



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE BIOSÓLIDOS Y ESTÉRILES
SOBRE LAS PRIMERAS ETAPAS DE LA SUCESIÓN EN LA ANTIGUA ARENERA
JUAN REY, BOGOTÁ- DC.**

NICOLÁS ANDRÉS ROZO TORRES

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES
CARRERA DE ECOLOGÍA
BOGOTÁ, D.C.
2007**



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE BIOSÓLIDOS Y ESTÉRILES
SOBRE LAS PRIMERAS ETAPAS DE LA SUCESIÓN EN LA ANTIGUA ARENERA**

JUAN REY BOGOTA- DC.

CONVENIO 017/2003 DAMA-PUJ

NICOLÁS ANDRÉS ROZO TORRES

Investigación realizada para obtener el título de Ecólogo

DIRECTOR

JOSÉ IGNACIO BARRERA C.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES

FACULTAD DE ECOLOGÍA

BOGOTÁ, D.C.

2007

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE BIOSÓLIDOS Y ESTÉRILES
SOBRE LAS PRIMERAS ETAPAS DE LA SUCESIÓN EN LA ANTIGUA ARENERA
JUAN REY BOGOTA- DC.**

NOTA DE ACEPTACIÓN

JOSÉ IGNACIO BARRERA.
Director Carrera de Ecología

JURADO

JURADO

NOTA DE ADVERTENCIA

“La universidad no hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajo de tesis. Solo velara porque no se publiquen nada contrario al dogma y la moral católica y porque la tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellos el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

Artículo 23 de la Resolución No 13 de Julio de 1946: “La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en tesis de grado”.

AGRADECIMIENTOS

- A José Ignacio Barrera por la dirección de este trabajo el apoyo y colaboración.
- A mi mamá, tías y abuela por su apoyo en todos estos años.
- Al Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA) y al convenio 017 con la Universidad Javeriana por su financiación, y en especial a la doctora Sandra Montoya por su paciencia.
- A los amigos y personas que me colaboraron con su compañía y apoyo incondicional.
- A Eliana Martínez Pachón por su ayuda estadística.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	2
2.1 Antecedentes internacionales	2
2.2 Antecedentes a nivel nacional	3
2.3 Los disturbios en los ecosistemas	4
2.4 Canteras a cielo abierto	6
a.) Explotación de canteras y efectos generales	7
b.) Efectos de la explotación de canteras en el Distrito Capital	7
2.5 Marco legal de las explotaciones a cielo abierto en Colombia	8
2.6 La sucesión vegetal	10
2.7 La restauración como herramienta para el restablecimiento de los ecosistemas	12
2.8 Enmiendas orgánicas	13
2.8.1 Beneficios de la materia orgánica	14
2.9 Los biosólidos	14
2.9.1 Características de los biosólidos en la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre	16
a). Características físicas	16
b). Características químicas de los biosólidos.	16
3. MARCO DE REFERENCIA	17
3.1 Localización del área de estudio	17
3.2 Geomorfología	19
3.3 Suelo	20
3.4 Clima	21
3.5 Demografía	22
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	22
5. JUSTIFICACIÓN	23
6. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	24

7. HIPOTESIS	24
8. OBJETIVOS	24
8.1 OBJETIVO GENERAL	24
8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
9. MATERIALES Y MÉTODOS	25
9.1 FASE I: Diseño experimental	25
9.2 FASE II: Montaje de experimento	26
a.) Preparación del área experimental	26
b.) Punto de acopio y preparación de mezclas	28
c.) Colocación de los tratamientos en las parcelas.	29
9.3 FASE III. Toma de datos	29
9.4 Toma de muestras de estériles y biosólidos en el lugar del experimento	31
9.5 Toma de las muestras en los diferentes tratamientos para la caracterización fisicoquímica.	31
10. ANÁLISIS DE DATOS	32
10.1 Descripción de la vegetación	32
10.2 Análisis de Diversidad	32
a.) Riqueza específica (S)	32
b.) Índice de Shannon	32
c.) Análisis Estadístico.	33
11. RESULTADOS	33
11.1 Composición florística	33
11.2 Cobertura vegetal	36
a.) Porcentaje de cobertura por especie	37
11.3 Altura de la vegetación	41
11.4 Análisis de Riqueza	42
a.) Valores de riqueza para cada tratamiento en los diferentes muestreos.	42
11.5 Diversidad	43
a.) Índice de Shannon para cada tratamiento.	43
11.6 Caracterización de los biosólidos en el momento a los tres meses de iniciado el experimento.	45
12. DISCUSIÓN	46

13. CONCLUSIONES	54
14. RECOMENDACIONES	55
15. LITERATURA CITADA	56
16. ANEXOS	65

Tabla 1. Categorías propuestas para caracterizar los disturbios.	5
Tabla 2. Clasificación de las canteras	6
Tabla 3. Evolución del marco legal de la minería en Colombia	10
Tabla 4. Valores de las concentraciones de metales pesados en los biosólidos de la pta salitre, y los valores establecidos por la agencia ambiental de los Estados Unidos (EPA).	16
Tabla 5. Características físicas de los biosólidos de la pta salitre:	16
Tabla 6. Características químicas de los biosólidos de la pta salitre:	17
Tabla 7. Periodos de muestreo	30
Tabla 8. Listado de las familias especies y morfotipos hallados en el experimento.	34
Tabla 9. Especies halladas por tratamiento durante el experimento	35
Tabla 10. Comparaciones a posteriori mediante la utilización de los intervalos de confianza de Tukey para los valores de cobertura del tercer muestreo (tiempo 2).	37
Tabla 11. Matriz de comparación de la prueba Tukey para el factor tiempo en la variable diversidad	44
Tabla 12. Promedio y desviaciones estándar del índice de diversidad de Shannon para todos los muestreos	45
Tabla 13. Caracterización físico-química de los biosólidos de la pta salitre y los estériles de la arena Juan Rey.	45
Tabla 14. Caracterización físico-química de los diferentes tratamientos de mezclas de biosólidos y estériles	46
Tabla 15. Coberturas de vegetación encontrada por especie durante el segundo periodo de muestreo	68
Tabla 16. Coberturas de vegetación encontrada por especie durante el tercer periodo de muestreo.	69
Tabla 17. Coberturas de vegetación encontrada por especie durante el cuarto periodo de muestreo.	70
Tabla 18. Valores promedio y desviaciones estándar del porcentaje de cobertura, para cada uno de los tratamientos y periodos de muestreo.	71
Tabla 19. Resultados del ANOVA de medidas repetidas de la variable % de Cobertura (transformada Arcoseno (raíz cuadrada)) para las parcelas con diferentes tipos de sustrato.	72
Tabla 20. Valores promedio y desviaciones estándar de la riqueza, para cada uno de los tratamientos y periodos de muestreo.	74
Tabla 21. Resultados del ANOVA de medidas repetidas de la variable riqueza de especies que colonizan las parcelas con diferentes tipos de sustrato.	75
Tabla 22. Comparaciones múltiples – prueba de Tukey para el factor tiempo en la variable riqueza.	75
Tabla 23. Resultados del ANOVA de medidas repetidas de la variable diversidad de especies vegetales que colonizan las parcelas con diferentes tipos de sustrato	78

INDICE DE FIGURAS	12
Figura 1. Modelo de la sucesión natural y asistida (fuente barrera y ríos 2002.)	18
Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Cantera Juan Rey (localidad de San Cristóbal sur) Bogotá Distrito Capital. Adaptado de Google earth. 2007 Europa Technologies, Image NASA.	20
Figura 3. Características geomorfológicas del área adyacente al experimento.	21
Figura 4. Hidrógrama de precipitación de la estación Juan Rey (Fuente: IDEAM, 2006)	26
Figura 5. Distribución de los tratamientos en el área experimental	27
Figura 6. Distribución de las subparcelas en cada una de las parcelas.	27
Figura 7. Área previa a la implementación de las terrazas para los bloques	28
Figura 8. Montaje de las terrazas para la implementación de los bloques	29
Figura 9. Proceso de mezcla de biosólidos y estériles en el área aledaña al sitio del experimento	
Figura 10. Preparación de las diferentes mezclas en el sitio de acopio.	29
Figura 11. Montaje de las parcelas con la mezcla de biosólidos y estériles, realizada una pala mecánica	30
	36
Figura 12. Cuadrícula utilizada para la medición de la cobertura.	
Figura 13. Porcentaje de cobertura por tratamiento a lo largo de los cuatro muestreos	38
Figura 14. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento T1 (1/1)	38
Figura 15. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento T2 (2/1).	39
Figura 16. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento T3 (4/1).	39
Figura 17. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento T4 (8/1).	40
Figura 18. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento T5 (1/0)	40
Figura 19. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento control de estériles.	41
	41
Figura 20. Crecimiento en altura de <i>Sonchus oleraeus</i> durante el tiempo de estudio.	42
Figura 21. Crecimiento longitudinal de <i>Taraxacum officinale</i> durante el tiempo de estudio.	
Figura 22. Crecimiento longitudinal de <i>Holcus lanatus</i> durante el tiempo de estudio.	43
Figura 23. Valores promedio y desviaciones estándar de los valores de riqueza, para cada uno de los tratamientos y periodos de muestreo.	44
Figura 24. Variación del índice de diversidad de Shannon en cada tratamiento para todos los muestreos.	

