

**EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN EN PARCELAS ESTABLECIDAS CON  
DIFERENTE PROPORCIÓN DE BIOSÓLIDOS EN LA CANTERA DE SORATAMA  
UBICADA EN BOGOTÁ D.C, COLOMBIA**

**LAURA GIL SANTA**

**TRABAJO DE GRADO**  
**Presentado como requisito parcial**  
**Para optar al título de**  
**BIÓLOGA**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE BILOGÍA**  
**BOGOTÁ D.C**  
**2010**

**EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN EN PARCELAS ESTABLECIDAS CON  
DIFERENTE PROPORCIÓN DE BIOSÓLIDOS EN LA CANTERA DE SORATAMA  
UBICADA EN BOGOTÁ D.C, COLOMBIA**

**LAURA GIL SANTA**

**APROBADO**

---

**Ingrid Schuler García**  
Decana Académica  
Facultad de Ciencias

---

**Andrea Forero**  
Bióloga  
Directora Programa de Biología

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
CARRERA DE BILOGÍA  
BOGOTÁ D.C  
2010**

**EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN EN PARCELAS ESTABLECIDAS CON  
DIFERENTE PROPORCIÓN DE BIOSÓLIDOS EN LA CANTERA DE SORATAMA  
UBICADA EN BOGOTÁ D.C, COLOMBIA**

**LAURA GIL SANTA**

**APROBADO**

---

**José Ignacio Barrera Cataño PhD.**  
**Director Trabajo de Grado**

---

**Miguel León Gómez**  
**Jurado**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
CARRERA DE BILOGÍA  
BOGOTÁ D.C**

**2010**

## **ADVERTENCIA INSTITUCIONAL**

REGLAMENTO DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA ARTICULO 23

RESOLUCIÓN 13 DEL 6 DE JULIO DE 1946

“La Universidad Javeriana no se hace responsable por los conceptos emitidos por los alumnos en sus trabajos de grado. Solo velará porque no se publique nada contra el dogma y la moral católica y porque los trabajos no contengan ataques o polémicas puramente personales y únicamente se vea en ellos el anhelo de buscar la verdad científica”.

## **AGRADECIMIENTO**

De manera especial quiero agradecer a la Secretaría Distrital de Ambiente y a la Escuela de Restauración Ecológica de la Universidad Javeriana por la oportunidad que me brindaron para desarrollar el presente trabajo de grado.

Al doctor José Ignacio Barrera por la dirección, acompañamiento y supervisión de cada una de las etapas de este proceso. A la bióloga Ana Carolina Moreno, quien colaboró de manera muy estrecha en la fase de campo y en las correcciones preliminares, así como a mis compañeros de la Escuela de Restauración Ecológica, quienes con sus aportes contribuyeron a la concreción de algunos temas.

Finalmente, y no menos importante, agradezco a mi familia por el soporte y apoyo recibido.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>13</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1. Restauración ecológica.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. Disturbio: áreas afectadas por minería a cielo abierto.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3. Sucesión vegetal.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4. Enmiendas orgánicas: Biosólidos.....</b>	<b>18</b>
<b>3.5. Evaluación, monitoreo y montaje de experimentos.....</b>	<b>19</b>
<b>4. MARCO GEOGRÁFICO.....</b>	<b>20</b>
<b>5. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1. General.....</b>	<b>21</b>
<b>5.2. Específicos.....</b>	<b>21</b>
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
<b>6.1. Diseño experimental (previamente implementado).....</b>	<b>21</b>
<b>6.2. Seguimiento de la vegetación.....</b>	<b>22</b>
<b>6.2.1. Toma de datos.....</b>	<b>22</b>
<b>6.2.2. Análisis de datos .....</b>	<b>25</b>
<b>6.2.3. Atributos vitales de las especies.....</b>	<b>27</b>
<b>7. RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
<b>7.1. Composición florística.....</b>	<b>28</b>

<b>7.2. Estructura.....</b>	<b>31</b>
<b>7.2.1. Cobertura vegetal por tratamiento.....</b>	<b>31</b>
<b>7.2.1.1. Prueba estadística cobertura vegetal.....</b>	<b>35</b>
<b>7.2.2. Estratificación.....</b>	<b>35</b>
<b>7.2.2.1. Prueba estadística estratificación.....</b>	<b>36</b>
<b>7.2.3. Distribución de alturas.....</b>	<b>36</b>
<b>7.3. Índices de diversidad.....</b>	<b>37</b>
<b>7.3.1. Riqueza específica.....</b>	<b>37</b>
<b>7.3.1.1. Prueba estadística riqueza específica.....</b>	<b>38</b>
<b>7.3.2. Índice de diversidad de Shannon Wiener.....</b>	<b>38</b>
<b>7.3.3. Índice de dominancia de Simpson.....</b>	<b>38</b>
<b>7.3.4. Índice de equidad de Pielou.....</b>	<b>39</b>
<b>7.4. Atributos vitales.....</b>	<b>39</b>
<b>7.4.1. Formas de vida.....</b>	<b>39</b>
<b>7.4.2. Ciclo de vida.....</b>	<b>40</b>
<b>7.4.3. Modo de dispersión.....</b>	<b>40</b>
<b>7.4.4. Reproducción.....</b>	<b>41</b>
<b>7.4.5. Invasividad.....</b>	<b>42</b>
<b>8. DISCUSIÓN.....</b>	<b>43</b>
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>50</b>

## LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de las parcelas experimentales Cantera de Soratama.....	20
<b>Figura 2.</b> Parcelas experimentales establecidas por Ochoa en el 2004 (Ochoa 2005).....	21
<b>Figura 3.</b> Distribución de los tratamientos en las parcelas experimentales.....	22
<b>Figura 4.</b> Vista panorámica de las parcelas experimentales establecidas en la cantera Soratama .....	23
<b>Figura 5.</b> a) Medición del diámetro mayor y b) diámetro menor a un individuo arbustivo (tomadas por moreno a. c. 2010).....	23
<b>Figura 6.</b> a) Medición de la altura total y b) CAP en un individuo arbustivo (tomadas por Moreno A.C. 2010).....	24
<b>Figura 7.</b> a) Medición de la cobertura de la vegetación rasante y herbácea por medio del cuadrante y b) medición de altura de la vegetación rasante y herbácea (tomadas por moreno A.C. 2010).....	25
<b>Figura 8.</b> Clases taxonómicas. a) Familias de clase monocotiledonea, b) Familias de clase dicotiledónea.....	29
<b>Figura 9.</b> Número de especies por familia taxonómica.....	29
<b>Figura 10.</b> Cobertura vegetal y suelo desnudo en cada tratamiento.....	32
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de Cobertura por especie en el tratamiento 1.....	32
<b>Figura 12.</b> Porcentaje de Cobertura por especie en el tratamiento 2.....	33
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de Cobertura por especie en el tratamiento 3.....	34
<b>Figura 14.</b> Porcentaje de Cobertura por especie en el control.....	34
<b>Figura 15.</b> Cobertura por estrato.....	36
<b>Figura 16.</b> Distribución por clases de altura. A. Tratamiento 1, B. Tratamiento 2 C. Tratamiento 3 D. Control.....	37

<b>Figura 17.</b> Riqueza específica de los tratamientos.....	38
<b>Figura 18.</b> Clasificación según Raunkiaer de las especies encontradas según la forma de vida.....	39
<b>Figura 19.</b> Clasificación según Luken de las especies encontradas por ciclo de vida.....	40
<b>Figura 20.</b> Clasificación de las especies encontradas según el modo de dispersión.....	41
<b>Figura 21.</b> Clasificación de las especies encontradas según el tipo de reproducción.....	41
<b>Figura 22.</b> Clasificación de las especies encontradas según su invasibilidad.....	42
<b>Tabla 1.</b> Propiedades fisicoquímicas de los biosólidos aplicados en las parcelas experimentales.....	18
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de especies encontradas por tratamiento.....	31
<b>Tabla 3.</b> Índices de diversidad de cada tratamiento.....	39
<b>Tabla 4.</b> Atributos vitales de las especies encontradas.....	43

# **EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN EN PARCELAS ESTABLECIDAS CON DIFERENTE PROPORCIÓN DE BIOSÓLIDOS EN LA CANTERA DE SORATAMA UBICADA EN BOGOTÁ D.C, COLOMBIA**

## **RESUMEN**

A pesar de que los cerros orientales están considerados como Reserva Forestal Protectora desde 1976, la falta de coordinación y la mala interpretación de las leyes por parte de las autoridades ambientales, algunas de las industrias mineras se han establecido en esta zona haciendo un uso inadecuado de los recursos que allí se encuentran. Como resultado algunos de estos lugares se encuentran en alto grado de degradación y desprovistas de vegetación.

Como respuesta, la Escuela de Restauración Ecológica (ERE) en convenio con la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) ha venido desarrollando una experiencia piloto de restauración ecológica mediante el uso de biosólidos en diferentes sitios de la ciudad de Bogotá y sus alrededores con el fin de evaluar el efecto que tienen estos sobre la recuperación de la vegetación y recolonización de macro fauna edáfica. La Cantera Soratama es uno de estos lugares en donde desde hace seis años se evalúan parcelas experimentales tratadas con diferente proporción de biosólidos (T1= 8:1, T2= 4:1 y T3=2:1; y el control 1:0).

Este trabajo de grado tuvo como objetivo la evaluación de la vegetación en estas parcelas experimentales. Para conseguir este objetivo fue necesario identificar las especies vegetales que se encontraban en las parcelas, definir sus características y necesidades ecológicas y, finalmente, hacer una comparación de riqueza diversidad y abundancia entre los diferentes tratamientos

Como resultado en el experimento se encontraron en total 23 especies de plantas establecidas en las parcelas de todos los tratamientos clasificados en diferentes estratos. El estrato más abundante fue el herbáceo mientras que el menos abundante fue al arbustivo. Las familias mayormente representadas fueron Poaceae y Asteraceae en todos los tratamientos. El tratamiento con mayor riqueza de especies fue el dos y según los análisis estadísticos no se presentaron diferencias significativas entre los índices de diversidad de los tratamientos ni el control.

## 1.INTRODUCCIÓN

Un disturbio es considerado como un evento no planeado que afecta tanto estructural como funcionalmente un ecosistema. Después de un disturbio las condiciones generales del área afectada cambian y según el daño generado se inicia o no un proceso de sucesión (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007). La sucesión consiste en una serie de cambios en el tiempo, que tienden al aumento de la diversidad de especies y de biomasa, y a la regulación del suelo y de la atmosfera, buscando el estado de equilibrio del ecosistema (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C 2002).

El principal agente sucesional en ecosistemas terrestres es la vegetación, ésta proporciona el ambiente necesario para el surgimiento de nuevos individuos y nuevas especies; sin embargo, su crecimiento depende de las características del suelo como: la cantidad de nutrientes y de materia orgánica, la textura y la permeabilidad del mismo. Los procesos sucesionales se pueden favorecer mediante el uso de enmiendas orgánicas que modifican las características físicas y químicas del suelo optimizando el crecimiento de la vegetación (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C 2002).

La restauración ecológica tiene como objetivo el restablecimiento de los ecosistemas que han sido disturbados o modificados por efectos antrópicos o naturales. Está basada en la ecología permitiendo ayudar de manera adecuada al medio que se desea restaurar, pues abarca todos los sus compartimentos (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

Una de las enmiendas orgánicas que se está estudiando actualmente son los biosólidos (restantes del tratamiento de aguas residuales) que aportan nutrientes, aumentan la porosidad del suelo y minimizan la acción de procesos erosivos (Castro 2005).

Durante las últimas décadas, la expansión de la ciudad de Bogotá, D.C. ha demandado una gran cantidad de materiales de construcción, estos materiales provienen de las canteras, lugares de explotación de materiales a cielo abierto. A nivel ecológico, la extracción estos materiales (arena, arcilla, piedra y gravilla) producen un disturbio severo en el ecosistema (Barrera-Cataño *et al* 2009).

Para el 2007, según Álvarez-Duarte y Barrera-Cataño, en la ciudad de Bogotá tenían registrados 144 predios que estaban en diferente estado de la actividad minera (explotación, explotación y recuperación, abandono, cambio de uso, entre otros), la mayoría de estas explotaciones están

ubicadas en los cerros orientales norte, sur, cerros suroccidentales y en el Valle del Río Tunjuelito.

Aunque los cerros orientales están considerados como Reserva Forestal Protectora desde 1976, por la falta de coordinación y la mala interpretación de las leyes por parte de las autoridades ambientales, algunas de las industrias mineras se han establecido en esta zona haciendo un uso inadecuado de los recursos y dejándola desprovista de vegetación, afectando la dinámica del ecosistema (Alcaldía local de Bogotá 2006).

Uno de los lugares en donde se presenta este tipo de disturbio es la antigua arenera de Soratama, está ubicada en parte norte de los cerros orientales, localidad de Usaquén, Bogotá D.C. actualmente ha sido trasformada en un aula ambiental en donde se realizan charlas y talleres educativos sobre los procesos de extracción de materiales y revegetalización de los suelos erosionados. Además este espacio ha servido para la realización de investigaciones referentes a restauración de este tipo de áreas.

