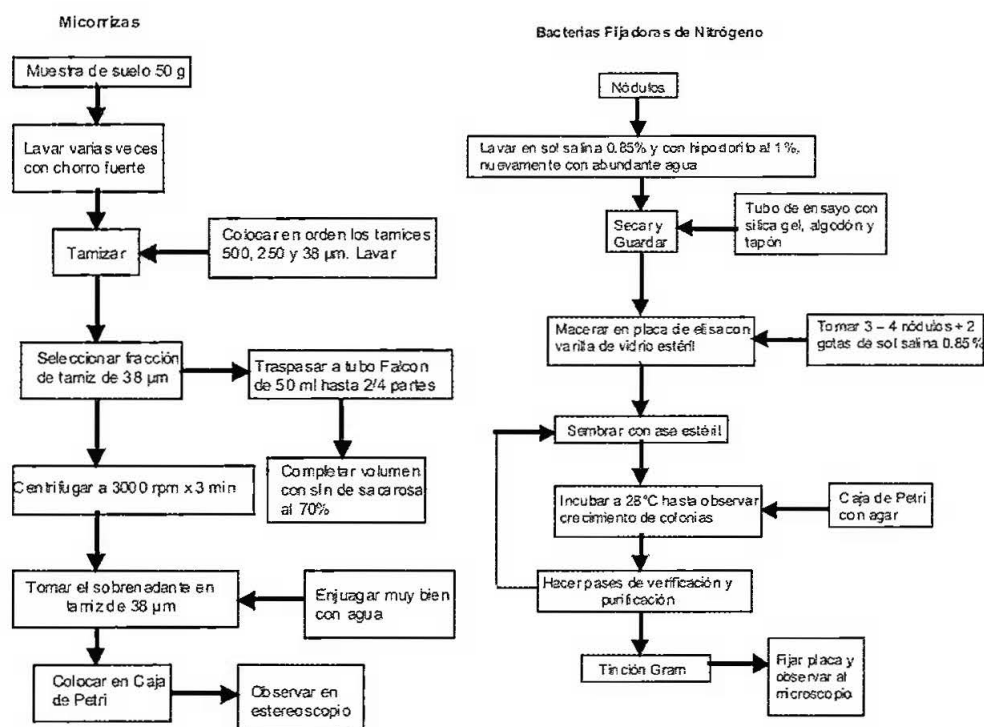


Figura 3. Diagrama de flujo de los procedimientos experimentales para la obtención de cepas de *Rhizobium* sp. y aislamientos de hongos de micorriza arbuscular.

En la fase tres de mantenimiento se reemplazaron las cepas que se encontraban en mal estado y se hizo seguimiento al estado fisiológico de las muestras preservadas para asegurar su viabilidad. Para eso se siguieron los métodos ya expuestos.

En la fase cuatro, de aplicación, se usaron inoculantes con el objeto de mejorar las condiciones de absorción de nutrientes por parte de la planta, así como la tolerancia a condiciones de estrés propias de las áreas en proceso de restauración, como la sequía o la baja disponibilidad de nutrientes.

Una vez obtenidas las cepas bacterianas purificadas de rhizobium se preparó el inóculo a partir de éstas y se realizó un ensayo experimental con tres especies de árboles *Citharexylum subflavescens* (cajeto), *Daphnopsis bogotensis* (mote) y *Xylosma speculiferum* (corono) con alturas entre 20 y 30 cm, que fueron seleccionadas por su implementación en los procesos de intervención al interior del proyecto de restauración.

Para ello se procedió a su inoculación con jeringas de 20 ml, se aplicaron a cada planta 2 ml de inóculo de *Rhizobium* sp. procedente de la especie *Dalea coerulea* (que contiene  $8 \times 10^8$  UFC/ml) en los primeros 2 cm de superficie y alrededor del tallo en sentido circular con el fin de garantizar que en un radio de 4 cm y a una profundidad de 2 cm quedara impregnada la mayor cantidad de células bacterianas de la cepa aplicada (la UFC es la unidad con la cual se miden las bacterias presentes en un mililitro de solución). Se hizo reinoculación a los 60 días.