Figura. 25 (a) Condiciones del sustrato en las subparcelas desprovistas totalmente de vegetación, durante el primer muestreo dos meses después de haber sido construidas las parcelas. (b) Parcelas y subparcelas, tratamiento T5 (biosólidos). (c) Condiciones de suelo desnudo para el tratamiento T3 y las demás parcelas.	66
Figura 26. (a). Colonización de la vegetación en el tratamiento T4 (8/1). (b). Colonización de la vegetación en el tratamiento de T5 (biosólidos), durante el segundo muestreo. (c)Aspecto general de todos los tratamientos durante el segundo muestreo.	67
Figura 27. (a) Porcentaje de cobertura durante el segundo muestreo. (b) Porcentaje de cobertura, tercer muestreo. (c) Porcentaje de cobertura durante el cuarto muestreo.	72
Figura 28. Grafica de cajas y bigotes la cual delimita los números y parámetros de los datos, medianas, distribución datos, error estándar. De los promedios de cobertura en los tiempos de muestreo.	73
Figura 29. (a) Variación de la riqueza en los diferentes tratamientos durante el segundo muestreo. (b) Variación de la riqueza en los diferentes tratamientos durante el tercer segundo muestreo. (c) Variación de la riqueza en los diferentes tratamientos durante el cuarto muestreo.	75
Figura 30. Grafica de cajas y bigotes la cual delimita los números y parámetros de los datos, medianas, distribución datos, error estándar. De los promedios de riqueza en los tiempos de muestreo.	76
Figura 31. (a) Diversidad medida con el índice de Shannon y desviación estándar en el segundo muestreo. (b) Diversidad medida con el índice de Shannon y desviación estándar en el tercer muestreo. (c) Diversidad medida con el índice de Shannon y desviación estándar en el cuarto muestreo.	77
Figura 32. Grafica cajas y bigotes delimita los números parámetro de los datos medianas distribución datos error estándar.	78
Figura 33. a) tiempo cero del experimento noviembre 2005; b) primer muestreo de vegetación, enero 2006; c) segundo muestreo mayo 2006; d) tercer muestreo agosto 2006. e) cuarto enero 2007.	79

INDICE DE ANEXOS	65
	66
Anexo 1. Fotografías del área de estudio en el primer periodo de muestreo	68
Anexo 2. Fotografías del área de estudio en el segundo periodo de muestreo	71
Anexo 3. Cobertura encontrada por especie.	74
Anexo 4. Análisis de cobertura	77
Anexo 5. Análisis de riqueza	79
Anexo 6. Análisis de diversidad	
Anexo 7. Cambio en el tiempo de los diferentes tratamientos	

RESUMEN

La presente investigación evalúa el efecto de la aplicación de estériles y biosólidos en diferentes proporciones sobre el establecimiento de la vegetación pionera, en una cantera de areniscas que ha cesado su actividad extractiva. Se realizó un diseño experimental de bloques completamente aleatorios, en donde se empleó proporciones volumen a volumen de biosólidos y estériles, en diferentes concentraciones; y se valoraron los cambios en la cobertura, riqueza y diversidad de las especies colonizadoras, en cuatro periodos de tiempo durante un año.

Los resultados obtenidos muestran que se presentó un incremento en el número de especies colonizadoras y en la cobertura, para todos los tratamientos con mezcla de biosólidos, frente a las parcelas control. Se determinó que muchas de las especies que colonizaron y se establecieron provinieron de zonas aledañas al área de estudio y muchas de estas tienen características de especies exóticas. En cuanto a la riqueza, se encontró que esta variable disminuyó en el tiempo, ya que valor más bajo se presentó durante el cuarto muestreo; mientras que no se encontraron variaciones significativas en la diversidad hallada entre los tratamientos con biosólidos.

Palabras Claves: Disturbio, sucesión, biosólidos, vegetación y extracción minera.

1. INTRODUCCIÓN

La demanda de materiales para realizar procesos de expansión urbana en la ciudad de Bogotá, a partir de la extracción minera a cielo abierto que emplea muchas técnicas inapropiadas de extracción de materias primas tales como gravas, arenas y arcillas, ha causado la degradación paulatina del entorno, ya que modifica la estructura y función del ecosistema, dificulta o impide la recuperación natural, que con el tiempo se hacen difíciles de reparar, puesto que se requiere de una gran inversión en energía, mano de obra y capital. Adicionalmente, estos procesos de degradación ecosistémica se ven amplificados, en la medida en que interaccionan con otros disturbios como la invasión de especies exóticas e incendios forestales.

En el disturbio ocasionado por las actividades extractivas a los ecosistemas, el suelo es uno de los componentes más afectado, ya que la explotación involucra la remoción total de la materia orgánica, lo que dificulta el establecimiento de diferentes especies vegetales, ya que el sustrato remanente no posee los compuestos esenciales que posibiliten el desarrollo óptimo de las diferentes especies. Así mismo, la ausencia de la vegetación, en el área alterada por las actividades mineras, acarrea efectos negativos, debido a la modificación del ciclo hídrico tales, incremento de la erosivos y por supuesto, la pérdida de nutrientes esenciales.

Con el ánimo de subsanar los procesos de degradación, surge la necesidad de crear estrategias que detengan lo procesos derivados de la desnudez del suelo. Para tal fin, se debe tratar de mantener coberturas vegetales en áreas donde los ecosistemas se encuentran degradados por las actividades extractivas, como es el caso de los cerros orientales del distrito capital, donde la incorporación de los biosólidos a la superficie del área afectada, genere la posibilidad de formar un sustrato, el cual permita el desarrollo de la dinámica sucesional (Alcañíz, 2001).

El presente trabajo evalúa el efecto de la aplicación de diferentes mezclas de biosólidos y estériles en proporciones distintas, como enmienda orgánica, en el proceso de establecimiento, colonización y persistencia de la vegetación en una cantera abandonada. Este proyecto hace parte del convenio 017 celebrado entre el Departamento Administrativo Del Medio Ambiente -DAMA y la Pontificia Universidad Javeriana, que tuvo como objetivo generar herramientas para la utilización de biosólidos como, enmienda orgánica, en la restauración de suelos de canteras.

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes internacionales

Durante las últimas dos décadas, el aumento en la producción de biosólidos ha conllevado a la búsqueda de alternativas para su adecuada disposición final; siendo una de estas la aplicación de dichos materiales como enmienda edáfica.

Sort & Alcaníz (1996) evaluaron la contribución de los biosólidos en el control de la erosión y la rehabilitación del suelo en una cantera de calizas, analizando el efecto de altas dosis de lodos municipales, en la agregación y mantenimiento de la estructura del suelo. Encontraron que existían beneficios, teniendo en cuenta que de biosólidos, hubo una reducción de la erosión, frente a las parcelas de suelos de calizas. Así mismo, Alcaníz y colaboradores (1998), manifestaron que los biosólidos facilitan el crecimiento rápido de la cobertura vegetal, mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, y contribuyen a reducir la erosión, ya que aumentan la capacidad de infiltración y limitan las desgastes por arrastre de sedimentos.

La mayoría de los estudios realizados a nivel mundial con biosólidos, se enfocan en la evaluación de los contenidos de biomasa, agentes patógenos y el efecto de metales pesados sobre la vegetación y el suelo; otros estudios están siendo encausados hacia la restauración de canteras, ya que sus características contribuyen a reducir los efectos negativos consecuentes al periodo de explotación. El manual de utilización de biosólidos como enmienda orgánica en el mejoramiento de suelos degradados producto de la explotación de canteras a cielo abierto, contiene un análisis de los beneficios del uso de biosólidos a partir del aporte de elementos tales como el nitrógeno, fósforo, potasio y micro nutrientes, fundamentales para el desarrollo de las plantas. Este manual también hace referencia a las pautas que se deben tener en cuenta en el uso de los biosólidos, tales como: el tipo de tierras y estériles que se deben utilizar en la preparación de las mezclas para la restauración, partiendo de la base en la que la superficie a restaurar se encuentra (Alcañíz *et al.*, 1998)

Por último, Salgot & Tapias (2005), en su investigación "Aprovechamiento forestal de Fangos de depuradora en sistemas de producción de madera"; combinan la aplicación de lodos de depuradora con riego de agua, en plantaciones forestales de chopos (*populus sp.*), el objetivo de dicho trabajo fue evaluar el comportamiento de los fangos como enmienda y abono orgánico de los chopos y establecer una guía para el manejo de los fangos como enmienda orgánica en las plantaciones de chopos y similares (Moller *et al.*, 2005).