Desde hace seis años se establecieron en este lugar parcelas experimentales con diferentes proporciones de biosólidos, con el fin de evaluar el efecto de la aplicación de los mismos como enmienda orgánica en la recuperación de la vegetación y la recolonización de la macro fauna edáfica en la cantera (Barrera-Cataño *et al* 2009). El seguimiento de estas parcelas es de gran importancia pues permiten estudiar analizar e interpretar los cambios que ocurren durante el restablecimiento de los ecosistemas y la influencia que tiene esta enmienda sobre las áreas afectadas con este tipo de disturbio (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

Este estudio evaluó el estado actual de la vegetación que se encuentra en las parcelas experimentales anteriormente citadas. Para conseguir este objetivo fue necesario identificar las especies vegetales que se encontraban en las parcelas, definir sus características y necesidades ecológicas y, finalmente, hacer una comparación de riqueza diversidad y abundancia entre los diferentes tratamientos.

La evaluación se efectuó a partir del experimento realizado en el año 2004 por Ochoa que consta de doce parcelas que comprenden tres tratamientos y el control. Los tratamientos consistieron en la mezcla de estériles y biosólidos en diferentes proporciones: 8:1, 4:1 y 2:1; y el control 1:0 (estériles / biosólidos respectivamente). Se colocaron tres repeticiones de cada tratamiento y del

control, la distribución en las parcelas se realizó completamente al azar (Ochoa-Carreño y Barrera-Cataño 2007).

La toma de datos de la vegetación se realizó en las cuatro subparcelas de cada parcela, seleccionadas en la evaluación realizada por Ochoa (2006), y se tomaron los datos de cobertura y altura de cada morfotipo encontrado posteriormente fueron identificados. Para el análisis de datos se estimó la diversidad, riqueza, y dominancia de las especies a través de los índices de Shannon-Wiener, de dominancia de Simpson, de equidad de Pielou. Finalmente se realizó la prueba estadística de análisis de varianza ANOVA.

## **2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los cerros orientales de la ciudad de Bogotá son apreciados como patrimonio cultural y ambiental del Distrito Capital. A pesar de ser considerados como Reserva Forestal Protectora desde 1976 están propensos a presentar gran cantidad de disturbios debido a que se encuentran adyacentes a la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá 2006, Barrera-Cataño y Valdés-López 2007). Entre los usos más frecuentes están los de minería a cielo abierto, expansión urbana, plantaciones forestales y pastoreo (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

La minería a cielo abierto, que es una actividad temporal, genera un gran impacto sobre los ecosistemas ya que afectan todos sus compartimentos (suelo, aire, vegetación y fauna) alterando las condiciones micro climáticas del lugar. En el momento de la extracción se generan otros impactos tales como: la emisión de partículas a la atmósfera y la producción de sedimentos que son arrastrados por escorrentía superficial a los cuerpos fuentes de agua cercanos (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007, Correa 2000, Barrera-Cataño *et al* 2009).

Para el año 2007, en los Cerros Orientales de Bogotá D.C se tenían registrados 144 predios que estaban en diferente estado de la actividad minera (explotación, explotación y recuperación, abandono, cambio de uso, entre otros) (Álvarez-Duarte y Barrera-Cataño 2007). Muchos de ellos fueron mal explotados lo que generó un mayor impacto sobre las áreas adyacentes y dificultó o imposibilitó sus procesos de recuperación natural. En este sentido es posible encontrar en dichos predios taludes inestables y aguas de escorrentía superficial sin ningún direccionamiento (Barrera-Cataño *et al* 2009). Cuando una mina es abandonada sin que se haya realizado ningún

tratamiento de restauración o recuperación al momento de su abandono, su proceso de recuperación natural podría no ocurrir ó ser muy lento. En este sentido, se hace indispensable implementar estrategias que permitan su recuperación o restauración.

Para poder establecer buenas estrategias de restauración es necesario desarrollar investigaciones que evidencien las formas más eficaces de intervenir las áreas degradadas para su rápido mejoramiento. De igual manera, es fundamental realizar el seguimiento de dichos experimentos a mediano y largo plazo para entender cómo ocurre el proceso de colonización, de reemplazamiento de especies, de recubrimiento vegetal, de formación de suelo y de colonización de la fauna (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

Como respuesta, La Escuela de Restauración Ecológica (ERE) en convenio con la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), desde el año 2003, ha venido desarrollando una experiencia piloto de restauración ecológica mediante el uso de biosólidos en la Cantera Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá D.C, con la que se busca evaluar el efecto de la aplicación de biosólidos sobre la colonización la vegetación (Barrera-Cataño *et al* 2009).

La vegetación es una de las variables más importantes y fáciles de medir. Es considerada como el principal agente sucesional por su temprana aparición después de un disturbio propiciando el surgimiento y aparición de fauna y otras especies vegetales.

Los biosólidos se caracterizan por tener altos porcentajes de materia orgánica y de nutrientes indispensables para el crecimiento de las plantas, sin embargo, su uso ha sido restringido debido a que contienen también patógenos y metales pesados (León-Zapata *et al* 2007)

Se espera que el uso de biosólidos como enriquecedor del suelo sea una de las posibles soluciones para la incorporación de materia orgánica al suelo y que de esta manera se puedan establecer de nuevo las comunidades de vegetación perdidas por el disturbio que generó la minería a cielo abierto.

Para cumplir este propósito es necesario realizar la evaluación de la vegetación, que nos muestre la respuesta de la misma a través del tiempo frente al uso de biosólidos a diferentes proporciones, después de siete años de su aplicación, y de esta manera a partir de los resultados proponer el tratamiento más apto para generar un plan de manejo para la restauración ecológica de este tipo

de áreas. El objetivo de este estudio es evaluar el estado actual de la vegetación presente en parcelas experimentales tratadas con diferente proporción de biosólidos en la cantera de Soratama.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Restauración ecológica**

La restauración ecológica busca el restablecimiento de las áreas disturbadas que han sido afectadas, dañadas, degradadas o destruidas para devolverles la función y estructura (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007). Se considera un ecosistema como restaurado cuando este contenga suficientes recursos bióticos y abióticos para continuar con su recuperación sin necesidad de ayuda y que además se garantice que la trayectoria de esta rehabilitación es la adecuada (Barrera-Cataño *et al* 2009).

Para hacer esto posible es necesario valerse de conceptos bases de la ecología, como el estudio de los organismos, las interacciones entre ellos y las interacciones de ellos con el medio, de esta manera se buscan herramientas que permiten desarrollar estrategias que aceleren los procesos de restablecimiento natural del ecosistema, en este sentido podemos hablar de la ecología de la restauración que se propone el estudio de las áreas disturbadas en proceso de restablecimiento natural o asistido (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

Para el adecuado desarrollo de un proyecto de restauración ecológica es necesario seguir con un programa que enmarque todos los aspectos que afectan o se ven afectados por el mismo para esto se han establecido los siguientes pasos: definición del objetivo de restauración, zonificación del área a restaurar, caracterización física biótica y social del sistema disturbado, definición de factores limitantes y tensionantes, definición de factores potenciadores de la restauración, establecimiento de prácticas de restauración, montaje del sistema de evaluación y seguimiento y por último la participación comunitaria (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

#### **3.2 Disturbio: Áreas afectadas por minería a cielo abierto**

Los disturbios son definidos como eventos no planeados que afectan la estructura y función de los ecosistemas. Un disturbio puede disminuir o limitar la producción de biomasa en las plantas y de esta manera cambia el patrón normal del sistema (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

Cuando un área es disturbada se pierden o se disminuyen los atributos funcionales como interacciones, productividad, polinización, regulación hídrica; y estructurales como la organización espacial de las especies, número de especies y estado de las poblaciones del ecosistema (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

Los disturbios según su origen pueden ser clasificados como naturales, como los huracanes o los deslizamientos de tierra, o antrópicos como la extracción de materiales a cielo abierto. Según el tamaño del área afectada, pueden clasificarse como grandes disturbios, medianos disturbios y pequeños disturbios y de acuerdo a la intensidad pueden ser graves medianos o leves (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

En el caso de la extracción de materiales a cielo abierto podemos observar que afecta de manera severa el ecosistema pues se ven afectados todos los compartimentos, el suelo, la atmósfera y la fauna y vegetación, cambiando de esta manera las condiciones micro climáticas y generando procesos erosivos (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

El suelo tiene características específicas de estructura, de cantidad de nutrientes materia orgánica y de retención de agua indispensables para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas; con la explotación minera se pierden varias capas que, en condiciones normales, mantienen el equilibrio en este compartimento y por ende afectan al ecosistema pues se limita el crecimiento de plantas y el establecimiento de micro fauna (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

En cuanto a la vegetación, se pierde gran cantidad de biomasa afectando de esta manera la abundancia y riqueza de las especies presentes en este ecosistema, también hay una alteración en la composición y hay cambios estructurales que se evidencian en la proporción de especies, los grupos más tolerantes se encuentran con mayor frecuencia (Barrera-Cataño *et al* 2009).

Este disturbio incide en la fauna de manera negativa dejando como resultado la pérdida de individuos bien sea por desplazamiento o aislamiento de poblaciones esto es consecuencia del desequilibrio por la pérdida de la vegetación y del suelo pues hay pérdida del nicho de estas especies (Barrera-Cataño *et al* 2009)

La industria extractiva afecta también a las poblaciones humanas pues genera en su entorno condiciones ambientales desequilibradas e insostenibles que implican una pérdida de flora y

fauna. Estas áreas son vulnerables a problemas de erosión hídrica deslizamientos, cárcavamientos, inestabilidad de taludes y desprendimiento de rocas. (Álvarez-Duarte y Barrera-Cataño 2007).

### **3.3 Sucesión vegetal**

La sucesión está definida como una estructura o función en un ecosistema que tiende al aumento de la biomasa, la diversidad, la estabilidad, la regulación del suelo y la atmósfera en un ecosistema. Por lo tanto se espera que haya un desarrollo tanto funcional como estructural de del mismo mediante el reemplazamiento de poblaciones y comunidades por otras (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C 2002).

En los ecosistemas terrestres, la vegetación actúa como el principal agente sucesional pues se proporciona las condiciones adecuadas para el establecimiento de otras especies tanto de plantas como de animales lo que es llamado como proceso de facilitación de este modo se va creando una dinámica de cambio de especies contribuyendo al cambio de etapa en la sucesión (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C 2002).

También se puede presentar la sucesión por los remanentes bióticos de un ecosistema después del disturbio, en este caso entran a actuar el banco de semillas, banco de plántulas, ramitas internas que brotan de tallos y raíces e individuos reproductores sobrevivientes (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C 2002).

Una sucesión depende tanto de las características del sitio disturbado como el de las áreas adyacentes ya que esta puede proveer de semillas, embriones y esporas al área que se encuentra dañada (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C 2002).

### **3.4 Enmiendas orgánicas: Biosólidos**

Las enmiendas orgánicas son aplicadas con el fin de fertilizar las plantas, son sustancias que mejoran y modifican las características físicas y químicas del suelo, durante los últimos años se

han venido utilizando productos como: residuos de ganadería, agricultura y restantes del tratamiento de agua residuales llamados biosólidos (Barrera-Cataño *et al* 2009).

Los biosólidos ayudan a recuperar los suelos degradados aportando nutrientes como el nitrógeno y fósforo necesarios para el establecimiento y germinación de semillas así como aumentando la porosidad del suelo y aportando carbono orgánico. Además de esto aumentan la disponibilidad de agua, favorecen los procesos de mineralización y minimizan la acción de procesos erosivos (Ochoa-Carreño y Barrera-Cataño 2007). A pesar de todos estos beneficios su utilización está restringida para la agricultura por su contenido de patógenos y de metales pesados (León-Zapata *et al* 2007).

Las propiedades fisicoquímicas de de los biosólidos aplicados en las parcelas experimentales se presentan en la siguiente tabla 1:

**Tabla1.** Propiedades fisicoquímicas de de los biosólidos aplicados en las parcelas experimentales

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Calcio	(meq/100g)	67
Carbono orgánico	(%)	11.7
C.I.C	(meq/100g)	33.8
Fósforo	(ppm)	166
Magnesio	(meq/100g)	2.4
Nitrógeno Total	(%)	1.7
pH	(Unidades)	7.3
Potasio	(meq/100g)	0.55
Sodio	(meq/100g)	0.61
Bases Totales	(meq/100g)	70.05
Saturación de Bases	(%)	SAT
Conductividad eléctrica	(dS/m)	4.4

Fuente: Guaqueme y Barrera-Cataño(2007)

### **3.5 Evaluación, monitoreo y montaje de experimentos**

En un proyecto de restauración ecológica es indispensable plantear un método de evaluación y monitoreo, de esta manera se da cuenta de los logros alcanzados, del rumbo que está llevando esta rehabilitación y del cumplimiento que se da a cada una de las metas establecidas al comienzo del proyecto. Es importante aclarar que el ecosistema restaurado debe cumplir con los atributos característicos el ecosistema de referencia (Hammen *et al* 2008).

Como resultado de este seguimiento y su debida evaluación se puede llegar a facilitar la planeación de otros proyectos similares pues provee información sobre los métodos y técnicas utilizadas y su efectividad en la restauración de los ecosistemas; además provee información importante sobre las diferentes etapas de sucesión y el comportamiento de los factores bióticos y abióticos de los mismos a través del tiempo (Hammen *et al* 2008).