Con relación a los hongos micorrízicos se hizo el conteo de esporas de la especie trampa *Brachiaria decumbens*, obteniéndose un total de 305 esporas/10 g de suelo. El inóculo obtenido se almacenó en una lona sintética y se mantuvo almacenado en el vivero. Se aplicó inóculo de micorriza a un total de 487 plantas con un valor aproximado de 15 g por planta, así: 225 plantas de cucharo (*Myrsine guianensis*), 110 plantas de espino (*Duranta mutisii*) y 152 plantas de hayuelo (*Dodonaea viscosa*). Inicialmente se hizo un hoyo de 20-25 cm de profundidad en el cual se depositaron 15 g de inóculo por cada planta; este inóculo contiene raíces infectadas, suelo infectado, micelio y esporas.

En la fase cinco, de evaluación, se evaluaron los resultados de la biofertilización en cuanto a crecimiento, conservación y estado de la planta, para posteriormente hacer reinoculaciones a los árboles ya sembrados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

García (2006) evaluó la actividad de las micorrizas arbusculares asociadas a tres especies vegetales en áreas de conservación y restauración ecológica del D.C.: *Lycianthes lycioides* (gurrubo), *viscosa* (hayuelo) y *Persea mutisii* (aguacatillo). En sus resultados encontró que aparentemente el clima no tiene gran incidencia sobre la actividad micorrízica a nivel intraradical, pues en todas las áreas de muestreo (quebrada La Vieja, cerro de La Viga, Doña Juana y quebrada Limas) encontró resultados que evidencian la actividad micorrízica. Sin embargo, a nivel de propágulos y de diversidad de morfoespecies se encuentran indicios de diferencias a nivel de especie, ratificando la tesis de la especificidad de estos hongos con su hospedero.

En su estudio, García también encontró porcentajes altos de infección total en los estados juveniles de las especies *Lycianthes lycioides* y *viscosa*, no así para la especie *Persea mutisii*, que presentó los más altos en el estado plantular. Halló gran presencia de hifas extramatriciales en todas las especies, lo que indica una estrategia de adaptabilidad a las condiciones de suelo y ambiente de la zona para el establecimiento de la asociación micorrízica. Finalmente concluyó que los géneros con mayor presencia fueron *Glomus* y *Acaulospora*, siendo el primero el más cosmopolita de todos los encontrados, lo cual es una respuesta frecuente en los estudios de suelos tropicales (Figura 4).

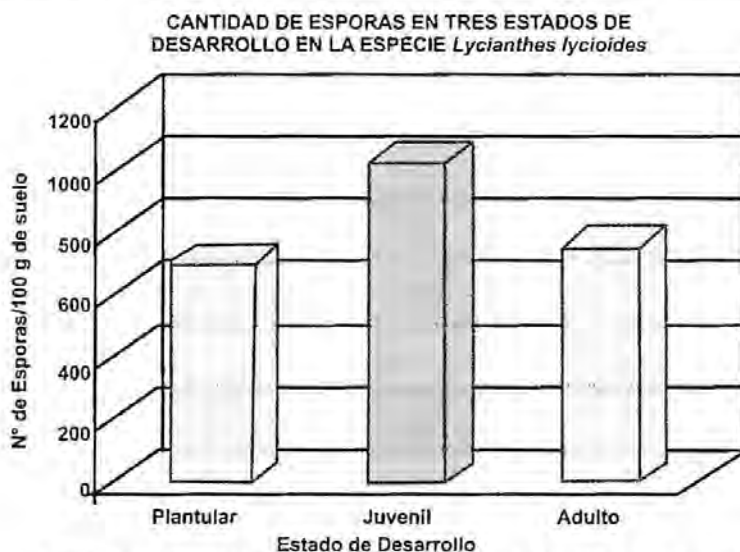


Figura 4. Cantidad de esporas en tres estados de desarrollo de la especie *Lycianthes lycioides*.

En cuanto al empleo de bacterias fijadoras de nitrógeno Rojas (2006) obtuvo nódulos fijadores de nitrógeno de las especies *Dalea coerulea* (chiripique) y *Vicia andicola* (arveja andina); luego de un proceso de aislamiento y de purificación obtuvo bacterias del género *Rhizobium* sp. de cada especie, que almacenó en tubos con medio LMA (levadura-manitol-agar) para conservarlas a 4 °C. Una vez almacenadas hizo repiques continuos para verificar que no hubiese contaminación y comprobar las condiciones fisiológicas.