2.2 Antecedentes a nivel nacional

Mora (1999), realizó la descripción, análisis e interpretación de los patrones sucesionales de los parches de vegetación, en la mina del río Tunjuelo al sur de Bogotá. En el estudio se tomaron datos en parcelas 5 X 5 m² en tres puntos con diferentes edades de abandono (18, 36, 120 meses), en estos sitios se hizo un muestreo del número de especies, géneros, familias y formas de crecimiento. Se encontraron 74 especies pertenecientes a 59 géneros y 22 familias botánicas, donde las Poaceas y Asteraceas fueron las más representativas. Adicionalmente, en el sitio de 36 meses de abandono se contó el mayor número de grupos taxonómicos (20 familias, 45 géneros y 53 especies).

En el estudio realizado por Morales y Minervini (2002), se evaluó el porcentaje de mezcla de biosólido y tierra en el restablecimiento de la vegetación. Se montaron 15 parcelas con distintos porcentajes de mezcla de la siguiente manera: 100% tierra, 75% tierra - 25% biosólido, 50% tierra -50% biosólido, 25% tierra - 75% biosólido y 100% biosólido. En las diferentes parcelas fueron sembradas semillas de rábano, pasto Italiano Golf y Perennial Rye Grass, a los cuales, posteriormente se les valoró su crecimiento por un espacio de tiempo de dos meses. Las conclusiones de este trabajo indica que para la revegetalización con gramíneas el porcentaje óptimo es 50% biosólido - 50% tierra.

Otro trabajo que relaciona la proporción de biosólidos con la vegetación es el realizado por Amézquita (2002), que evaluó la eficiencia de los lodos en la restauración y recuperación de suelos de la cantera La Fiscala en la ciudad de Bogotá. El estudio concluyó que el desarrollo de las especies vegetales es directamente proporcional a la dosis de biosólido aplicado.

Pacheco y Patiño (2003), valoraron el efecto de la aplicación de biosólidos generados en la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales –PTAR El Salitre, en el proceso revegetalización del relleno sanitario Doña Juana, buscando establecer el porcentaje óptimo de mezcla en quince parcelas de tierra – biosólido; el trabajo se realizó durante cuatro meses, junto con las caracterizaciones fisicoquímicas y biológicas de la mezcla. Los resultados de esta investigación determinaron que la parcela más eficiente corresponde a la proporción 50% tierra – 50% biosólido, seguido de 25% de tierra – 75% biosólido, además demostraron la modificación de las propiedades del suelo en los contenidos de carbono orgánico, nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico y contenido de humedad; por otro lado se determinó que el biosólido de la PTAR El Salitre cumple con los requerimientos de la norma EPA (Environmental Protection Agency), clasificándose como biosólido clase B, apto para ser usado como cobertura de rellenos sanitarios.

Ochoa (2005), realizó un trabajo en la antigua cantera Soratama en la localidad de Usaquén, en Bogotá; estudió el efecto de la aplicación de biosólidos, sobre el desarrollo de la vegetación en las primeras etapas sucesionales. Para este experimento se utilizaron 12 parcelas de 4.5 X 4.5 m² y se usaron concentraciones de biosólido y estériles de la siguiente forma: ocho partes de estériles por una de biosólido, dos partes de estéril por una de biosólido, un control 100% estéril; adicionalmente, cada tratamiento contó con tres repeticiones. En los resultados encontró que la cobertura era mayor en las parcelas con biosólido que en las parcelas de estériles, además la vegetación mostró un mayor crecimiento en parcelas con porcentaje de biosólido, frente a la parcela control. Finalmente, concluyó que los biosólidos pueden ser usados como enmienda orgánica en la recuperación de suelos degradados por la minería.

Actualmente, se llevan a cabo proyectos piloto desarrollados por diferentes instituciones como el DAMA y la Pontificia Universidad Javeriana, aunando esfuerzos para la recuperación de pasivos ambientales, como el proyecto de restauración ecológica de la cantera Soratama mediante el uso de biosólidos, evaluando el cambio del suelo, de la vegetación y de los microorganismos con el fin de conocer la dinámica sucesional y formular lineamientos técnicos para futuros proyectos de recuperación y restauración de canteras y suelos degradados.

2.3 Los disturbios en los ecosistemas

Los disturbios pueden tener diversos orígenes ya sean de tipo natural como la erupción de un volcán, un terremoto, o de tipo antrópico, como la explotación de canteras y mal uso del suelo. Son eventos que afectan el desarrollo normal de los ecosistemas, modificando la estructura y función de las poblaciones, comunidades y paisajes; destruyendo parcial o totalmente la comunidad vegetal, causando disminución en la biomasa, daño, muerte o desplazamiento a los organismos y generando procesos de heterogeneidad espacial temporal y funcional en el paisaje, (Sousa 1984; Pickett & White 1985; Forman & Godron, 1986; Van Andel & Van der Berg, 1987; Glenn-Lewin & E-van, 1992).

Sousa (1984), Pickett & White (1985) y Glenn-Lewin & E-van (1992), establecen criterios para caracterizar los diferentes disturbios, de acuerdo con el tiempo, el espacio y la magnitud (Tabla 1). La magnitud de un disturbio está referida a el nivel de impacto que puede tener cada disturbio en un ecosistema, de acuerdo con los niveles de organización (individuos, poblaciones, comunidades, paisaje o el mismo ecosistema), (Bazzas, 1996).

Tabla 1. Categorías propuestas para caracterizar los disturbios.

ESPACIO	Distribución espacial o extensión donde se genera el disturbio
MAGNITUD	Intensidad: fuerza física del evento por área y tiempo, y severidad
TIEMPO	Frecuencia: número de eventos, intervalos temporales en donde se presenta un disturbio Tasa de cambio: tiempo entre disturbios

Pickett & White, (1985), argumentan que las comunidades viven en un cambio constante, el cual es causado por condiciones propias del sitio, como los cambios en la humedad, pH y nutrientes, o por condiciones externas como los cambios climáticos fuertes, la erosión y actividades humanas. Las especies se adaptan a estos cambios a partir de los mecanismos biológicos, los cuales determinan que una especie muestre una característica determinada o atributo vital innato durante el proceso de sucesión (Noble & Slatyer, 1980), y son respuesta a las condiciones climáticas, edáficas y las interacciones entre los diferentes organismos.

Así mismo, Bazzaz, (1996) argumenta que los ecosistemas después de un disturbio inician un procesos de recuperación de sus atributos, a través de la sucesión natural, vista como el proceso de reemplazamiento de la vegetación en un tiempo y espacio determinado (Pickett & White, 1985). El recambio de la vegetación depende de los recursos disponibles y las condiciones físicas y químicas del punto donde ocurre el proceso, otro factor que influye en el reemplazamiento de las especies es la competencia que realiza cada especie por un recurso, (Luken, 1990; Glenn-Lewin & E-van, 1992; Bazzaz, 1996).

Según Grime (1989), los efectos de un disturbio sobre la vegetación pueden causar la destrucción parcial o total de este componente del sistema, limitando la producción de biomasa. De la mano con lo anterior, Bazzaz (1996) propone que una perturbación en la oferta de recursos como agua, luz y nutrientes limitan o favorecen la respuesta de las plantas en su desarrollo.

De esta forma, un disturbio es un evento que cambia las condiciones espaciales, al generar variaciones en el patrón normal del ecosistema; dentro estas variaciones se encuentran cambios en la vegetación, estos cambios no solo dependen de las condiciones físicas del medio, sino también de las condiciones bióticas de éste y los diferentes gradientes ambientales (Tansley, 1935; en: Glenn-Lewin & E-van der Maarel, 1992; Bazzaz 1996; Bazzaz & Pickett 1980). Debido a que los disturbios son

eventos discretos que alteran la estructura de las poblaciones, comunidades y ecosistemas, cambiando el medio físico del ambiente y la disponibilidad de los recursos (White & Picket, 1985).