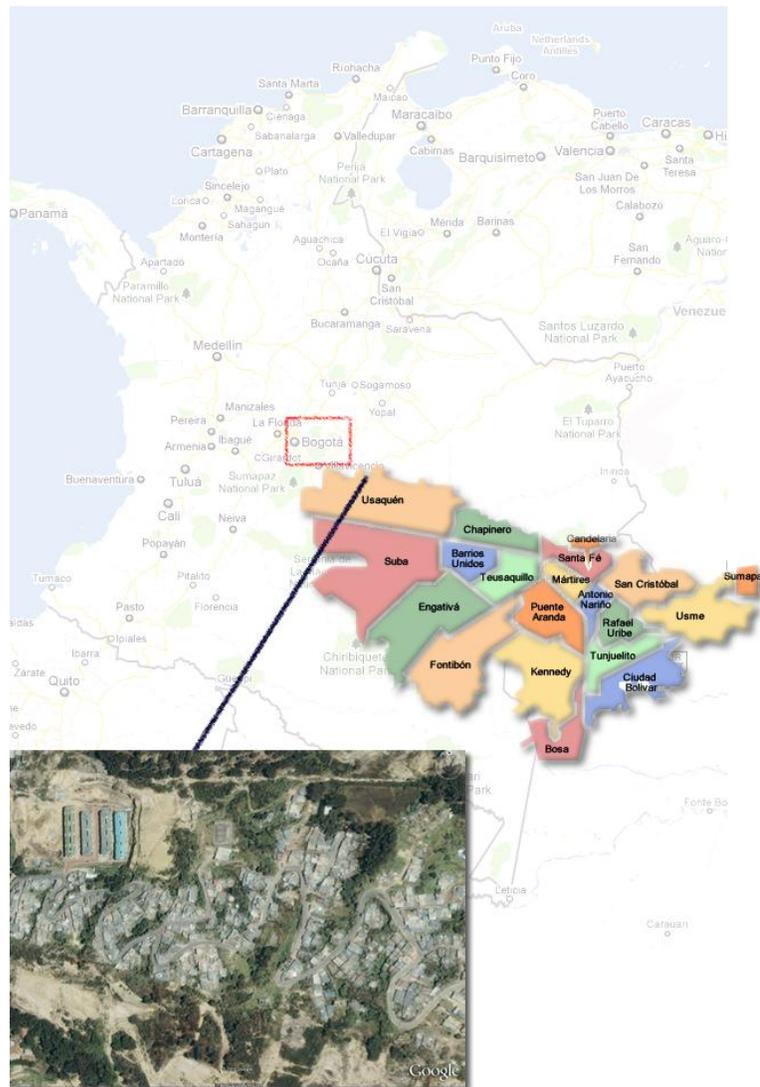
Para dicho propósito las principales estrategias para orientar el programa de evaluación y seguimiento según la Sociedad de Ecología de la Restauración (SER) son las comparación directa, el análisis de atributos y el análisis de la trayectoria. En la comparación directa se hace el análisis de los atributos similares entre el sistema restaurado y el sistema de referencia, el análisis de atributos se busca el estudio de las características cuantitativas que dan cuenta de que tanto se cumplió la meta, y por último el análisis de la trayectoria busca de manera más global la recopilación de información a través del tiempo lo que permite identificar si la restauración está llevando el rumbo adecuado (Hammen *et al* 2008).

Si miramos la evaluación y el seguimiento de los proyectos de restauración ecológica desde el punto de vista científico este se realiza con el fin de determinar los cambios de alguno o algunos de los recursos que se encuentran en el ecosistema (dinámica del recurso) para ello se requiere de el muestreo y la medición de las diferentes variables que se plantearon durante el proyecto para determinar si las prácticas de manejo de dichos recursos son las adecuadas para asegurar la sostenibilidad del mismo (Hammen *et al* 2008).

El montaje de experimentos durante proyectos de restauración ecológica se hace útil pues los resultados obtenidos pueden ser replicados o utilizados en lugares disturbados que presenten la misma problemática (Barrera-Cataño y Valdés-López 2007).

#### 4. MARCO GEOGRÁFICO

La evaluación de vegetación se realizó en la antigua cantera de Soratama donde actualmente se está ubicada el Aula Ambiental de Soratama. Se localiza en parte norte de los cerros orientales, localidad de Usaquén, Bogotá D.C. A la altura de la calle 167 con carrera 2da (Figura 1). Limita al Sur con la cantera Servitá, hacia el Oriente con el municipio de la Calera y hacia el Occidente con el Barrio Soratama (Ochoa 2005). Tiene una extensión aproximada de 5.8 hectáreas y sus alturas se oscilan entre 2810 a 2930 msnm. El experimento se encuentra montado a los 2863 msnm. Las coordenadas son: N04°44'30.8" y W074°00'51.5".



**Figura 1.** Ubicación de las parcelas experimentales.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 General

Evaluar el estado actual de la vegetación presente en parcelas experimentales tratadas con diferente proporción de biosólidos en la cantera de Soratama

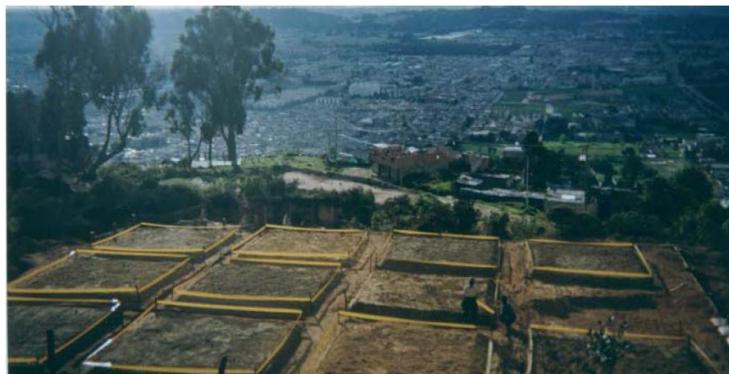
### 5.2 Específicos

- Identificar estructura y composición de la vegetación que se encuentran en los tratamientos
- Comparar la cobertura, riqueza y diversidad de la vegetación presente en los diferentes tratamientos.
- Determinar atributos vitales de las diferentes especies vegetales que se encuentran en las parcelas

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

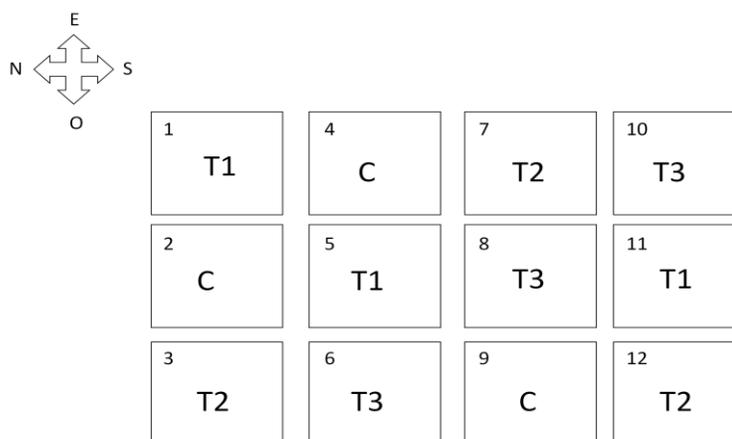
### 6.1 Diseño experimental (previamente implementado)

El diseño experimental fue establecido en el año de 2004 se realizó un diseño completamente aleatorio en el cual se distribuyeron tres tratamientos y el control, con tres repeticiones cada uno dando un total de doce parcelas. El área de las parcelas fue de 18 m<sup>2</sup> (4x4.5 m) y se ubicaron dejando una distancia entre estas de un metro para evitar la mezcla entre los tratamientos y una distancia de 2 a 3 metros de las áreas adyacentes como se ve en la figura 2 (Ochoa 2005).



**Figura 2.** Parcelas experimentales establecidas por Ochoa en el 2004 (Ochoa 2005)

Los diferentes tratamientos utilizados hacen referencia a la proporción entre estéril y biosólido (V/V) estas proporciones fueron aplicadas en las parcelas así: en el tratamiento uno (T1) la proporción fue de 8:1 en el tratamiento dos (T2) fue de 4:1 y en el tratamiento tres (T3) 2:1, en el tratamiento control (C) solo se utilizaron estériles (Ochoa-Carreño y Barrera-Cataño2007). La figura 3 muestra la distribución de estas parcelas en el área.



**Figura 3.** Distribución de los tratamientos en las parcelas experimentales en la cantera de Soratama

## 6.2 Seguimiento de la vegetación

Para este seguimiento se tuvieron en cuenta las cuatro subparcelas de cada parcela, seleccionadas en estudio de Ochoa (2006) en donde se tomaron datos de cobertura y altura de las especies que se encontraban en el área. Se referenciaron los atributos vitales de las especies encontradas y se determinaron la riqueza y diversidad de especies vegetales en los diferentes tratamientos.

### 6.2.1 Toma de datos

En los días 23 24 y 25 de febrero de 2010 se tabularon los datos de la vegetación en las parcelas experimentales.

Primero, se tomaron los datos de todos los arbustos que se encontraban en cada una de las parcelas, las variables medidas fueron: diámetro mayor (fig. 3A) y diámetro menor (fig. 3B), altura (fig. 4A), y CAP (fig. 4B)



**Figura 4.** Vista panorámica de las parcelas experimentales establecidas en la cantera Soratama situación actual.



**a.**



**b.**

**Figura 5.** a) Medición del diámetro mayor y b) diámetro menor a un individuo arbustivo (tomadas por Moreno A. C. 2010)



**Figura 6.** a) Medición de la altura total y b) CAP en un individuo arbustivo (tomadas por Moreno A.C. 2010)

Posteriormente, se tomó la cobertura y altura de la vegetación rasante y herbácea en cada una de las cuatro suparcelas de cada parcela. La cobertura se utilizó como medida de abundancia de cada especie. Los datos se obtuvieron con ayuda de un cuadrante elaborado con tubos de PVC de 70cm x 70cm subdividido con pita de propileno en cuadrados de 7 cm x 7 cm y a su vez subdivididos en cuadrados de 0.7cm x 0.7cm (figura 7). Por observación se estimó la cobertura total en porcentaje de cada especie de tipo rasante o herbácea. La fórmula que se utilizó para estimar esta cobertura fue (Ochoa 2006):

$$X_i = \left( \frac{M_i}{M_T} \right) * 100$$

$M_i =$  Cobertura por especie

$M_T =$  Cobertura total

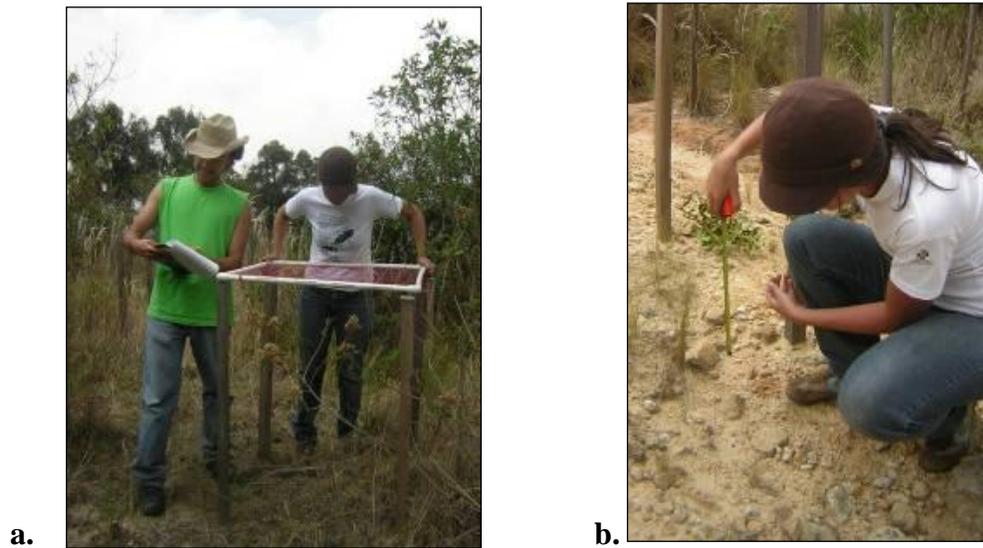
Para los individuos del estrato arbustivo se utilizó el método de diámetro mayor y diámetro menor utilizando la siguiente fórmula (Matteucci y Colman 1982):

$$C1 = \frac{1}{2} [D1 * D2]$$

$D1 =$  Diámetro mayor

$D2 =$  Diámetro menor

De cada uno de los individuos contenidos en las parcelas se tomó la altura con el fin de verificar la estratificación en esta comunidad. Se tomaron las medidas desde la base de la planta al ras del suelo hasta el ápice de la misma con ayuda de una cinta métrica. Para su clasificación se utilizaron los siguientes intervalos de altura: rasante:  $\leq 0.3\text{m}$ , herbáceo: 0.3-1.5m y arbustivo: 1.5-5m (Rangel y Velásquez 1997).



**Figura 7.** a) Medición de la cobertura de la vegetación rasante y herbácea por medio del cuadrante y b) medición de altura de la vegetación rasante y herbácea (tomadas por moreno A.C. 2010)

### 6.2.2 Análisis de Datos

Para el análisis de datos de cobertura se realizaron análisis de varianza ANOVA para saber si existían diferencias significativas entre las coberturas en los diferentes tratamientos de las especies más representativas, en este caso *Bacchaeris latifolia* y *Pennisetum clandestinum*.

En cuanto a la estratificación se realizaron análisis de varianza ANOVA para cada estrato de los diferentes tratamientos para determinar si existieron o no diferencias significativas entre cada tratamiento con respecto a la cobertura de cada estrato.

Para el análisis de datos de diversidad se estimaron la diversidad dominancia y equidad de las especies a través de los índices correspondientes por medio del programa PAST.

-Índice de diversidad de Shannon-Wiener: Utilizado para estimar la relación entre el número de especies y la proporción de individuos. La fórmula con la que se calcula este índice es (Magurran 1988):

$$H' = - \sum (P_i \ln P_i)$$

$P_i: \frac{n_i}{N}$  (*Proporción de individuos hallados por especie*)

-Índice de equidad de Pielou: Mide la proporción de la diversidad observada en relación con la máxima diversidad esperada, con este índice se espera estimar la uniformidad de las especies (Magurran 1988).