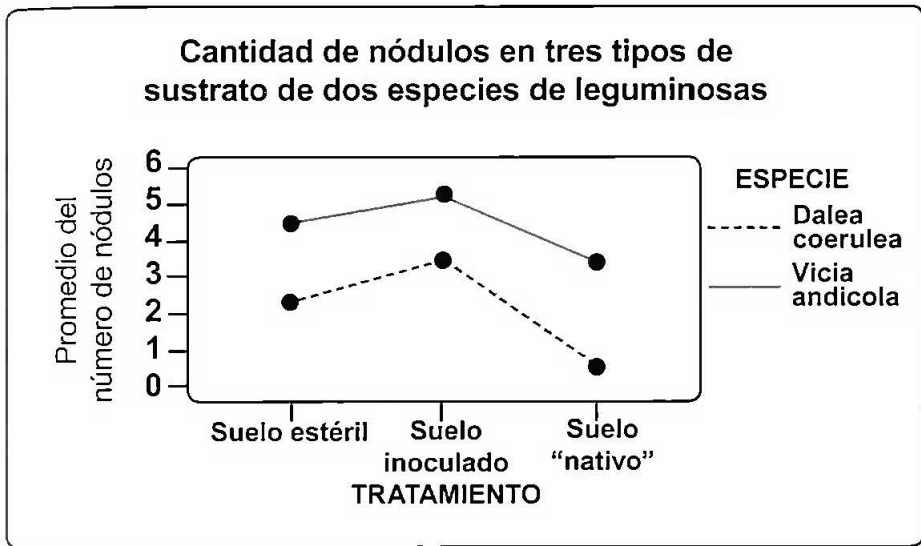


Figura 5. Cantidad de nódulos en tres tipos de sustrato de dos especies de leguminosas.

Se encontró que las dos especies *Dalea coerulea* (chiripique) y *Vicia andicola* (arveja andina) tienen mayor abundancia de nódulos en el sustrato de suelo que fue inoculado, seguido del suelo estéril y por último del suelo nativo. En la especie *Vicia andicola* se encontraron los mayores valores de nódulos para todos los sustratos empleados (Figura 5).

Se evidenció que a los 85 días es representativo el muestreo de nódulos fijadores de nitrógeno para la especie *Vicia andicola* y días después la fijación se ve afectada ya que la coloración de los nódulos pasa de rojo intenso a verde, lo cual indica una disminución del efecto de la enzima leghemoglobina, característica de la producción de los bacteroides.

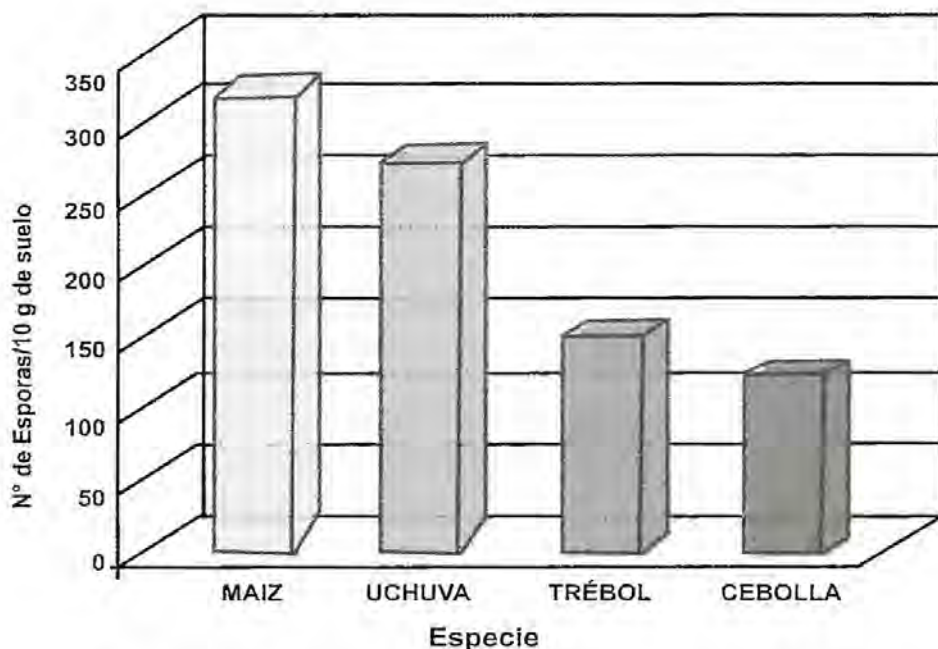


Figura 6. Cantidad total del número de esporas/10 g de suelo en cuatro especies multiplicadoras.