La escala e intensidad de un disturbio en un ecosistema influye en el proceso de sucesión y en las especies que pueden llegar a colonizar, ya sea que provengan de especies sobrevivientes o de especies que llegan a través de la dispersión. Si las condiciones del lugar posterior al disturbio son de escasa materia orgánica, baja fertilidad y sin un banco de semillas, las especies colonizadoras deben tener mecanismos de dispersión altos y ser oportunistas, ya que las condiciones de este medio permiten su éxito, (Gorham, 1979. *en*: Glenn-Lewin & E-van, 1992; Beeby, 1993; Grime, 1989 y Stiling, 1999).

2.4 Canteras a cielo abierto

Las canteras son instalaciones a cielo abierto que comprenden una variedad de formas de explotación o extracción de materiales, los cuales se encuentran en la superficie de la tierra como las arenas, arcillas, gravas y rocas; usados para la construcción de infraestructura tales como vías, centros comerciales, viviendas y principalmente, en el proceso de expansión urbana (Moreno, 2001). El sistema clásico de intervención consiste en la excavación o voladura de las laderas de las montañas los cuales dejan superficies dominadas por paredes de roca (MMA 2003).

Las canteras se pueden clasificar de acuerdo al tipo de explotación, el tipo de materiales y el origen, (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de las canteras

CLASIFICACIÓN DE LAS CANTERAS	
Tipo de aprovechamiento	De laderas, cuando la roca se remueve de las laderas de una montaña. De corte, una vez la roca se extrae de cierta profundidad en el terreno. Canteras Subterráneas.
Tipo de material	Materiales consolidados o roca. Materiales no consolidados como suelos, terrazas aluviales y arcillas
El origen	Canteras de roca o peña (formación consolidada) Canteras aluviales (material de arrastre)

Adaptado de <http://www.angelfire.com/mi/cantera4/>

a.) Explotación de canteras y efectos generales

Las actividades extractivas se realizan básicamente para suplir las necesidades de desarrollo humano, sin embargo, estos procesos generan un notable deterioro ambiental, (Alcañiz & Ortiz, 2001; Correa, 2000). Las técnicas usadas para la extracción de arenas gravas y arcillas dependen de las características geológicas particulares de la zona y de los atributos del material a extraer. Así como la disponibilidad de tecnología; es decir, la forma de explotación, la cual puede ser manual, empleando picas, palas o garlanchas, zarandas manuales, que se utiliza, básicamente en la extracción de materiales mixtos como arenas y arcillas; o de tipo mecánica, que como su nombre lo indica es la que emplea la ayuda de medios mecánicos como maquinas (buldózers), palas mecánicas, topadoras, compresores, cargadores, y taladros, otras máquinas, de extracción y el uso de dinamita. Este tipo de explotación es continua ((PNUD, 2000 & DAMA 2000).

La dimensión de la minería, y el daño ecológico causado por la explotación de material, cambia según las características de los yacimientos y las técnicas utilizadas, su impacto será mayor o menor dependiendo del lugar donde se lleva a cabo la extracción. El disturbio ecológico causado depende siempre de la extracción y del terreno explotado, (Rosenfeld & Clark, 2000). Dentro de los cambios mas sobresalientes generados al medio ambiente por la actividad de las canteras se encuentran, entre otros, la disminución o pérdida total de la flora, lo cual afecta las temperaturas a nivel local, además de generar la pérdida de hábitat; eliminación total del suelo, procesos erosivos, compactación; transformación de la geomorfología del terreno, en los cuales los procesos de extracción originan taludes, algunas veces con gran inestabilidad, modifican el drenaje superficial e incrementan el material particulado que se precipita sobre los cuerpos de agua y la atmósfera.

b.) Efectos de la explotación de canteras en el Distrito Capital

La minería es considerada como de uso transitorio del terreno, por lo tanto después de clausurada la explotación de material se debe acondicionar la zona perturbada, con el fin de restaurarla y devolver los servicios ambientales que esta presta. Sin embargo, la actividad extractiva a cielo abierto, tiene un cambio negativo sobre los ecosistemas en los cuales se desarrolla, ya que generalmente sus efectos son destructivos, pues al despejar las capas superiores del suelo y cubrir los sustratos con otros materiales, se altera la morfología original, la estabilidad estructural, física, química y biológica de todo el sistema, haciendo que la recuperación natural sea un proceso sumamente lento, dependiendo claro está, de la capacidad de resiliencia del ecosistema (Eswaran, 1994. *en*: Szabolcs 1994).

Las alteraciones producto de la explotación minera, dan lugar a una gran variedad de condiciones edáficas e hidroclimáticas locales: cambios en el fotoperíodo, en la humedad del suelo, en la

evapotranspiración, en la luz incidente, así como en la tasa de descomposición de materia orgánica, en la dinámica de los nutrientes, las tasas fotosintéticas y de nodulación; ocasionando la pérdida total de las funciones de los ecosistemas, extendiéndose a otros espacios o componentes físicos del territorio por medio de flujos de materia, energía e información.

La extracción de materiales como grava arenas y arcillas, en algunas zonas suburbanas y periféricas de los Cerros Orientales, ha ocasionado la degradación de estos territorios. El año 2002, dentro del perímetro urbano, fueron registrados ciento cuarenta y cuatro (144) lotes de actividades extractivas a cielo abierto, distribuidas por localidades de la siguiente manera; Usme con 39, Ciudad Bolívar con 33, Rafael Uribe con 30, San Cristóbal con 19, Usaquén con 16, y Tunjuelito con 7 (Delgado & Mejía, 2002). Y según la carta ambiental número 19 de la CAR 2007, en la sabana de bogota existen aproximadamente mil frentes de explotación de materiales de construcción, del cual el 80% presenta un nivel tecnológico bajo y planeación deficiente.

El desarrollo de la actividad extractiva por lo regular, no ha considerado la previsión de un uso futuro del predio utilizado, afectando grandes lotes. Los escasos controles al cumplimiento de los determinantes ambientales del plan de ordenamiento territorial, como son la estructura ecológica principal, la actividad minera, la disposición de residuos y calidad ambiental del paisaje urbano; han dado paso a la invasión, de estas zonas de minería, de asentamientos subnormales, que con el transcurso del tiempo, se han consolidado, aún sin la adecuación geomorfológica respectiva, marginando procesos de planificación territorial en cuanto al uso adecuado del suelo, dificultando por esta vía, el restablecimiento natural de la estructura y el funcionamiento del sistema disturbado.

De acuerdo con esta situación, el DAMA, como entidad encargada de regular el bienestar biofísico del perímetro urbano de Distrito Capital, y en cumplimiento de las resoluciones específicas (81277/93-803/93) expedidas por el Ministerio del Medio Ambiente, exige la presentación de planes de recuperación morfológica y ambiental (PRMAs) a cada uno de las actividades extractivas localizadas en su jurisdicción, a través de la implementación de procesos de recuperación ecológica de las áreas degradadas por actividades mineras, articulándolas funcionalmente al entorno urbano.

2.5 Marco legal de las explotaciones a cielo abierto en Colombia

En Colombia las normas del sector minero están reguladas y enmarcadas dentro del marco ambiental y de ordenamiento territorial, es el caso del Código Nacional de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente (Decreto ley 2811 de 1974); así como el Decreto 2857 de 1981 que establece las normas sobre explotaciones mineras; el cual fue modificado por el Código Nacional de Minas (Ley 685

de 2001), y las leyes promulgadas por el Ministerio del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.

Todas estas normas, dentro de otros aspectos, exigen que quienes quieran realizar actividades de minería obtengan previamente una licencia ambiental de la autoridad competente, para la cual deberán presentar el Estudio De Impacto Ambiental, así como el plan de manejo, conservación y recuperación del área explotada.

Para el Distrito Capital la Ley 99 de 1993, en su Artículo 61, declaró a la Sabana de Bogotá, sus páramos, aguas, valles aledaños, cerros circundantes y sistemas montañosos como parte de la Estructura Ecológica Principal, cuya figura es de interés ecológico nacional, siendo su vocación de uso agropecuaria y forestal. Con el fin de conservar y recuperar los ecosistemas, estas leyes crean el marco regulatorio sobre el que se sientan las bases jurídicas sobre el uso de estos espacios. A partir de esto, se crean las restricciones legales para el sector minero, entre las que se incluyen la explotación de canteras a cielo abierto. Recientemente el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT); expide la Resolución No. 463 del 14 de abril de 2005, por la cual delimita la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, adopta su zonificación reglamentando los usos y estableciendo las determinantes para su ordenamiento y manejo.

Todas estas normas están encaminadas a lograr un uso y manejo racional del recurso minero en Colombia y el Distrito Capital, ya que por las características propias de la explotación se generan fuertes daños sobre la zona explotada y su área de influencia. Básicamente, lo que pretende la legislación, es que estos procesos sean realizados teniendo en cuenta los principios básicos del desarrollo sostenible y la conservación del medio ambiente.