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

$H' = \text{diversidad de especies}$   
 $H'_{max} = \text{diversidad máxima esperada}$

-Índice de dominancia de Simpson: Mide la probabilidad de obtener al azar individuos de la misma especie. Se utilizó para medir la dominancia de las especies y utiliza valores de abundancia. Para calcular este índice la fórmula es (Magurran 1988):

$$D = \sum \left( \frac{n_i \binom{n_i}{1}}{N \binom{N}{1}} \right)$$

$n_i = \text{Número de individuos por especie}$   
 $N = \text{Número total de individuos}$

Posterior a la estimación de estos datos se realizó una prueba estadística de análisis de varianza ANOVA para determinar si existen o no diferencias significativas entre los datos obtenidos para cada uno de los tratamientos y de ellos con el tratamiento control. En los casos en que existieron diferencias significativas se realizó la prueba de Tukey para evaluar entre que tratamientos se presentó esta diferencia. Estas pruebas estadísticas se realizaron con ayuda de el programa PASW statistics 18.0.

### 6.2.3 Atributos vitales de las especies

Cada una de las especies encontradas se clasificaron, a partir de revisión bibliográfica, según sus atributos vitales, para esto se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos: Formas de vida, ciclos de vida, modo de dispersión, reproducción e invasibilidad.

Las especies vegetales según las formas de vida fueron clasificadas según Raunkiaer en 1934 en donde plantea cuatro categorías (Moreno 2001):

- **Fanerófitos:** Plantas que tienen las yemas vegetativas en las partes aéreas por encima de los 25cm.
- **Caméfitos:** Plantas que tienen las yemas vegetativas a nivel de la superficie el suelo. La protección de las yemas es proporcionada por su crecimiento o por los vástagos muertos de la misma planta.
- **Hemicriptófitos:** Plantas que tienen las yemas vegetativas se encuentran a nivel de la superficie.
- **Geófitos:** Plantas que tienen las yemas vegetativas están en el sustrato a una profundidad de 2 a 3 cm.

Según los ciclos de vida, las especies vegetales encontradas se clasificaron según Luken en 1990 en donde pueden ser, anuales, bianuales o perennes:

- **Anuales:** Plantas que cumplen su ciclo de vida en menos de 12 meses
- **Bianuales:** Plantas que cumplen su ciclo de vida en aproximadamente 24 meses.
- **Perennes:** Plantas que tienen un ciclo de vida largo de más de dos años.

Según la forma en cómo las especies pueden llegar a nuevos ambientes y establecerse, es decir su modo de dispersión, las especies encontradas fueron categorizadas en (Erickson y Jakobsson 1998):

- **Anemócora:** Plantas cuyas semillas son dispersadas por el viento.
- **Hidrócora:** Plantas cuyas semillas son dispersadas por el agua bien sea por la lluvia o por escorrentía.
- **Zoócora:** Plantas cuyas semillas son dispersadas por animales.

- Antropócora: Plantas cuyas semillas son dispersadas por el hombre.

Según la forma de reproducción, las especies fueron clasificadas en que plantas que tienen reproducción sexual, asexual o las dos.

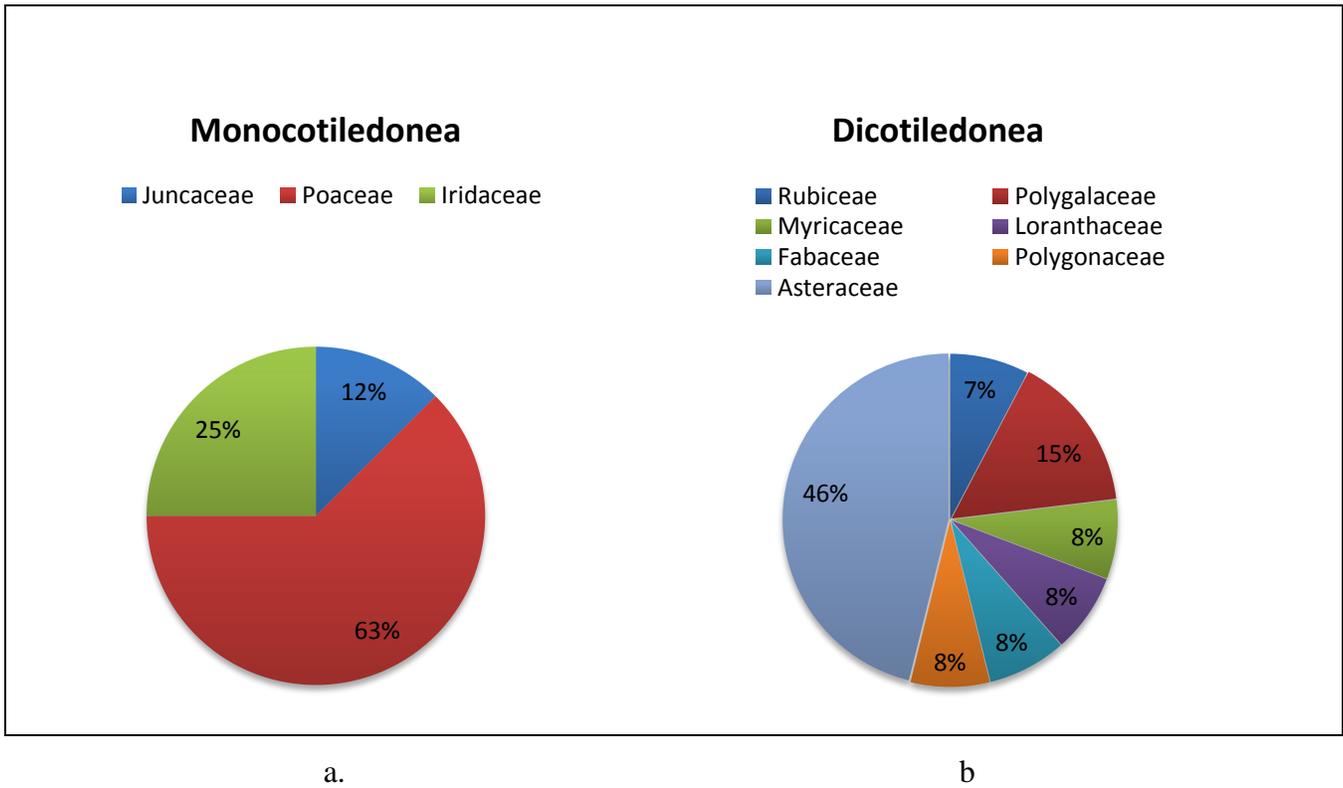
Finalmente, fueron clasificadas según su invasibilidad es decir si las especies vegetales presentes son nativas o exóticas (exóticas naturalizadas ó exóticas invasoras):

- Nativas: Plantas que se desarrollan dentro del área de dispersión natural o potencial.
- Exóticas: Plantas que han sido introducidas fuera del área de distribución natural.
  - Naturalizadas: la propagación de estas plantas no afecta la diversidad biológica local
  - Invasoras: Plantas que tienen una alta capacidad de colonización su propagación afecta la diversidad biológica local.

## **7. RESULTADOS**

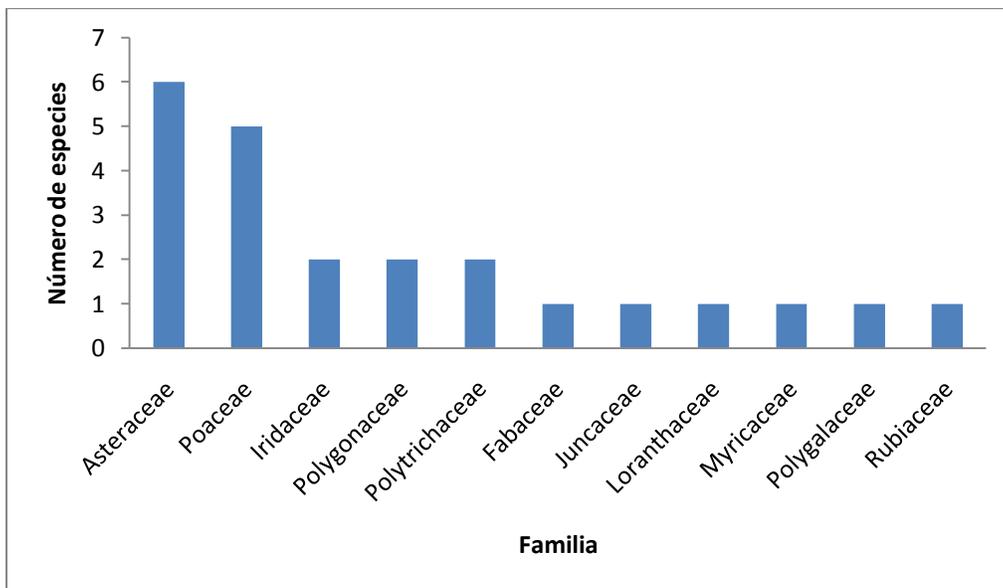
### **7.1 Composición florística**

En el área experimental, se registraron 23 especies correspondientes a 22 géneros y a 11 familias (Tabla 2). La clase taxonómica monocotiledonea presentó 3 familias (Figura 8), con 8 especies en total, 5 de ellas de la familia Poaceae, 2 Iridiaceae y 1 de la familia Juncaceae. De dicotiledóneas se encontraron 12 especies, el 46% corresponde a las seis especies de Asteraceae, dos especies de Polygonaceae que completan el 17% y con una especie de cada una de las familias restantes (Rubiaceae, Myricaceae, Fabaceae, Poligalaceae y Lorantaceae) cada una con el 8%. Finalmente la clase taxonómica Bryophyta solo se ve representado por una familia con dos especies.



**Figura 8.** Clases taxonómicas. a) Clase monocotiledonea, b) clase dicotiledónea.

La familia Asteraceae presentó el mayor número de especies con 6 , seguida de la familia Poaceae con 5 especies, las familias Iridaceae, Polygonaceae y Polytrichaceae dos especies cada una y las familias restantes una sola especie (Figura 9).



**Figura 9.** Número de especies por familia taxonómica

El tratamiento 2 presentó el mayor número de familias taxonómicas con 8, 17 géneros y 17 especies. Los tratamientos con el menor número de familias fueron el tratamiento 1 y 3 con 5 cada uno, el tratamiento 1 presentó 13 géneros y trece especies a diferencia del tratamiento número tres que presentó 9 géneros y 9 especies.

Las especies *Baccharis latifolia*, *Rumex acetosella* y cuatro de las cinco especies de la familia Poaceae (*Anthoxanthum odoratum*, *Holcus lanatus*, *Pennisetum clandestinum*, *Stipa ichu* y *Poaceae indet*) se encontraron en todos los tratamientos incluyendo el control.

En el tratamiento dos se encontraron nueve especies que no se evidenciaron en ninguno de los otros tratamientos ni en el control: *Achyrocline* sp 1, *Poaceae Indet* , *Aschirocline* sp 2 , *Polytrichum* cf. *Commune*, *Bidens* aff *rubrifolia*, *Crocoshmia* cf. *cocrosmiiflora*, *Orthrosanthus chimboracensis*, *Juncus effusus*, *Gaiadendron punctatum*, *Polytrichum* cf. *Juniperinum* y *Galium hypocarpium* .

*Muehlenbeckia tamnifolia* e *Hypochaeris radicata* se encontraron en los tratamientos 1 y 2; *Gamochaeta americana* y *Morella parvifolia* se encontraron en el tratamiento 1 y en el control; *Ulex europaeus* en el tratamiento 2 y en el control; *Monnina aestuans* en los tratamientos 2 y 3 (Tabla 2).