Los repiques realizados para verificar el buen estado de las cepas determinaron que para la producción de inóculo la especie *Dalea coerulea* presentó  $8 \times 10^8$  UFC de *Rhizobium* sp. y la especie *Vicia andicola*  $14 \times 10^8$  UFC de *Rhizobium* sp.

En cuanto a las especies que se emplearon como plantas trampa para la multiplicación de inóculos de micorriza se escogieron cebolla (*Allium cepa*), uchuva (*Physalis peruviana*), trébol (*Trifolium repens*) y maíz (*Zea mays*).

Para los montajes de multiplicación se hicieron análisis del porcentaje de colonización en las raíces de las especies multiplicadoras con objeto de determinar el grado de infectividad. Se halló el mayor porcentaje en la especie *Zea mays* lo que indica que es la más apropiada para ensayos de multiplicación y obtención de inóculos. Se encontró que produjo un promedio de 334 esporas/10 g de suelo, donde 187 esporas pertenecen al género *Glomus* sp. y 147 al género *Acaulospora* sp. (Figura 6).



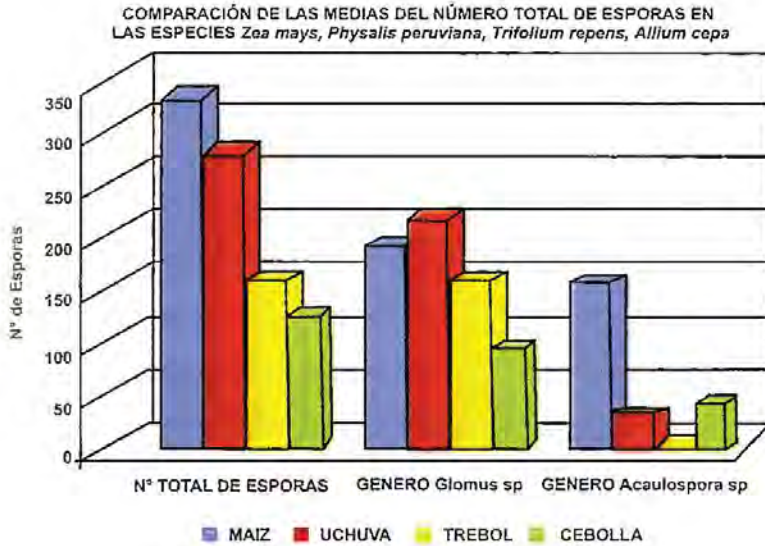


Figura 7. Comparación de medias del número total de esporas.

La Figura 7 contrasta los valores encontrados del número total de esporas con el número de esporas por cada género encontrado. Se observa que las especies más representativas en cuanto al número de esporas fueron *Glomus* sp. y *Acaulospora* sp. La especie *Physalis peruviana* es la mayor productora de esporas de *Glomus* sp. y la especie *Zea mays* de *Acaulospora* sp. Se encontró la mayor cantidad de esporas de *Glomus* sp. en la uchuva y el maíz, mientras que para *Acaulospora* sp. se observa un mejor comportamiento en el maíz y en la cebolla. En general se aprecia que para *Glomus* y *Acaulospora* la especie con mayor cantidad de esporas es el maíz (Figuras 8 y 9).



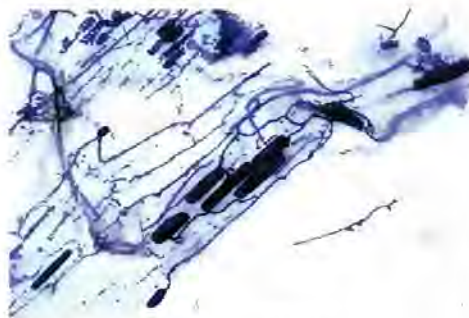
Figura 8. Espora de *Glomus* sp. Se observa la conexión hifal y dos capas. Aumento 10x. (Fuente: Rojas 2006).