Adicionalmente, se presenta en la tabla 6, la evolución del marco legal en cuanto al tema de canteras y minería en Colombia. Información se tomada de Moreno (2001) y se adaptó para el presente trabajo.

Tabla 3. Evolución del marco legal de la minería en Colombia

LEY/ DECRETO	ASPECTOS
Decreto ley 2811 de 1974	Código nacional de recursos naturales y de protección al medio ambiente.
Artículos 30 y 178 a 193 1974	Código de recursos naturales. De la tierra y de los suelos.
Ley 154 de 1976, Decreto 1715 de 1978	Conservación y protección del paisaje en la zona urbana y zonas verdes
Decreto 1741 de 1978	Áreas de manejo especial
Decreto 2857 de 1981	Normas sobre explotaciones mineras
Decreto 2655 de 1988	Anterior Código de Minas, por vía de excepción consagraba algunas licencias especiales de exploración y de explotación.
La Ley 99 de 1993, Artículo 61	Protección de áreas agroforestales
Resolución 222 de 1994	Establece las zonas compatibles para las explotaciones mineras de materiales para la construcción en el distrito capital
Decreto 1449 de 1997	Vegetación protectora en predios rurales
Resolución 803 de 1999	Prorroga los plazos para la ejecución de los planes de recuperación morfológica y ambiental establecidos por la resolución 1277/96.
Ley 685 de 2001	Código nacional de minas.
Resolución 1197 de 2004	La cual establece las zonas compatibles con la minería para el Distrito Capital.

2.6 La sucesión vegetal

La sucesión vegetal es entendida como el proceso de reemplazamiento de las especies a través del tiempo, en un lugar determinado. La sucesión vegetal pueden ser de tipo primario o secundario. Llamamos sucesiones primarias, a aquellas que ocurren sobre un sustrato recién formado, ya sean rocas o suelos de minas con ausencia de materia orgánica. Estas se caracterizan por no tener un legado biológico vegetal de propágulos y banco de semillas. La sucesión secundaria es aquella donde se interrumpe el desarrollo del ecosistema después de un disturbio y se originan a partir de un suelo establecido con material vegetal persistente en el lugar del evento, como semillas y retoños. (Walken & Chapin, 1987 en Glenn Lewin et al., 1992; Grime, 1989; Stiling, 1999; Beeby, 1993; Bazzaz, 1996).

La sucesión ecológica, retoma las teorías desarrolladas a partir de los distintos modelos sucesionales, propuestos por diferentes autores, como es el caso de Clements (1916), quien define los cambios producidos en los ecosistemas a través de las variaciones en las etapas serales, en el espacio y tiempo. (Nudación, Migración, Ecesis, Competición y Reacción). Otros se enfocan en la importancia de los eventos al azar o estocásticos, que ocurren en el proceso de sucesión; a diferencia de Connell & Slatyer (1977), quienes proponen tres modelos alternativos para explicar los cambios sucesionales, estos incluyen las características de las especies para generar procesos de facilitación, tolerancia e inhibición: i) La **Facilitación** corresponde al modelo de reemplazo florístico de Clements, en el cual unas especies modifican el ambiente y facilitan el establecimiento de especies tardías; ii) en la **Inhibición** las especies tempranas regulan la sucesión, ya que otras especies no pueden persistir ni

establecerse por la presencia de estas; y finalmente la **Tolerancia** hace referencia a persistencia de especies tardías, las cuales no se vieron afectadas por la presencia de especies tempranas y la sucesión resulta de la pérdida de la capacidad de reclutamiento de las especies tempranas y la tolerancia al cambio de condiciones de las especies tardías.

Por otra parte, la sucesión es definida desde el punto de vista temporal como el proceso por el cual las especies se reemplazan unas a otras a través del tiempo y el espacio, esto fue definido por Connell & Slatyer, (1977); Luken 1990; Glenn-lewin & van der Maarel, (1992). Noble & Slatyer (1980), proponen un modelo sucesional cualitativo basado en la capacidad de colonización, competencia de las especies para su desempeño en la sucesión, propiedades individuales, atributos vitales de la supervivencia y reproducción en ecosistemas con presencia de disturbios ya que estos pueden explicar las secuencias de reemplazamiento durante la sucesión, el modelo consiste en:

a) Método de arribo o persistencia de las especies en el sitio durante y después del disturbio, es un modelo análogo al propuesto por Clements, que denominó migración y hace mención sobre los mecanismos de las especies que le permiten dispersarse y persistir en un lugar determinado, estos mecanismos pueden variar de acuerdo a las condiciones del medio y tipo de especie; 2) La capacidad de establecerse y crecer hasta la madurez en la comunidad en desarrollo, teniendo en cuenta las condiciones en las cuales las especies pueden establecerse, ya sea por rebrote o propágulo y desarrollarse completamente. En este punto podemos encontrar dos estados de los cuales las especies pueden iniciar su proceso de establecimiento, el primero ocurre a partir del momento en el que aparece el evento donde la competencia por los recursos es menor, y en el segundo estado, ya existe una competencia por los recursos. Estas condiciones son determinantes para clasificar a las especies en tres grados de tolerancia, en el primero las especies son muy tolerantes a las condiciones del medio, en el segundo están las especies intolerantes a la competencia y en el tercero las especies que demandan de ambientes especiales. 3) Tiempo tomado por las especies en alcanzar estados de vida críticos. Este atributo está unido a los ciclos de vida de las especies y tienen en cuenta los siguientes factores: el tiempo transcurrido después del disturbio en el que las especies alcanzan la madurez reproductiva; tiempo de vida de las especies presentes en comunidades no disturbadas, y el tiempo que toman en desaparecerse los propágulos locales.

La visión contemporánea de los cambios de la vegetación puede ser concebida como una visión “dinámica” o “cinética” en la cual no hay una premisa de estabilidad a largo plazo o de existencia de un punto final en la sucesión (Drury & Nisbet, 1973). Además se incorporan los disturbios como un factor de gran importancia y se acepta el cambio continuo de la vegetación (Picket & White, 1985).

El modelo propuesto por Pickett (1987), se basa en los mecanismos que actúan en los cambios de vegetación como es la disponibilidad de especies en el sitio y de funcionamiento en unas condiciones particulares; categoriza la sucesión en causas generales, procesos contribuyentes, situaciones particulares, ocurrencia de causas generales y factores modificantes, en el caso particular de los disturbios (Barrera & Ríos, 2002).

En la figura 1, se puede observar como a través del tiempo la sucesión natural es más lenta, frente a la sucesión asistida y como la sucesión asistida alcanza más rápido un estado homeostático, aumentando su capacidad de resiliencia, que se traduce en una mayor estabilidad en cuanto a la estructura y función propia del sistema.

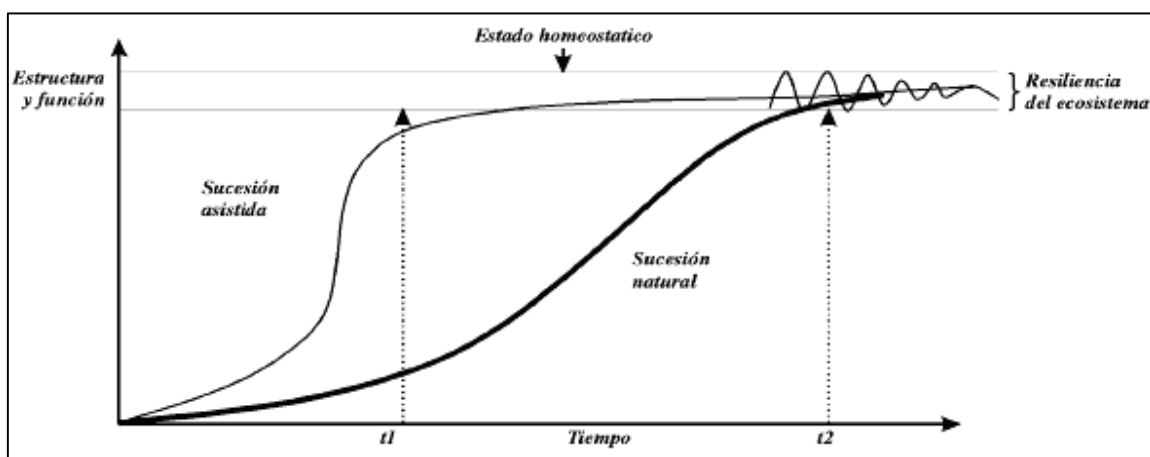


Figura 1. Modelo de la sucesión natural y asistida (fuente Barrera y Ríos 2002.)