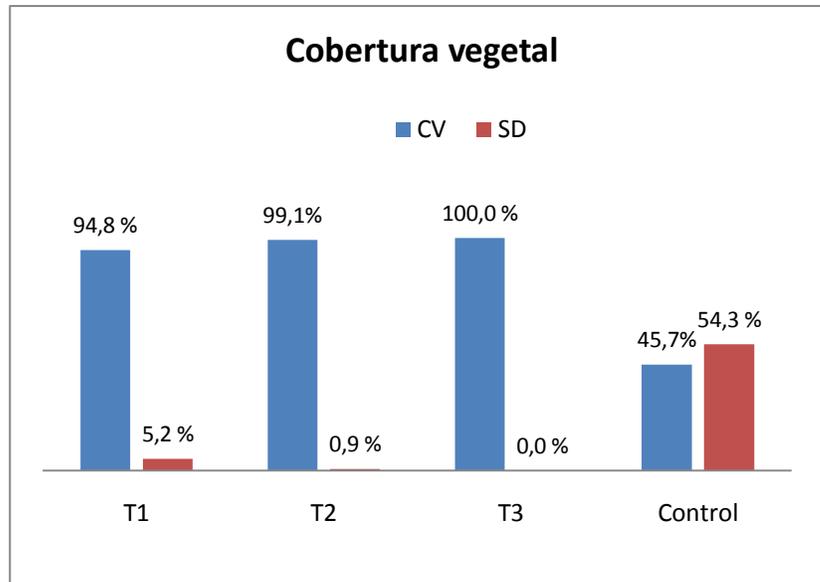
**Tabla 2.** Clasificación de especies encontradas por tratamiento del diseño experimental establecido en la Cantera Soratama

Familia	Genero	Especie	T1	T2	T3	Control
Asteraceae	Achyrocline	<i>Achyrocline sp1.</i>		x		
	Baccharis	<i>Baccharis latifolia</i>	x	x	x	x
	Gamochaeta	<i>Gamochaeta americana</i>	x			x
	Hypochaeris	<i>Hypochaeris radicata</i>	x	x		
	Achyrocline	<i>Achyrocline sp2.</i>	x			
	Taraxacum	<i>Taraxacum officinale</i>	x	x	x	x
	Bidens	<i>Bidens aff rubrifolia</i>		x		
Fabaceae	Ulex	<i>Ulex europaeus</i>		x		x
Iridaceae	Orthroxanthus	<i>Orthroxanthus chimboracensis</i>				x
	Crocsmia	<i>Crocsmia cf. cocrosmiiflora</i>		x		
Juncaceae	Juncus	<i>Juncus effusus</i>			x	
Loranthaceae	Gaiadendron	<i>Gaiadendron punctatum</i>		x		
Myricaceae	Morella	<i>Morella parvifolia</i>	x			x
Poaceae	Anthoxanthum	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	x	x	x	x
	Holcus	<i>Holcus lanatus</i>	x	x	x	x
	Pennisetum	<i>Pennisetum clandestinum</i>	x	x	x	x
	Indet	<i>Poaceae sp</i>	x			
	Stipa	<i>Stipa ichu</i>	x	x	x	x
Polygalaceae	Monnina	<i>Monnina cf.aestuans</i>		x	x	
Polygonaceae	Muehlenbeckia	<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i>	x	x		
	Rumex	<i>Rumex acetosella</i>	x	x	x	x
Polytrichaceae	Polytrichum	<i>Polytrichum cf. juniperinum</i>				x
		<i>Polytrichum cf. Commune</i>		x		
Rubiaceae	Galium	<i>Galium hypocarpium</i>		x		

## 7.2. Estructura

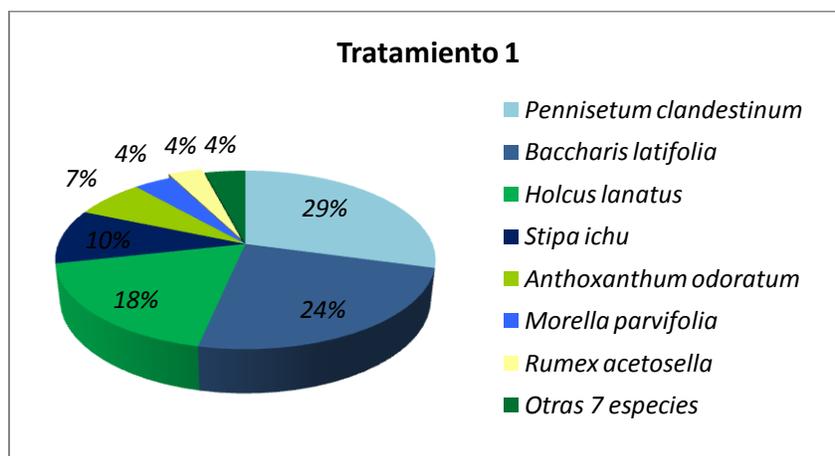
### 7.2.1. Cobertura vegetal por tratamiento

En la figura 10 se presenta la proporción entre cobertura vegetal y el suelo desnudo de cada tratamiento; En el tratamiento 1 hay 5.2% de suelo desnudo, en el tratamiento 2 un 0.9% y en el tratamiento tres no hay cobertura vegetal. En el tratamiento control hay un porcentaje mayor (54.3%) de suelo desnudo que de cobertura vegetal. Como podemos observar a medida que aumenta la proporción de biosólidos disminuye el porcentaje de suelo desnudo por tratamiento.



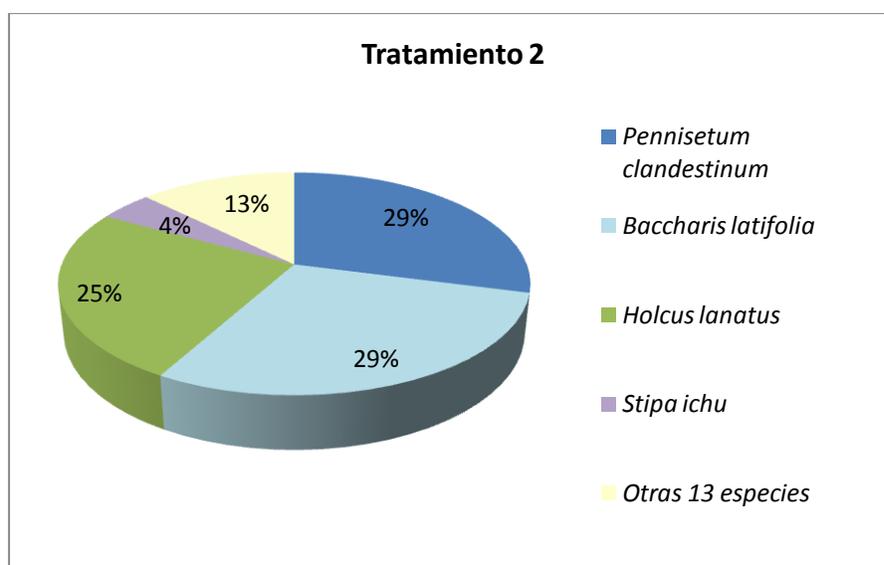
**Figura 10.** Cobertura vegetal y suelo desnudo en cada tratamiento

En el tratamiento 1 la especie con mayor porcentaje de cobertura fue *Pennisetum clandestinum* seguido de *Baccharis latifolia* y *Holcus lanatus*, el 7 % de la cobertura está ocupada por la especie *Anthoxanthum Odoratum*, el 4 % por las especies *Morella parviflora* y *Rumex acetocela* cada una y el 4 % restante por otras 6 especies (*Hypochaeris radicata*, *Poaceae sp*, *Taraxacum officinale*, *Muehlenbeckia tamnifolia*, *Gamochaeta americana* y *Asteraceae sp*) (figura 11).



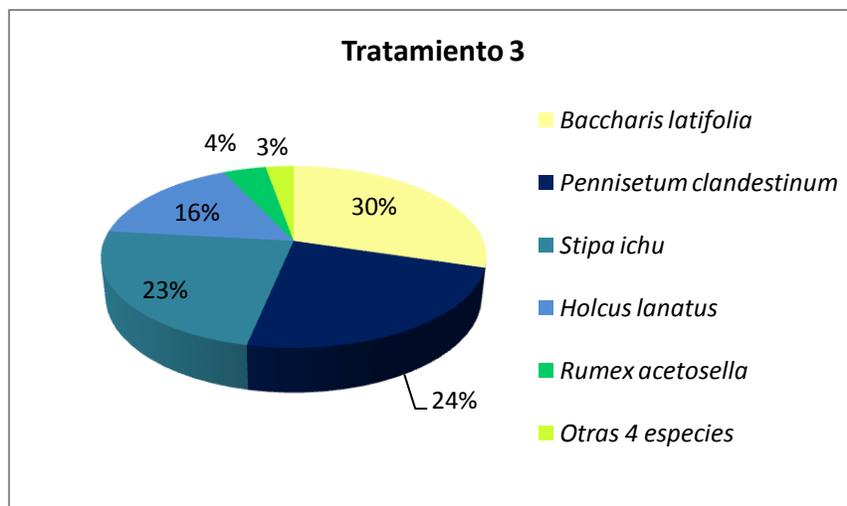
**Figura 11.** Porcentaje de Cobertura por especie en el tratamiento 1 del diseño experimental establecido en la Cantera Soratama

En el tratamiento 2 las especies *Baccharis Latifolia* y *Pennisetum Clandestinum* presentan el mayor porcentaje de cobertura con el 29% cada una, seguido de *Holcus lanatus* con el 25 % y *Stipa ichu* con el 4 %, el 13% restante corresponde a otras trece especies (*Gaiadendron punctatum*, *Monnina cf.aestuans* *Anthoxanthum odoratum* *Achyrocline sp* *Muehlenbeckia tamnifolia* *Galium hypocarpium* *Ulex europaeus* *Rumex acetosella* *Taraxacum officinale* *Polytrichum commune* *Orthrosanthus chimboracensis* *Bidens aff rubrifolia* *Hypochaeris radicata*) que no superan un porcentaje de 2% de cobertura (Figura 12).



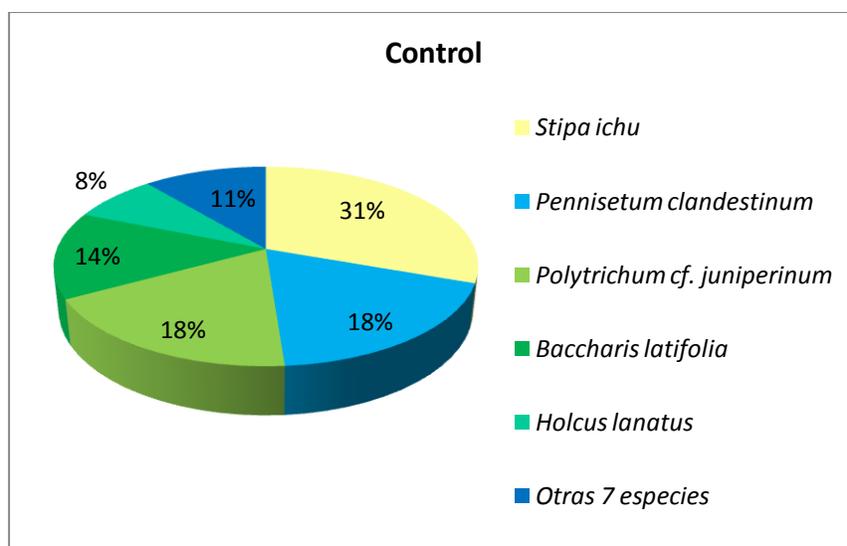
**Figura 12.** Porcentaje de Cobertura por especie en el tratamiento 2

En el tratamiento 3 (figura 13) las especie con mayor cobertura fue *Baccharis Latifolia* seguida de *Pennisetum clandestinum* con 24% y *Stipa ichu* 23%. *Holcus lanatus* ocupó un 16% de cobertura total del tratamiento 3 y finalmente *Rumex acetocela* con 4%. El 3% restante fue por la otras cuatro especies, *Juncus effusus*, *Monnina cf.aestuans*, *Taraxacum officinale* y *Anthoxanthum odoratum*.



**Figura 13.** Porcentaje de Cobertura por especie en el tratamiento 3 del diseño experimental en la Cantera Soratama

La cobertura de las especies en el tratamiento control se muestra en la figura 14, la especie dominante es *Stipa ichu* seguido de *Pennisetum clandestinum* y *Polytrichum cf. Junipericum* con cada una 18 % de la cobertura total en este tratamiento. *Baccharis latifolia* ocupó el 14 % y *Holcus lanatus* 8 %. El 11% restante pertenece al espacio ocupado por otras siete especies: *Hypochaeris radicata*, *Crocoshmia cf. cocrosmiiflora*, *Morella parvifolia*, *Rumex acetosella*, *Anthoxanthum odoratum*, *Ulex europaeus* y *Gamochoaeta americana*.



**Figura 14.** Porcentaje de Cobertura por especie en el control del diseño experimental establecido en la Cantera Soratama

### **7.2.1.1. Prueba estadística cobertura vegetal**

En general se pudo determinar mediante un análisis de varianza que existen diferencias significativas entre los tratamientos y el control en cuanto a la variable cobertura total, ya que según los resultados de la prueba de Tukey estas diferencias se dieron específicamente entre el tratamiento uno y tres con un alfa de 0.05 resulto una significancia de 0.008.

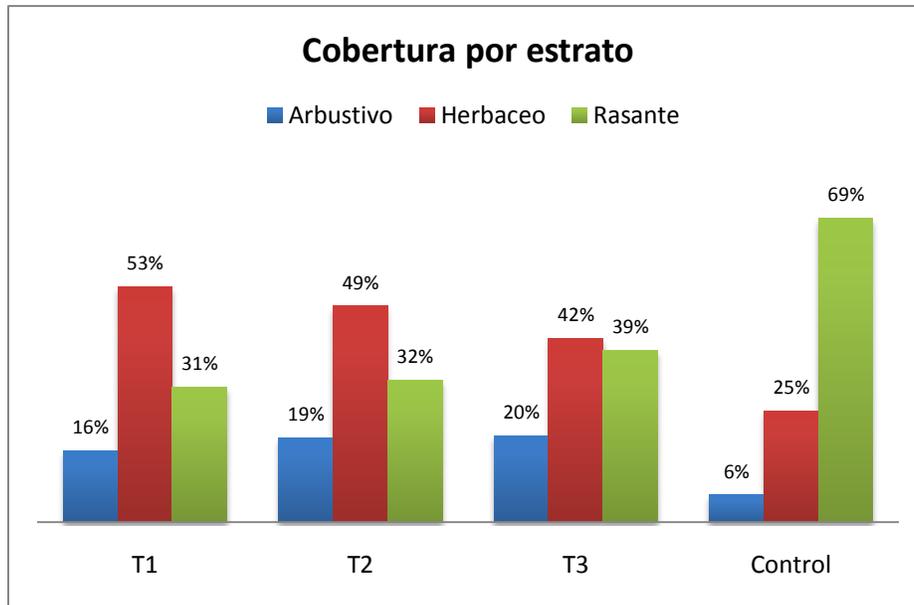
De la cobertura de todos los tratamientos incluyendo el control las especies más representativas fueron *Pennisetum clandestinum* y *Baccharis latifolia* pues ocupan una cobertura importante en cada tratamiento. Para identificar si hubo o no diferencias significativas entre las coberturas de estas dos especies entre los tratamientos se realizó un análisis de varianza.