Figura 9. Espora de *Glomus* sp. Se observa la forma de inserción de la conexión hifal aún unida a la capa exterior. Aumento 40x. (Fuente: Rojas 2006).



Se hizo verificación de colonización a los inóculos de micorriza que se multiplicaron en banco, inicialmente con la especie *Zea mays*. Para ello se tiñeron las raíces y se determinó el porcentaje de infectividad, encontrándose que fue del 80 por ciento (Figura 10). Este porcentaje muestra que hubo una alta infección en el sistema radical y que este inóculo procedente del maíz puede ser aplicado en plantas de vivero como biofertilizante para contribuir de manera importante con la absorción de iones que se difunden lentamente y que están presentes en bajas concentraciones en la solución del suelo, como el fósforo, P, el amonio,  $\text{NH}_4^+$ , el potasio, K, el zinc, Zn, y el cobre, Cu.



Micelio intramatrical y arbusculos. 10x.



Abundante presencia de micelio intramatrical y de esporas. 10x.

Figura 10. Estructuras internas del hongo micorrízico en raíz de maíz.

## CONCLUSIONES

Se recomiendan las especies *Dalea coerulea* y *Vicia andicola* como fuente de nódulos fijadores de nitrógeno. Sin embargo hay que tener en cuenta que *V. andicola* por ser una herbácea tiene tasas de crecimiento más rápidas que *D. coerulea*, por lo que la formación de nódulos efectivos es también más rápida y en mayor cantidad. La mayor cantidad de nódulos observados en *D. coerulea* fue a los 17 meses.

El alto valor encontrado en el porcentaje de colonización evidencia que la especie *Zea mays* puede emplearse como planta trampa o multiplicadora para la obtención de inóculo de esporas nativas.

Para lograr el mayor aprovechamiento de los recursos biológicos y de infraestructura se recomienda el seguimiento del plan experimental que se usó en este ensayo con otras especies de interés para el proyecto de restauración ecológica en el Jardín Botánico.

El objeto de desarrollar este plan experimental es asegurar el empleo de los microorganismos, para mejorar la adecuada asimilación de nutrientes y optimizar la adaptabilidad de las especies a largo plazo, durante el proceso de intervención en campo.

## Bibliografía

- Alexander, M. 1980. *Introducción a la microbiología del suelo*. Méjico. Ed. AGT. 2ª edición.
- Córdoba, C. et al. 2005. *Guía técnica de incendios forestales*. Jardín Botánico de Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá.
- CORPOICA. 2001. *Metodología general*. Banco de germoplasma de microorganismos biofertilizantes. Tibaitatá.
- García, J. F. 2006. *Estudio de hongos formadores de MA asociados a la rizósfera de especies vegetales en relictos de vegetación natural del D.C.* Informe final. Jardín Botánico de Bogotá.
- Jarro, E. 2005. *Guía técnica uso agropecuario*. Jardín Botánico de Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Plaster, E. 2000. *La ciencia del suelo y su manejo*. Madrid. Ed. Paraninfo.
- Ríos, F. 2005. *Guía técnica invasión por especies exóticas*. Jardín Botánico de Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Rojas, C. C. 2006. *Amplificación de leguminosas altoandinas con sus asociaciones simbióticas y de vida libre para desarrollos en modelos de uso del suelo in situ dentro del marco del proyecto 2006*. Informe final. Jardín Botánico de Bogotá.
- Russell E., J., Russell E., W. 1959. *Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas*. Madrid. Ed. Aguilar.
- Sánchez de Prager, M. 2007. *Las endomicorrizas, expresión bioedáfica de importancia en el trópico*. Palmira. Universidad Nacional de Colombia.
- Sieverding. 1983. *Manual de métodos para la investigación en micorrizas, vesículo-arbusculares*. CIAT.
- [www.invam.caf.wvu.edu](http://www.invam.caf.wvu.edu)
- [www.corpoica.org.co](http://www.corpoica.org.co)