En la medida que se incrementan las condiciones estructurales y funcionales de un ecosistema, se incrementan la resiliencia, de esta forma, la sucesión asistida acelera los procesos de regulación propia del ecosistema (figura 1).

2.7 La restauración como herramienta para el restablecimiento de los ecosistemas

La restauración ecológica nace de la necesidad de recobrar los atributos perdidos en términos de la estructura y función de los ecosistemas transformados por un disturbio, fundamentándose en el análisis, la interpretación y el estudio del ecosistema predisturbio, que realizan los ecólogos especializados en la ecología de la restauración, buscando un manejo estratégico, para revertir las consecuencias negativas de un ecosistema degradado (Barrera & Ríos, 2002; Clewel, 1993). La SER¹

³ Siglas en Inglés de la Sociedad Internacional de Ecología de la Restauración. "Society for Ecological Restoration International"

(2004), define la restauración ecológica como un proceso asistido para la recuperación de los ecosistemas que han sido dañados, degradados y destruidos; además, la restauración ecológica esta ligada a su base científica, es decir a la ecología de la restauración, que se encarga de analizar e interpreta los fenómenos que ocurren durante el restablecimiento de las áreas disturbadas.

El concepto de restauración ecológica esta fundamentado en los principios de la sucesión ecológica, los cuales consiste en el reemplazamiento de las poblaciones y comunidades a través del tiempo, tendiendo hacia un incremento en la cantidad de biomasa producida por el ecosistema, mayor estabilidad y mejor regulación de las condiciones físicas y biológicas, pero la acción intencional y constructiva del hombre; aumentando de esta forma los cambios con relación al tiempo de desarrollo (sucesión asistida). La restauración ecológica juega un papel fundamental no solo como una técnica de recuperación de los atributos naturales y escenarios físicos, sino también, como un método de investigación en ecología, que permite revertir los efectos negativos del uso inadecuado del suelo, devolviendo la estructura y funcionalidad perdidas y degradadas durante los procesos de aprovechamiento (Barrera & Ríos, 2002 y Clewel, 1993).

Los objetivos de la restauración ecológica fijan sus propuestas en los siguientes efectos: i) inducir transformaciones físicas y químicas de los suelos en apoyo de las tendencias generales de la sucesión vegetal de acuerdo a la oferta ambiental de las diferentes zonas; ii) propiciar la formación de hábitat apropiados para el desarrollo de especies de flora y fauna, y iii) generar paisajes aceptables desde el punto de vista estético, restableciendo una cubierta vegetal que garantice el funcionamiento dinámico de los ecosistemas.

De la mano con lo anterior, la restauración ecológica de canteras es una tarea necesaria, ya que los impactos medioambientales de las actividades extractivas son severos y su regeneración natural es un proceso lento; todo lo anterior se agrava en los casos donde los daños ocasionados y las condiciones del medio tales como fertilidad, aportes de nutrientes, vientos, temperatura, radiación solar, precipitación, son limitantes para que el ecosistema recobre sus diferentes estructura, composición y función original (Sort *et al*, 1996 & Bradshaw, 1997).

2.8 Enmiendas orgánicas

Las enmiendas orgánicas son aportes de materia sobre los suelos empobrecidos o degradados; estos productos tienen características que modifican las condiciones físicas y químicas de los suelos, teniendo en cuenta que poseen diversos tipos de nutrientes. Las enmiendas pueden tener diversos orígenes ya sea animal, vegetal o de procesos mecánicos; la materia empleada pueden ser humus, biosólidos, tierra, turbas o estiércol. Estos productos tienen gran influencia sobre las propiedades

físicas del suelo, ya que la materia orgánica sirve de aglutinante para las arcillas, facilitando su aglomeración y estructuración, de modo tal que los poros presentes en los espacios libres permiten el intercambio de gases, mejorando la retención y el drenaje del agua, lo que produce una reducción de la densidad aparente y optimiza la conductividad hidráulica, infiltración y retención de agua (Castillo *et al.*, 2004).

2.8.1 Beneficios de la materia orgánica

Las principales necesidades del uso de enmiendas orgánicas, se debe a la disminución de materia orgánica del suelo y a la transformación de la estructura, ya que la fertilidad y el riesgo de la erosión se relacionan con la disminución o destrucción del potencial biológico del suelo (García, 2001).

Se emplea como un elemento que permite mejorar la fertilidad de los suelos degradados, a partir de los beneficios anteriormente mencionados; así como la aceleración de la actividad microbiana, que incrementa los niveles de materia orgánica, siempre y cuando esta materia sea considerada joven y en capacidad de activar la vida de los organismos que pueden existir en el suelo (Campos 2005. En Moller *et al* 2005).

La pérdida o ganancia de la materia orgánica resulta en un aumento o disminución de la productividad del ecosistema (Tate, 1987). El detrimento de la materia orgánica del suelo es directamente proporcional a la disminución de la fertilidad. Adicionalmente, la transformación de la estructura propia de cada suelo aumenta el riesgo a la erosión y se relaciona directamente con la disminución o destrucción del potencial biótico, (García, 2001). Un método para revertir estas consecuencias y aumentar la calidad de los suelos es la adición de materia orgánica, la cual mejora la estabilidad de los agregados del suelo y la estructura del mismo, aumenta su porosidad y capacidad de retención hídrica y favorece el intercambio de gases; la capacidad exploratoria de las raíces, el intercambio catiónico y la fijación de nutrientes, manteniéndolos por más tiempo y conformando el desarrollo de la flora microbiana (García, 2001)

2.9 Los biosólidos

Los biosólidos son el producto remanente, líquido, sólido o semisólido, originado después de un proceso mecánico biológico de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de las aguas residuales. La estabilización se realiza para reducir el nivel de patógenos, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores. Gracias a este proceso, el biosólido tiene aptitud para una utilización ya sea de tipo agrícola, forestal o para la restauración de suelos degradados (Daguer, 2003).

Los lodos de depuradora de aguas residuales o biosólidos están constituidos por partículas minerales finas y una cantidad significativa de materia orgánica, estas fracciones constituyentes son claves para el mejoramiento de los suelos degradados, por esta razón se consideran materiales importantes en la restauración de suelos de canteras (Alcañiz, 2001). Así mismo, Tate, (1987), Munshower, (1994); Hernández, (1996;) Bradshaw; (1997); Alcañiz *et al*, (1998); Salamanca & Camargo 2002, argumentan que las enmiendas orgánicas edáficas, son un complemento a la superficie del suelo que mejora las cualidades físicas y químicas de estos, ya que los suelos que pasan por diferentes procesos de degradación tienen como consecuencia la disminución de sus nutrientes y su fertilidad, generando efectos nocivos en el desarrollo de la vegetación. Es por esto que se hace necesario el uso de enmiendas edáficas, que mejoren el sustrato facilitando el crecimiento de la de las comunidades vegetales.

La aplicación de biosólidos promueve el incremento en el tamaño de los poros del suelo, mejorando el intercambio de gases, y la reestructuración de las condiciones físicas afectadas del suelo, puesto que los lodos unen las partículas de los suelos en agregados estables produciendo una estructura que facilita la permeabilidad del agua y el aire, reduciendo la escorrentía y los riesgos de erosión (Kladivko & Nelson, 1979; Pagliai *et al.*, 1981; *en*: Sort & Alcañiz. 1998).

En síntesis, los biosólidos mejoran las propiedades estructurales del suelo, porque une las partículas en agregados estables, originando una estructura que facilita la permeabilidad del agua y el aire, lo cual reduce la escorrentía y los riesgos de erosión. De esta forma, dependiendo del origen y las características de los biosólidos, pueden aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos, modifican la micro porosidad de los suelos en poco tiempo, luego de su aplicación, ya que hay un reacondicionamiento de los compartimentos del suelo, ayudando con esto al desarrollo de macro agregados. (Kladivko & Nelson, 1979; Pagliai *et al.*, 1981; Clapp *et al.*, 1986. *en*: Sort & Alcañiz. 1999).

2.9.1 Características de los biosólidos en la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre

Dentro de las características que presentan los biosólidos de esta planta, se halla una baja concentración de metales pesados, cuyos valores están por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por las principales regulaciones internacionales como es la agencia ambiental de los Estados Unidos (EPA) en la norma 503-13. En la (tabla 4), se exponen las concentraciones de metales pesados de la PTAR Salitre.

Tabla 4. Valores de las concentraciones de metales pesados en los biosólidos de la PTAR Salitre, y los valores establecidos por la agencia ambiental de los Estados Unidos (EPA).