Según el análisis de varianzas para la especie *Bacchaeris Latifolia* teniendo homogeneidad de varianzas entre los datos, existen diferencias significativas entre la cobertura en los tres tratamientos teniendo un alfa de 0.05. La prueba de Tukey demostró que el tratamiento uno presenta diferencias tanto con el tratamiento tres como con el tratamiento dos. En el caso de *Pennisetum clandestinum* no se presentaron diferencias significativas entre la cobertura de esta especie entre los tratamientos.

### **7.2.2. Estratificación**

Para la clasificación por estratos se establecieron tres rangos de acuerdo con Rangel y Velásquez (1986): Rasante (0m- 0.3 m, herbáceo (0.31m- 1.5m) y arbustivo (1.51m- 5m).

Como se puede observar en la figura 15 el estrato rasante presentó la mayor cobertura en el control con el 69% y entre los tratamientos el estrato herbáceo mostró la mayor cobertura (T1= 53%, T2= 49% y T3= 42%). El estrato que obtuvo la menor cobertura, en todos los tratamientos, incluyendo el control, fue el arbustivo destacando el control con solo un 6% de cobertura para este estrato. En cuanto al estrato rasante entre los tratamientos fue muy similar con porcentajes que oscilan entre el 31% y 39 %.



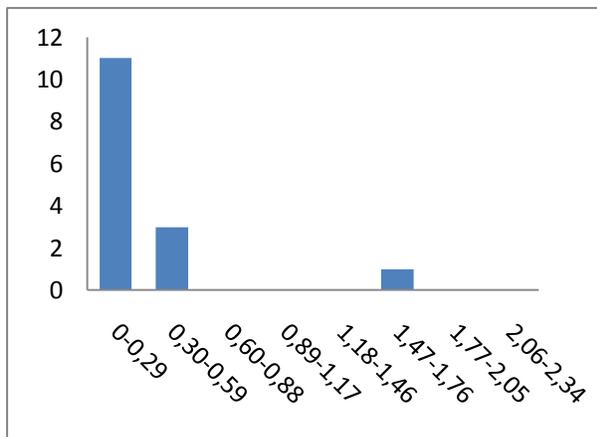
**Figura 15.** Cobertura por estrato en los tratamientos y el control, establecidos en la Cantera Soratama

### 7.2.2.1. Prueba estadística estratificación

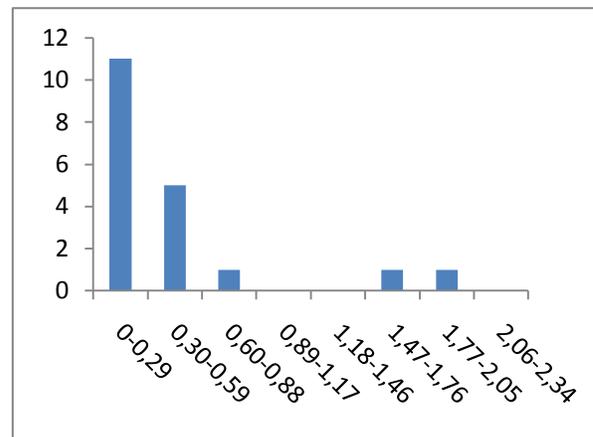
Mediante el análisis de varianza de la variable cobertura en cada uno de los estratos ( $\alpha = 0.05$ ), se pudo comprobar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con relación a cada uno de los estratos, es decir, entre la cobertura del estrato rasante de cada uno de los tratamientos no hay diferencias significativas, lo mismo para el estrato herbáceo y arbustivo.

### 7.2.3. Distribución de Alturas

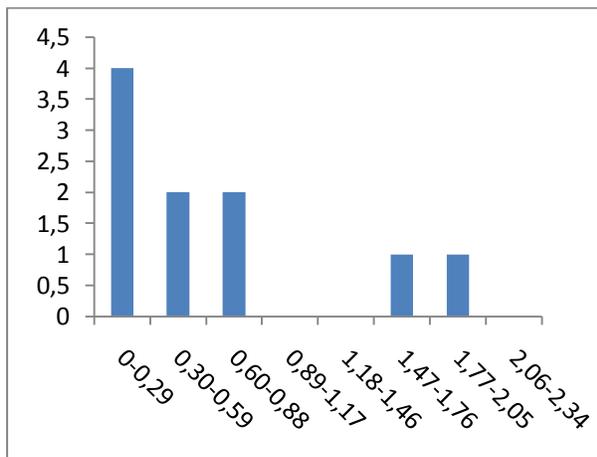
En la distribución de alturas se diferenciaron ocho clases de altura. Los rangos entre los mismo se presentan en la figura 16 (0-1.29, 0.30-0.59, 0.60-0.88, 0.89-1.17, 1.18-1.46, 1.47-1.76, 1.77-2.05, 2.06-2.34). En general se observó que se presentan mayor abundancia de especies en la primera clase (altura entre 0-0,29m).



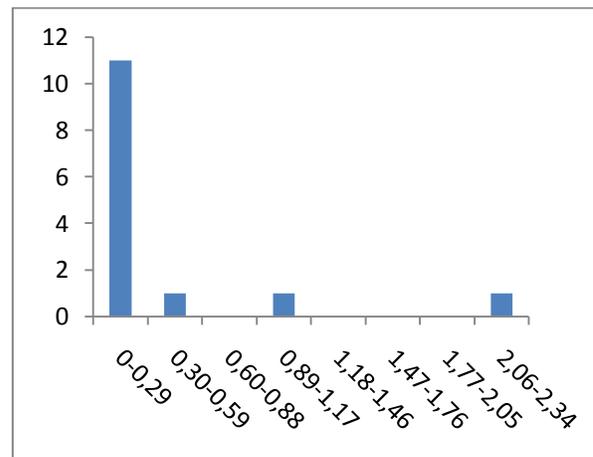
a.



b.



c.



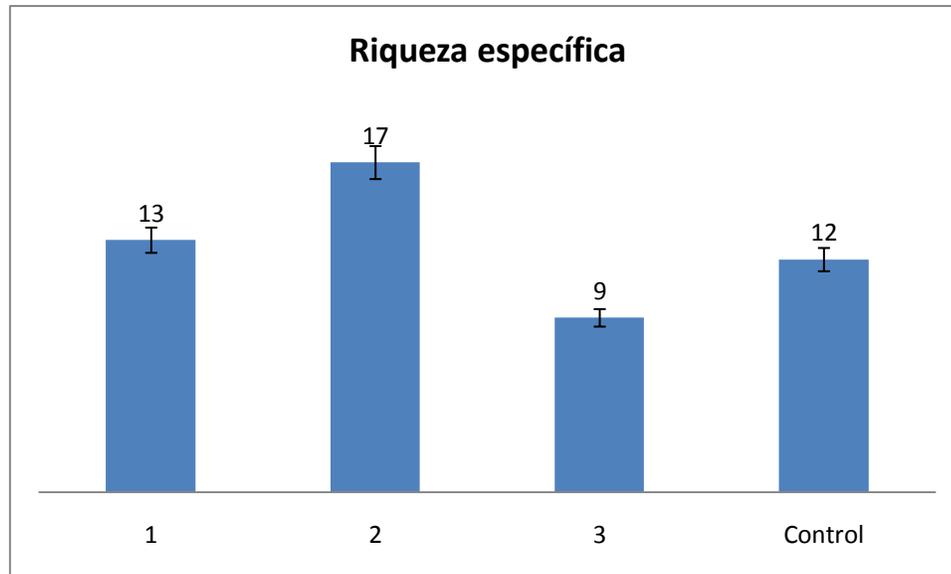
d.

**Figura 16.** Distribución por clases de altura. **a.** Tratamiento 1, **b.** Tratamiento 2 **c.** Tratamiento 3 **d.** Control.

### 7.3 Índices de Diversidad

#### 7.3.1 Riqueza específica

En la figura 17 se muestran los datos de riqueza para cada uno de los tratamientos. En el tratamiento 2 se encontraron mayor número de especies (17 especies) y el tratamiento tres el menor valor de riqueza con 9 especies.



**Figura 17.** Riqueza específica de los tratamientos establecidos en la Cantera Soratama

### 7.3.1.1. Prueba estadística riqueza específica

A partir del análisis de varianza (alfa 0.05) de los valores de riqueza específica de los tratamientos se demostró que los datos presentan un comportamiento paramétrico y que existen diferencias significativas entre estos valores. Al realizar la prueba de Tukey se comprobó que el tratamiento tres es significativamente diferente con el tratamiento uno, dos y control.

### 7.3.2 Índice de diversidad de Shannon Wiener

Los valores de diversidad obtenidos para cada uno de los tratamientos incluyendo el control fueron similares, el mayor fue de 1,89 (Control) y el menor de 1,609 (T3). Al realizar el análisis estadístico correspondiente se determinó que no existen diferencias significativas entre estos valores (Tabla 3).

### 7.3.3 Índice dominancia de Simpson

Los valores de dominancia para cada uno de los tratamientos variaron entre 0,1926 en el tratamiento control y 0,2291 en el tratamiento tres como se muestra en la tabla 3. Mediante el análisis de varianza se pudo determinar que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a este índice (Tabla 3).

### 7.3.4 Índice que equidad de Pielou

En todos los tratamientos y el control se presentaron valores similares para este índice: tratamiento uno 0,722, tratamiento dos 0,6272, tratamiento tres 0,7323, y control 0,7607 (Tabla 3). Estadísticamente se comprobó que, al igual que los índices de diversidad anteriores no hubo diferencias significativas entre estos valores en los tratamientos y el control.

	1	2	3	Control
<b>Shannon_H</b>	1,852	1,777	1,609	1,89
<b>Dominance_D</b>	0,1976	0,2382	0,2291	0,1926
<b>Equitability_J</b>	0,722	0,6272	0,7323	0,7607

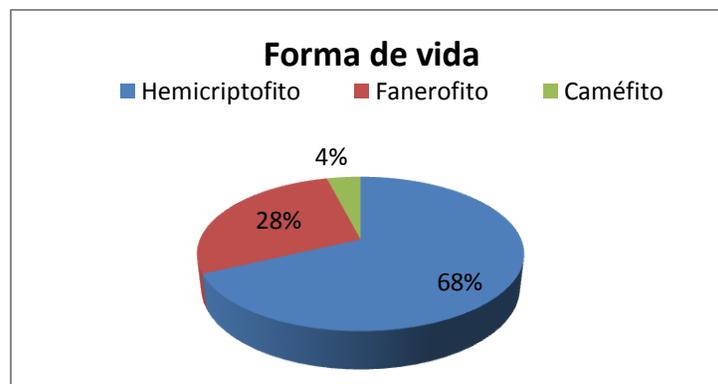
**Tabla 3.** Índices de diversidad en cada tratamiento establecido en el diseño experimental en la Cantera Soratama

### 7.4. Atributos vitales

La evaluación de vegetación, incluye la determinación de algunos rasgos característicos de cada especie que se encontró; entre estos están la forma de vida, hábito, modo de dispersión, tipo de reproducción e invasibilidad. A continuación se presentan estos resultados.

#### 7.4.1. Formas de vida

En la figura 18 podemos observar que la forma de vida más frecuente dentro de las especies fue hemicriptófito con 68%. Este porcentaje corresponde a 17 especies. Los fanerófito ocupan el segundo lugar con el 28 % (7 especies) y una sola especie con forma de vida caméfito. Todas estas especies se referencian en la tabla 4.



**Figura 18.** Clasificación según Raunkiaer de las especies encontradas según la forma de vida en el diseño experimental establecido en la Cantera Soratama

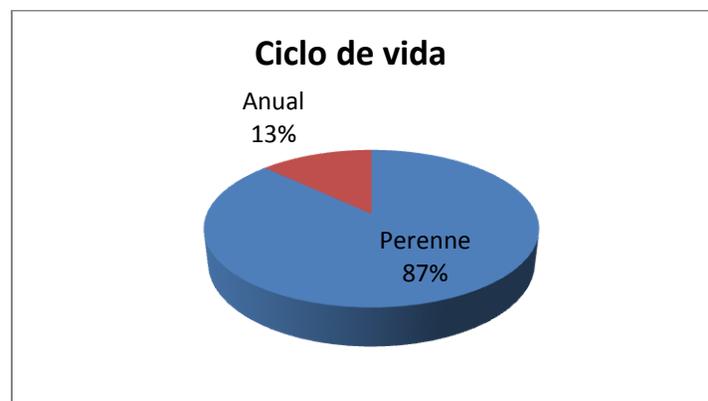
En el tratamiento 1, 2, 3 y en el control se presentaron las dos formas de vida más frecuentes (Hemicriptófito y fanerófito). En el tratamiento dos las tres formas de vida. Los caméfitos solo fueron representados por una sola especie, *Polytrichum* cf. *Commune*.

En el tratamiento uno doce especies se caracterizaron como hemicriptófitas y tres como fanerofitas, en el tratamiento dos trece especies hemicriptófitas cinco como fanerófitas y una como caméfito, en el tratamiento tres nueve especies hemicriptófitas y una fanerófito y finalmente en el control se presentaron once especies hemicriptófitas y tres fanerófitas.

#### 7.4.2 Ciclo de vida

En cuanto al ciclo de vida podemos decir que la mayoría de las especies son perennes, fueron 21 especies encontradas en todos los tratamientos incluyendo el control que corresponden al 87%. El 13% (dos especies) restante son plantas de ciclo de vida anual (figura 19).

En el tratamiento 1 y el control todas las especies se clasifican como perenne menos *Gamochaeta americana*. En el tratamiento dos la única especie anual es *Bidens aff rubrifolia*, y en el tratamiento tres todas las especies son perennes.