Parámetro (mg/kg) Base seca	Promedio	Rango Colombia	Límites máximos para compost (RAS 98)	Límites máximos permisibles(EPA 503-13)	Norma EPA 40CFR-503 Buena calidad
Arsénico	0.4	0.4 - 0.6	54	75	41
Cadmio	4.7	0.4 – 4.7	18	85	39
Cobre	140	61 – 446	1200	4300	1500
Cromo	60	59 – 2693	1200		
Mercurio	1.4	<0.01–1.7	5	57	17
Níquel	36.1	33 – 137	180	420	420
Plomo	114	36 – 114	300	840	300
Selenio	0.2	0.04 – 0.9	14	100	100
Zinc	1027	482- 1587	1800	7500	2800

Fuente: Daguer 2003. BAS, (2002-2003)

a). Características físicas

Las características físicas de los biosólidos son aquellas que definen y permiten establecer su utilización final para diferentes propósitos (tabla 5).

Tabla 5. Características físicas de los biosólidos de la PTAR El Salitre:

Parámetro	Descripción
Consistencia	Masa pastosa tipo plastilina semisólida blanda.
Apariencia	Tierra negra pastosa
Materia seca	33%
Humedad	66.6%

Fuente: BAS, (2002)

b). Características químicas de los biosólidos.

Están basadas en los parámetros estipulados por la agencia ambiental de los Estados Unidos (EPA), se sustenta en la cantidad de nutrientes fundamentales para las plantas (tabla, 6)

Tabla 6. Características químicas de los biosólidos de la PTAR El Salitre:

Parámetro	Unidad	Valor
Calcio	(meq/100g)	29.9
Carbono orgánico	(%)	9.8
CIC	(meq/100g)	38.9
Fósforo	(mg/kg)	31.945
Magnesio	(meq/100g)	1.7
Nitratos	(mg/kg)	413
Nitritos	(mg/kg)	5
Nitrógeno orgánico	(mg/kg)	15.500
Nitrógeno total	(mg/kg)	20.131
pH	Unidades	7.84
Potasio	(meq/100g)	0.82
Sodio	(meq/100g)	0.74
Sólidos totales	(mg/kg)	342.699
Sólidos volátiles	(mg/kg)	167.660

Fuente: BAS, (2003)

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Localización del área de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la localidad de San Cristóbal, en la parte sur oriental de la ciudad de Bogotá D.C. y hace parte del Parque Ecológico Distrital de Montaña Entrenubes. Consecuentemente se localiza en un enclave sobre el ramal de la cordillera Oriental, al sur del departamento de Cundinamarca y cruza los páramos del Sumapáz, Alto de Roquita, Pisa y Frutita. Enmarcado en la plancha 224 N C-2 a escala 1-10.000 e identificado con el número predial 000-0053 (IGAC); se localiza en la calle 74 Sur entre carreras 12 y 11C Éste, barrio Juan Rey. Comprende un área aproximada de cinco hectáreas (figura 2).

El espacio físico considerado, para hacer el estudio de investigación, esta entre los 2800 y los 3200 m.s.n.m. Esta zona de los Cerros Orientales, conforma un escenario rural fuertemente perturbado debido a su cercanía a la ciudad y aunque corresponden a zonas de reserva forestal protectora de carácter nacional, declarados como tal por resolución 76 de 1977 (Páramo, 2003), se registra

activamente la explotación de materiales a cielo abierto entre los que se encuentran (gravas, arcillas, piedras para machaquear entre otras, (Delgado & Mejía, 2002). (Figura 2)

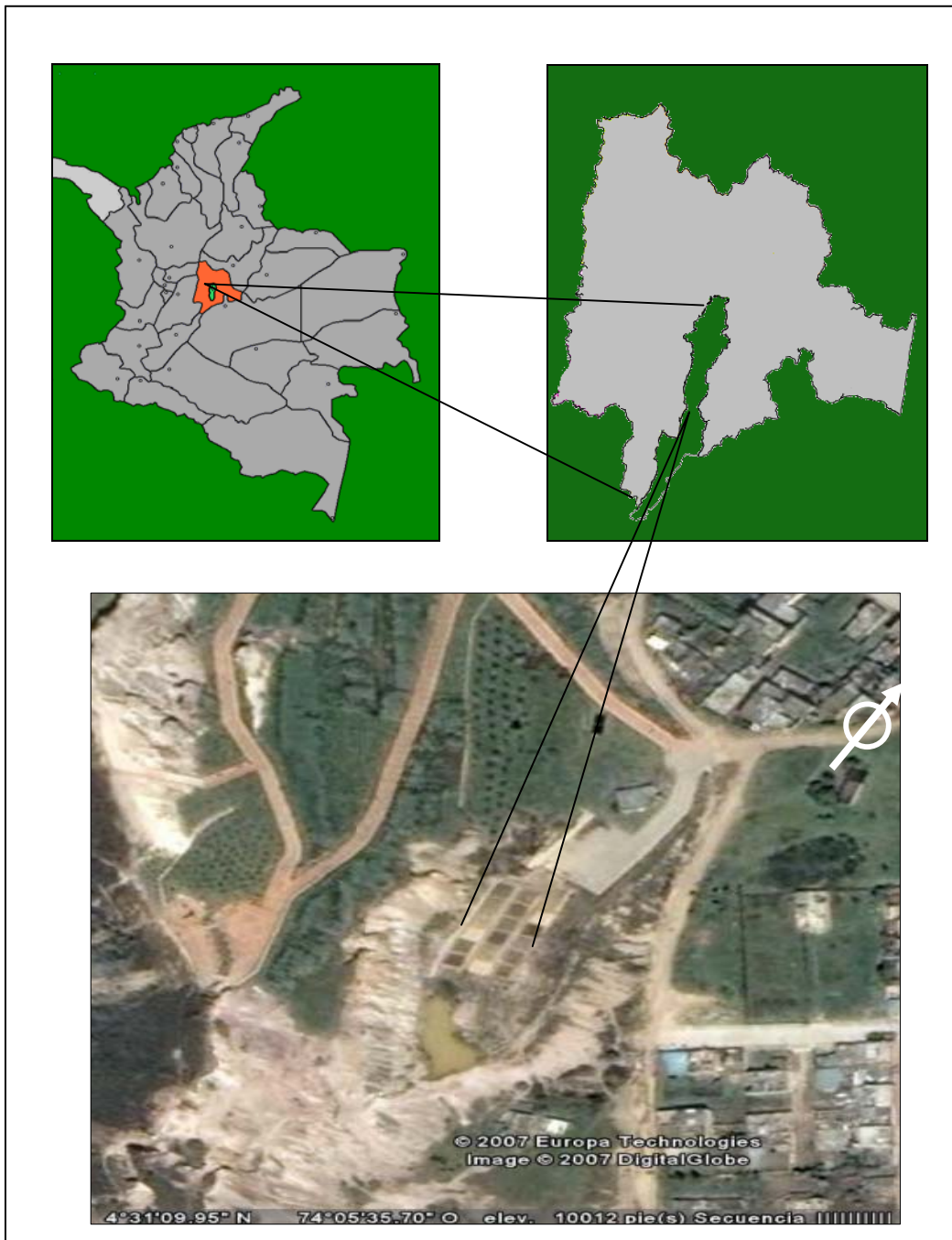


Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Cantera Juan Rey (localidad de San Cristóbal sur) Bogotá Distrito Capital. Adaptado de Google earth. 2007 Europa Technologies, Image NASA.

3.2 Geomorfología

En general la geología de la zona de estudio es bastante simple en su petrografía y estructura, presenta una litología básicamente conformada por vulcanitas del Triácico, Jurásico y pequeños cuerpos de composición máfica del Cretácico inferior, los cuales comprenden las formaciones Guadalupe, Guaduas, Bogotá y Chipaque. Los materiales predominantes han dado origen a suelos de texturas finas, medias y gruesas (Correa, 2000).

Predominan los shales negros carbonosos fosilíferos seguidos de cuarzo arenitas y posteriormente las calizas, igualmente con frecuencia fosilíferas. Dichas rocas, se encuentran cubiertas, por una variedad de rocas terciarias continentales donde predominan las lodositas de variados colores y en menor proporción arenitas y conglomerados. El tipo de falla frecuente es la de cabalgamiento

Actualmente estos relieves son moldeados por la escorrentía y la acción antrópica. Según la información consultada, en esta zona aflora la Formación Regadera definida por Hubach (1957). El área se caracteriza por la presencia de caños lo cual conforma una red con buen drenaje (DAMA, 2003).