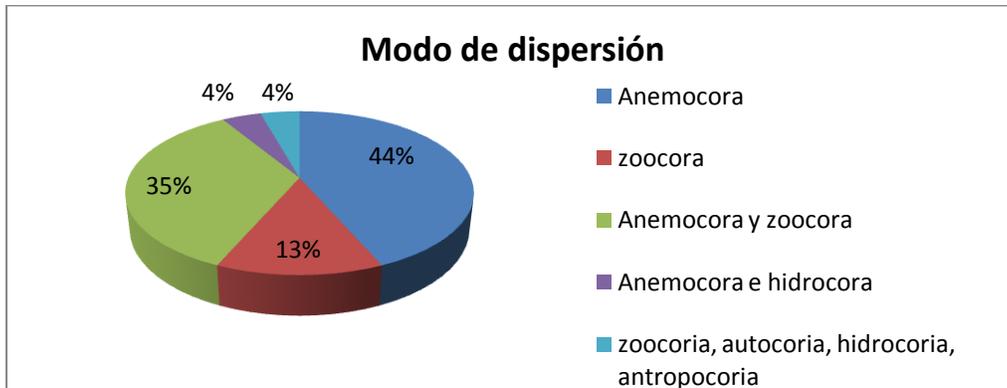
**Figura 19.** Clasificación según Luken por ciclo de vida de las especies encontradas en diseño experimental en la Cantera Soratama

#### 7.4.3 Modo de dispersión

En el estudio de vegetación, el mayor porcentaje de especies son únicamente dispersadas por el aire, es decir, anemócoras (10 especies). Pero este modo de dispersión es compartido con zoocoría en hidrocoría en algunos casos (figura 20): con las especies *Bidens aff rubrifolia*, *Polytrichum* cf. *Commune*, *Orthrosanthus chimboracensis*, *Anthoxanthum odoratum*, *Holcus*

*lanatus*, *Pennisetum clandestinum*, *Muehlenbeckia tamnifolia* y *Rumex acetosella* con zoocoría y con hidrocoría con *Polytrichum cf. Juniperinum*.

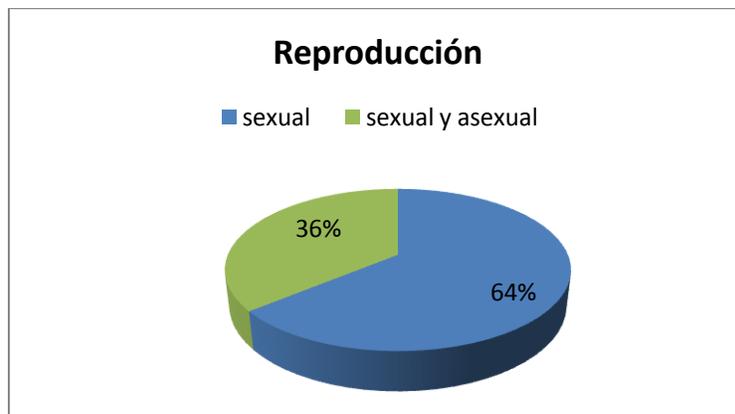
Las especies que tiene dispersión únicamente zoocórica son tres: *Morella parvifolia*, *Gaiadendron punctatum*, *Monnina cf.aestuans* y finalmente la especie *Ulex europaeus* es la única que tiene más de dos formas de dispersión, zoocoria, autocoria hidrocoria y antropocoria.



**Figura 20.** Clasificación según el modo de dispersión de las especies del diseño experimental en la Cantera Soratama

#### 7.4.4. Reproducción

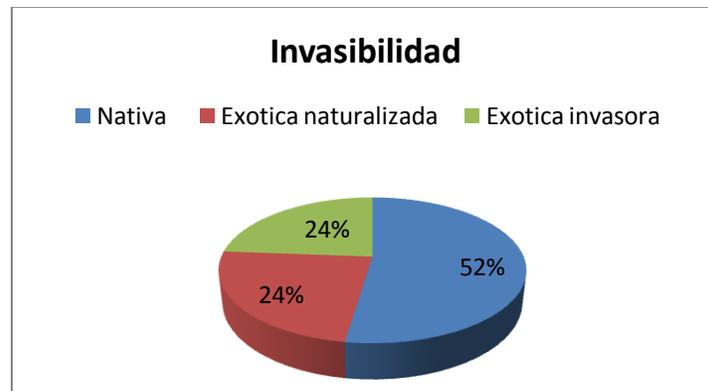
La figura 21 muestra la proporción de especies según el tipo de reproducción. La totalidad de las especies encontradas tienen una reproducción sexual, pero el 36% de las mismas tienen también reproducción asexual como es el caso de las especies de la familia Poaceae, Fabaceae y Polytricaceae.



**Figura 21.** Clasificación según el tipo de reproducción de las especies encontradas en el diseño experimental en la Cantera de Soratama

### 7.4.5 Invasibilidad

Las especies que se establecieron en las parcelas experimentales pueden ser nativas o exóticas, dentro de las exóticas pueden ser exóticas invasoras o exóticas naturalizadas. En este caso se presento una frecuencia de especies nativas (once especies) menor que las exóticas. Dentro de las exóticas seis especies fueron exóticas naturalizadas y seis invasoras. Los porcentajes se muestran en la figura 22.



**Figura 22.** Clasificación de las especies encontradas según su invasibilidad.

A continuación se presenta la tabla completa de los atributos vitales para cada una de las especies encontradas en esta evaluación (Tabla 4). Los morfotipos *Achyrocline sp1*, *Achyrocline sp2*. No pudieron ser determinadas hasta especie pues se encontraban en su etapa juvenil y no presentaban flores. Poaceae indet tampoco pudo ser identificada pues no se encontraron ejemplares fuera de la subparcela de muestreo.

**Tabla 4.** Atributos vitales de las especies encontradas

Especie	F.de vida			Modo de dispersión					Repro		Inva		
	Hemicriptófito	Fanerófito	Caméfito	Anemócora	Zoocora	Hidrocora	Autocora	Antropocora	Sexual	Asexual	Nativa	Exótica invasora	naturalizada
<i>Achyrocline sp1</i>	x			x					x		x		
<i>Baccharis latifolia</i>		x		x					x		x		
<i>Gamochaeta americana</i>	x			x					x		x		
<i>Hypochaeris radicata</i>	x			x					x				X
<i>Taraxacum officinale</i>	x			x					x			x	
<i>Ulex europaeus</i>		x			x	x	x	x	x	x		x	
<i>Poaceae indet.</i>	x			x					x	x			
<i>Bidens aff rubrifolia</i>	x			x	x				x				x
<i>Achyrocline sp2.</i>	x			x					x		x		
<i>Polytrichum cf. Commune</i>			x	x	x				x	x			X
<i>Crocsmia cf. croscomiiflora</i>	x								x				X
<i>Orthrosanthus chimboracensis</i>		x		x	x				x			x	
<i>Juncus effusus</i>	x			x					x		x		
<i>Gaiadendron punctatum</i>		x			x				x		x		
<i>Morella parvifolia</i>		x			x				x		x		
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	x			x	x				x	x			X
<i>Holcus lanatus</i>	x			x	x				x	x		x	
<i>Pennisetum clandestinum</i>	x			x	x				x	x		x	
<i>Stipa ichu</i>	x			x					x	x	x		
<i>Monnina aestuans</i>		x			x				x		x		
<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i>		x		x	x				x		x		
<i>Rumex acetosella</i>	x			x	x				x				X
<i>Polytrichum cf. juniperinum</i>	x			x		x			x	x			
<i>Galium hypocarpium</i>	x			x					x		x		

## 8. DISCUSIÓN

Como resultado de esta evaluación de vegetación en los diferentes tratamientos y el control, se registraron veintitrés especies correspondientes a veintidós géneros y a once familias.

La familia con mayor número de especies fue la Asteraceae, seguida de la familia Poaceae. Las especies que pertenecen a estas dos familias son considerados como ruderales, es decir, que aparecen en los lugares en donde se ha presentado alguna alteración antrópica, tienen como características principales que se establecen con facilidad en el sustrato, son de carácter colonizador, tienen un ciclo de vida corto y están ampliamente distribuidas (Mateasanz y Valladares 2007)

Además, se caracterizan por su alta competitividad y la rápida capacidad de tomar los nutrientes del suelo evitando así el establecimiento de nuevas especies. Es posible que esta sea la razón de su presencia en todos los tratamientos incluyendo el control pues llegaron a las parcelas con el fin de aprovechar los nutrientes que se le proporcionaron al suelo mediante el enriquecimiento con biosólidos (Raynal y Bazzas 1975).

La clase taxonómica más frecuente fue la dicotiledónea representada principalmente por especies pertenecientes a la familia Asteraceae con aproximadamente el 50% de representación dentro de esta clase. La familia Asteraceae tiene una alta tolerancia a niveles altos de pH y de algunos metales pesados, razón por la cual, se podría pensar que este factor es una ventaja de esta familia frente a otras que son más sensibles a las propiedades físicas y químicas de un suelo degradado como en el caso de las familias que se encontraron con menor número de especies y menor cobertura en este estudio (Olivares 1999).

Dentro de las monocotiledoneas, la familia Poaceae está representada por el 63% del total de las especies, encontradas en esta evaluación, pertenecientes a esta clase taxonómica. Por su parte, la familia Poaceae presenta características favorables para el establecimiento en las parcelas experimentales. Estas especies tienen una alta capacidad de respuesta a los fertilizantes, en especial a los contenidos adecuados de nitrógeno. Como ya es sabido, los biosólidos aportan nitrógeno y otros nutrientes importantes como el azufre, el fósforo y el hierro al suelo (Rechcigl 1998).

La aplicación de los biosólidos además de mejorar las condiciones químicas del suelo también modifican favorablemente las condiciones físicas del mismo permitiendo el almacenamiento de agua en las porosidades generadas por la buena calidad del suelo y quedando disponible para la germinación de las semillas de los pastos (Guerra et al 2004).

Las familias que se encontraron con menor frecuencia fueron las Fabaceae, Juncaceae, Loranthaceae, Myricaceae, Polygalaceae y Rubiaceae con una sola especie cada una. Las mayorías de especies que representan estas familias son arbustivas por lo que se puede pensar que la sucesión se encuentra en una etapa transicional temprana. Este experimento está en la segunda etapa de sucesión en donde aparecen los primeros matorrales de pequeño porte y baja talla.

Con respecto a la cobertura, las especies más representativas fueron *Pennisetum clandestinum* y *Baccharis latifolia*. Según los resultados de los análisis estadísticos no existen diferencias significativas entre los tratamientos ni el control con respecto a *Pennisetum clandestinum*, pero si, entre las coberturas de *Baccharis latifolia*; Según la prueba de Tukey el Tratamiento uno es significativamente diferente con respecto al tratamiento dos y tres, estos resultados concuerdan con lo mencionado anteriormente sobre la familia Asteraceae, la cual es de carácter colonizador y se establece fácilmente en suelos degradados o con pocos nutrientes (Mateasanz y Valladares 2007). Además esta especie, según Barrera-Cataño et al (2009), es generalmente encontrada en etapas de recuperación intermedia del bosque alto andino secundario.

La estratificación hace referencia al arreglo estructural que presentan las comunidades de plantas, está determinada por el tamaño y tipo de vida de los organismos. Para esta evaluación de la vegetación se utilizó la clasificación propuesta por Rangel y Velásquez (1986). Las graficas presentadas para en esta evaluación para los diferentes tratamientos con respecto a los estratos y distribución de alturas indican que hay una mayor predominancia de las especies rasantes y herbáceas.

La cobertura del estrato herbáceo fue similar en los tres tratamientos por lo que se puede pensar que la sucesión vegetal se encuentra en sus primaras etapas de recolonización en donde se presenta una mayor frecuencia de comunidades herbáceas (Martínez-Sánchez y Herranz 1999). La presencia de especies propias de etapas intermedias, como lo son las del estrato arbustivo, se puede deber a que algunas de estas son capaces de establecerse en medios adversos como es el caso de *Baccharis latifolia* ayudando a la progresión de la sucesión a comunidades más madura (Miranda et .al 2004). La distribución de alturas arrojó resultados que concuerdan con lo anotado anteriormente, en donde las especies vegetales de menor altura ya sea son las que predominan en todos los tratamientos.

Los resultados obtenidos concuerdan con la cantidad de biosólidos para cada tratamiento. Por ejemplo, en el tratamiento control, que no fue enriquecido, se presentó el mayor porcentaje de cobertura vegetal rasante y menor de el estrato superior (arbustivo). Esto indica que la cantidad de biosólidos aplicados puede tener una incidencia positiva en la sucesión vegetal (Barrera – Cataño et al 2009) y que además pudo haber generado el sustrato propicio para el establecimiento de especies de gramíneas que, en este caso, son todas de hábito herbáceo (Ogle y Redente 1988).

En cuanto a la riqueza, podemos decir que en el tratamiento dos se encontraron mayor número de especies (17 especies) y el tratamiento tres el menor valor de riqueza con 9 especies. Lo que puede indicar que esta proporción de biosólidos con respecto a estériles en el tratamiento dos sería la indicada para el establecimiento de diferentes especies, sin embargo, después de los análisis estadísticos de la riqueza de los tres tratamientos y el control se determinó que el tratamiento tres es el que presenta diferencias significativas con el resto pues presenta el menor número de especies esto posiblemente por el predominio de algunas especies como *Pennisetum clandestinum* y *Stipa ichu* quienes se encargan de colonizar el lugar e impedir que se establezcan especies de otras familias (Mateasanz y Valladares 2007). La llegada de las especies de la familia Poaceae a las parcelas del tratamiento tres probablemente se deba a que los altos contenidos de nitrógeno en el suelo, proporcionados por los biosólidos, convirtiéndolo en el sustrato ideal para el incremento en la producción de follaje de las gramíneas (Guerra et al 2004).

Según los análisis estadísticos no hubo diferencias significativas entre los valores de índice de diversidad de Shannon Wiener, dominancia de Simpson y equidad de Pielou entre los tratamientos ni el control. La similitud de resultados de la prueba de análisis de varianza de estos factores es coherente, pues estos índices se relacionan entre sí y dan cuenta de el mismo factor que queremos medir como es la diversidad.

El índice de diversidad de Shannon Wiener es utilizado para estimar la relación entre el número de especies y la proporción de individuos mientras que la equidad de Pielou mide la proporción entre la diversidad observada y la esperada es decir la uniformidad de las especies y finalmente la dominancia de nos dice que probabilidad se tiene de obtener al azar dos individuos de la misma especie (Rangel y Velásquez 1997).

La evaluación de vegetación, incluye la determinación de algunos rasgos característicos de cada especie que se encontró durante la toma de datos; entre estos están la forma de vida, hábito, modo de dispersión, tipo de reproducción e invasibilidad.

La forma de vida más frecuente dentro de las especies fue hemicriptófitas con 68%. Los fanerófitos ocupan el segundo lugar con 7 especies y una sola especie con forma de vida caméfitas. Las especies hemicriptófitas se caracterizan por que sus yemas se encuentran sobre la superficie del suelo. La frecuencia de esta forma de vida probablemente se deba a que esta característica permite proteger a las yemas con el follaje de la misma planta y de esta manera contribuir a la permanencia del individuo hasta su etapa reproductiva (Arias 2005). La mayoría de las especies de las familias Poaceae y Asteraceae, tienen esta forma de vida y, como ya se ha mencionado anteriormente, son las más frecuentes en esta evaluación.

Las siete especies de fanerófitas corresponden al 28% de del total de las especies encontradas. Sus yemas se disponen aproximadamente a unos 25 cm del suelo. Es posible que estas especies se hayan establecido en esta zona porque aunque no son las más resistentes a las condiciones adversas del ambiente son las más comunes en los trópicos donde no hay cambios climáticos extremos (Arias 2005)

La única especie de forma de vida caméfitas fue *Polytrichum* cf. *Commune*. En las plantas caméfitas las yemas crecen por encima de la superficie del suelo y su establecimiento depende básicamente de las condiciones micro climáticas que atenúan los cambios bruscos de temperatura durante el día, es posible que por esta razón, esta forma de vida no se haya presentado durante esta primera etapa de la sucesión (Arias 2005).

En cuanto a los ciclos de vida, la mayoría de las especies que se encontraron en los diferentes tratamientos tienen un ciclo de vida perenne (87%). Este tipo de plantas presenta varias ventajas sobre las anuales, pues presentan un sistema radicular más desarrollado y pueden acceder al agua y a los nutrientes más fácilmente (Cárdenas 2006).

Las plantas anuales son de rápido crecimiento pero necesitan los ambientes adecuados, es decir, requieren de tasas fotosintéticas y de respiración mayores en ambientes adversos con respecto a las perennes además de esto, dependen de la habilidad del establecimiento en cada generación.

En muchos casos las plantas perennes se propagan por rizomas o simplemente esparcen sus semillas debajo de su follaje donde encuentran refugio para su germinación (Cárdenas 2006).

En el estudio de vegetación, el mayor porcentaje de especies son dispersadas por el aire, es decir, anemócoras seguido de las zoocoras, dispersadas por animales. Estos modos de dispersión lo tienen la mayoría de las Poaceas y Asteráceas, les permite viajar y establecerse en zonas más alejadas es probable que esta sea la razón de que estén presentes en todos los tratamientos. Además de esto la presencia de especies arbustivas como *Baccharis latifolia*, *Monnina cf. aestuans* y *Morella parvifolia* indica un flujo de semillas desde las zonas adyacentes, especies que se desarrollan de manera adecuada en sustratos con pocos nutrientes (Arias 2005)

La familia Asteraceae es la más abundante dentro de las angiospermas es posible que su mecanismo de dispersión por anemocoria, su alta capacidad de adaptación y a que la germinación de su semilla se pueda dar de manera superficial sobre el suelo permita que este ampliamente distribuida (Mendoza y Ramírez 2000).

Los dos tipos de reproducción en plantas son sexual y asexual. Según los resultados obtenidos todas las especies presentes en las parcelas experimentales tienen la capacidad de reproducirse de esta forma. Sin embargo las especies de gramíneas utilizan la reproducción asexual como su principal estrategia de propagación (Cárdenas 2006).

Estos organismos clonales son más frecuentes en áreas disturbadas como lo pueden corroborar los resultados ya que esta capacidad de multiplicación les permite generar plantas nuevas a partir de brotes disminuyendo el riesgo de mortalidad de sus descendientes (Cárdenas 2006).

En este caso se presentó una frecuencia de especies nativas (once especies) menor que las exóticas. Dentro de las exóticas seis especies fueron exóticas naturalizadas y seis invasoras. Según Arias (2005) un disturbio favorece la llegada de plantas exóticas, ya que se eliminan barreras físicas como los árboles que impedirían el paso de semillas al bosque tupido, y ambientales como la sombra que evitaría la incidencia de los rayos del sol sobre el suelo para propiciar la germinación.

La minería a cielo abierto, deja las áreas desprovistas de todo tipo de vegetación dejando espacios abiertos en donde se podrían establecer especies. Sin embargo, la pérdida de la capa orgánica del

suelo lleva consigo nutrientes y semillas que potencialmente podrían germinar. Generalmente, las especies exóticas invasoras tienen la capacidad de colonizar estos espacios ya que tienen la posibilidad de germinar en suelos con bajos nutrientes y la dispersión de las semillas en algunos casos se da por androcoria o zoocoria con es el caso de *Taraxacum officinale*, *Ulex europaeus*, *Orthrosanthus chimboracensis*, *Pennisetum clandestinum* y *Holcus lanatus*.

## CONCLUSIONES

- Las familias Asteraceae y Poaceae son las que se encontraron con mayor abundancia, su modo de dispersión y su tipo de reproducción puede que favorezcan este fenómeno.
- Las especies *Baccharis latifolia* y *Pennisetum clandestinum* son las más representativas posiblemente favorecidas por su modo de dispersión y capacidad para colonizar espacios con poca cantidad de nutrientes.
- Los biosólidos son una fuente de nutrientes importante para las especies pioneras, su utilización en proporciones adecuadas es favorable para el aumento de la cobertura vegetal.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Barrera-Cataño J.I. y C. Valdés-López. 2007. Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Universitas Scientiarium* Vol 12 Pp 24
2. Alcaldía Mayor de Bogotá. 2002. Protocolo distrital de restauración ecológica, guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Bogotá. Bogotá D.C.
3. Castro, J. 2005 Estudio preliminar de la aplicación de biosólidos en suelos para el control de erosión y estabilización de taludes. Ingeniero Ambiental. Universidad de los Andes. Bogotá D.C
4. Barrera-Cataño, J.I. Contreras-Rodríguez. Ochoa-Carreño,S.C. Perilla-Castro,N. Garzón-Yepes D.C. Rondón-Camacho (eds.). 2009. Restauración Ecológica de Áreas Degradadas por Minería de Cielo Abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C.
5. Álvarez-Duarte. A y J.I Barrera-Cataño. 2007. Estudio comparativo del ensamblaje de coleópteros en diferentes áreas de la cantera de Soratama, localidad de Usaquén Bogotá. *Universitas Scientiarium* Vol 12 Pp. 47
6. Alcaldía Local de Bogotá D.C. 2006. Los cerros orientales de Bogotá D.C. Patrimonio cultural y ambiental del distrito capital. La región y el país. Plan de Manejo Ambiental Audiencia CAR, Bogotá D.C.
7. Ochoa-Carreño, A y J.I Barrera-Cataño. 2007. Efecto de la aplicación de biosólidos sobre el desarrollo de la vegetación en las primeras etapas sucesionales, en la cantera de Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá. *Universitas Scientiarium* Vol 12 Pp 57
8. Correa, A. 2000. Situación actual de la explotación de canteras en el Distrito Capital. *Revista de Ingeniería e Investigación* Vol 46 Pp. 45- 55
9. Ochoa, A.2006. Efecto de la aplicación de biosólidos, sobre el desarrollo de la vegetación en las primeras etapas sucesionales, en la cantera de Soratama, Localidad de Usaquén, Bogotá, D.C. Trabajo de pregrado , Facultad de Biología Pontificia Universidad Javeriana, 2005, 177p
10. León-Zapata. S, J. Trejos-Rivera, M. Cárdenas-Guzmán, C. Campos-Pinilla. 2007. Comportamiento de los fagos somáticos en mezclas de biosólido y áridos utilizados para la restauración ecológica de la cantera Soratama, Localidad de Usaquén, Bogotá. *Universitas Scientiarium* Vol 12 Pp 99

11. Guaqueme, S. 2007. Efecto de la aplicación de biosólidos, como enmienda orgánica, en la recuperación de un suelo disturbado por actividad extractiva en la cantera de Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá. *Universitas Scientiarum* Vol 12 Pp 85
12. Hammen, T.; Gary, S.; Roselli, L.; Chisacá, M.; Camargo, C. *Et al* . 2008. Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos. Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá D.C.
13. Arias, M. 2005. Caracterización florística y estructural de la vegetación vascular en áreas con diferente condición de abandono en la cantera Soratama, Localidad de Usaquén Distrito Capital. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Pp 117
14. Rangel-Ch, O y Velásquez, A. 1997. Métodos de estudio de la vegetación. Colombia Diversidad Biótica II, Santa Fé de Bogotá D.C
15. Mateasanz, S y Valladeres, F. 2007. Plantas ruderales, una relación milenaria de amor y odio que genera conocimiento, problemas y desafíos. *Ciencia y tecnología* Vol 13. Pp 15-18
16. Raynal, D. y Bazzas, F. 1975. Interference of Winter annuals eith *Ambrosia artemisiifolia* in early sucesional fields. *Ecology*. Vol 56. Pp 35-49
17. Olivares, E, 1999. Nutrientes y metales en *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray Asteraceae. Agroforesteria para la producción animal sostenible. Memorias. Primer congreso latinoamericano de agroforesteria para la producción animal sostenible y VI seminario internacional sobre sistemas agropecuarios sostenibles, Cali Colombia.
18. Rechcigl, J. 1998. Using biosolids to fertilize ryaegrass. *The Florida Cattleman And Livestock Journal*. Vol 14 Pp. 24-31
19. Guerra, P., Luna, M y Barreto,R. 2004. Beneficial use of biosolids as organic fertilizads in arid and semiarid rangelands. *Revista Técnica Pecuaria de México*. Vol 43. Pp. 379-395
20. Martinez-Sanchez, J.Herranz, J. 1999. Importancia de las leguminosas en las primeras etapas de la sucesión vegetal en un pinar quemado de la provincia de Albacete (España). ETS de Ingenieros Agrónomos. Albacete España. Pp. 273-282
21. Miranda, J, Padilla, F y Pugnaire, F. 2004. Sucesión y restauración de ambientes semiáridos. Vol 13. Pp 55-58

22. Ogle, R y Redente.F, 1988. Planta sucesion on surface mined lands in west rangelands. Vol 10. Pp 37-42
23. Cárdenas. G. 2006. Rasgos de de vida de especies en una comunidad vegetal alterada principalmente por pastoreo en un páramo húmedo (Parque Nacional Natural Chingaza). Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Pp 132
24. Mendoza.H y Ramirez. B. 2000. Plantas con flores de la planada: guia ilustrada de familias y géneros. Ed Bon FES social, Instituto de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt Pp 24.
25. Barrera J.I. 2009. Barreras de restablecimiento natural y a la restauración ecológica de áreas afectadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
26. Matteucci S. y Colman. A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaria General de la Organización de los estados americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. 168p.
27. Magurran. A. 1988. Ecological diversity and its measurement. First edition. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, U.S.A. Pp.
28. Moreno. C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manual & tesis SEA. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. Pp 83.
29. Eriksson. O y Jakobsson. A. 1998. Abundance, distribution and life histories of grassland plants: A comparative study of 86 species. The journal of ecology. 86(6): 922 – 933.



Anexo 3. Especies encontradas en la evaluación

**FAMILIA ASTERACEAE**



*Achyrocline sp1.*



*Baccharis latifolia*



*Bidens aff rubrifolia*



*Hypochoeris radicata*



*Taraxacum officinale*



*Achyrocline sp2.*

**FAMILIA FABACEAE**



*Ulex europaeus*

**FAMILIA IRIDACEAE**



*Crocsmia cf. croscomiflora*



*Orthroxanthus chimboracense*

**FAMILIA JUNCACEAE**



*Juncus effusus*

**FAMILIA LORANTHACEAE**



*Gaillardendron punctatum*

**FAMILIA MYRICACEAE**



*Morella parvifolia*

**FAMILIA POLYGALACEAE**



*Monnina cf. aestuans*

FAMILIA POACEAE



*Poaceae indet*



*Anthoxanthum odoratum*



*Holcus lanatus*



*Pennisetum clandestinum*



*Stipa ichu*

**FAMILIA POLYGONACEAE**



*Rumex acetosella*

**FAMILIA POLYTRICHACEAE**



*Polytrichum cf. juniperinum*

**FAMILIA RUBEACEAE**



*Galium hippocarpium*