“La Localidad ocupa terrenos comprendidos entre una altitud cercana a los 2.600 m.s.n.m en la parte más baja, y los 3.200 m.s.n.m en la más alta. Su formación geológica comprende una porción menor de sedimentos lacustre del altiplano andino, y una porción mayor de areniscas y arcillas deslizadas sobre el altiplano, las cuales se encuentran en diferente grado de compactación, dando lugar a estructuras sólidas y materiales en proceso de ajuste y remoción. Esta dinámica hace parte de los procesos de ajuste orogénico que permitieron el levantamiento de Los Andes y que aún se presentan en la actualidad” (Alcaldía Mayor de Bogota, IDCT, 2006).

En la arenera del Cerro de Juan Rey aflora la formación Regadera, sin embargo se encuentra muy cerca del contacto con la Formación Bogotá; estas rocas han sido explotadas en el pasado reciente como materiales pétreos para construcción debido al predominio de arenitas que presenta esta formación geológica. Los afloramientos rocosos, se encuentran parcialmente cubiertos por depósitos y rellenos de escombros de explotación producto de la actividad extractiva, lo que forma bloques y gravas de arenita en medio de una matriz areno-arcillosa o areno-limosa (DAMA, 2003). Debido al predominio de rocas competentes y resistentes a los procesos denudativos (arenitas).

La erosión en surcos y cárcavas representa el principal proceso morfodinámico de la zona de estudio, éste fenómeno se presenta tanto en los taludes rocosos y los rellenos Cuaternarios, debido a la

ausencia de obras de drenaje que conduzcan el agua de escorrentía. Adicionalmente, por tratarse de una cantera abandonada no hay un sistema de revegetalización que proteja los taludes de la acción del agua lluvia, así mismo la pendiente del terreno y la fuerte actividad eólica favorecen la formación de cárcavas profundas que en ocasiones alcanzan los 2.5 m de profundidad (DAMA, 2003).

Actualmente la morfología está definida por taludes rocosos de pendiente fuerte y bermas de la antigua explotación de material, y por varios botaderos que han modificado notablemente el paisaje, el cual estaba conformado por laderas rocosas, con pendiente estructural de inclinación moderada (DAMA, 2003). En algunos sectores de la Arenera, los materiales que conforman el depósito de escombros presentan taludes potencialmente inestables debido a la baja densidad y a la alta pendiente (Figura 3).



Figura 3. Características geomorfológicas del área adyacente al experimento.

3.3 Suelo

En general, los suelos del área estudiada son jóvenes, ácidos y están localizados en laderas estructurales con disección severa y erosión evidente. Todos retienen humedad; sin embargo, los suelos cercanos a la base de ladera tienen los valores más elevados. Son derivados de cenizas volcánicas, que de acuerdo con la clasificación taxonómica del Soil Survey Staff en Malagón *et al.*, (1995), corresponden al orden de los Andisoles presentando características físicas, químicas y morfológicas relativamente homogéneas siendo de textura franco arenoso y de estructura granular.

El contenido de materia orgánica está entre 10 % y 17%, la relación C/N 20. Estos suelos son de ácidos a moderadamente ácidos, con PH entre 4.7 y 5.8. La capacidad de intercambio (CIC) es alta gracias a la presencia de Alófana. Son susceptibles a erosión, con buen drenaje interno y externo. (Malagón *et al.*, 1995).

3.4 Clima

Por encontrarse en la región ecuatorial, el clima es relativamente homogéneo y se caracteriza por la intensa radiación solar durante todo el año. Va desde muy frío y húmedo en época de invierno hasta frío y seco en época de verano. Por la altura sobre el nivel mar (2600m) se registran temperaturas anuales medias entre los 4 y 15°C. Adicionalmente, se presentan dos periodos de lluvias anuales de: abril a junio con 34% a 36%, y de octubre a noviembre con un 27%. En el periodo más seco corresponde a los meses de diciembre a marzo, y se presentan entre el 18% y 20% de las lluvias.

El régimen pluviométrico se basa en un comportamiento monomodal, propio de las zonas altas de la sabana de Bogotá, principalmente en las zonas centro y sur de la cadena de cerros orientales, donde la precipitación media anual está sobre los 580 y 590mm año, a 2800 m.s.n.m. (Correa, 2000). (Figura 4.)

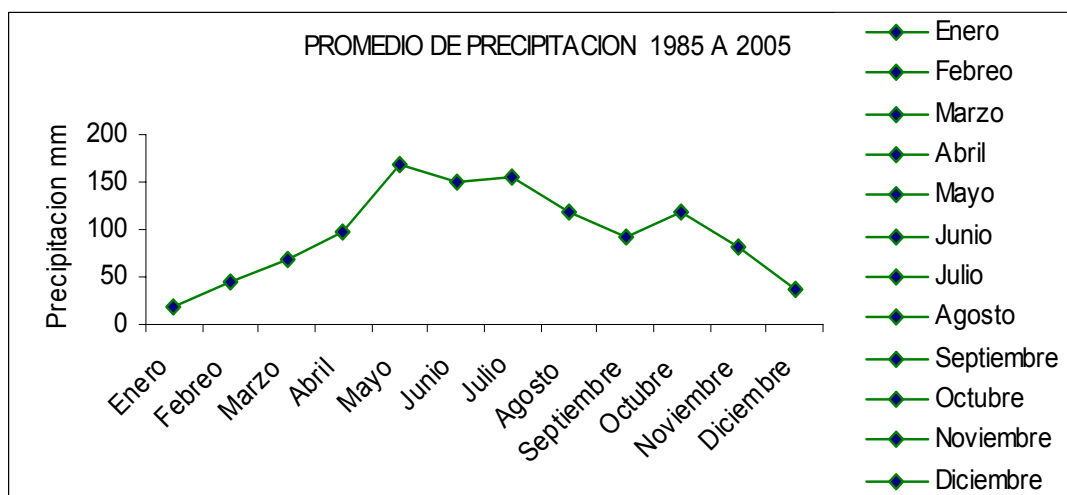


Figura 4. Hidrógrama de precipitación de la estación Juan Rey (Fuente: IDEAM, 2006)

De acuerdo con el nivel altitudinal, en el sitio se encuentra la siguiente distribución de pisos bioclimáticos (DAMA).

- Piso bioclimático andino entre 2600 y 3100 m.s.n.m. con una subdivisión importante que es el piso alto andino entre 2800 y 3100 m.
- Piso bioclimático de páramo entre 3100 y 3800 m.s.n.m. que en el lugar corresponde al subpáramo entre 3100 y 3400 m; el páramo propiamente dicho entre 3400 y 3800 m no está representado.

3.5 Demografía

Según cifras de la Encuesta de Calidad de Vida en Junio de 2003 efectuada por el DANE y el Departamento Administrativo de Planeación Distrital se estima para la localidad de San Cristóbal una población de 488.407 habitantes siendo la séptima localidad más poblada y la segunda con mayor densidad poblacional en el Distrito Capital. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006).

En San Cristóbal se conforman tres sectores diferenciados, la parte baja donde se encuentran barrios con mejores condiciones físicas y de acceso. En la parte media, donde está ubicado el 70% de los barrios y su principal característica es el uso residencial y comercial intensivo, así como la concentración de barrios de estrato 1 y 2; y el tercer sector, que se ubica en la parte alta; zona que afronta difíciles condiciones en cuanto a la calidad de vida de sus habitantes que son predominantemente de estrato 1. La población en estratos 0, 1 y 2, según la clasificación por unidades de planeación zonal para el año 2000, representaba el 83% de total de habitantes de la localidad de San Cristóbal (DAMA).

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los Cerros Orientales han presentado y presentan gran variedad de intervenciones antrópicas que han alterado los componentes bióticos y abióticos del sistema. Según el DAMA (2004), la industria extractiva, ha resultado ser una de las actividades más perjudiciales a nivel local, teniendo en cuenta que las técnicas empleadas generan daños en la estructura, composición y función de los ecosistemas, dificultando el establecimiento de la vegetación, ya que se instauran los sustratos rocosos, limitando el crecimiento de las comunidades vegetales, hasta el punto en que la colonización de estas áreas solo la realizan aquellas especies resistentes a condiciones adversas y con mejores mecanismos para competir frente a otras.

Todos estos procesos de alteración ecosistémica, junto con la falta de planeación de la explotación, acentúan procesos como la erosión, los desprendimientos y deslizamientos de tierra, que dificultan la regeneración natural y ponen en peligro la vida de las personas que habitan estos lugares.

Adicionalmente, la ciudad de Bogotá esta produciendo alrededor de 150 toneladas diarias de biosólidos provenientes de la PTAR Salitre; esto es un problema para la ciudad, en lo que concierne a su disposición final. En la actualidad los biosólidos están siendo llevados al relleno sanitario de Doña Juana, pero en la medida que aumenta la generación, el espacio para la disposición se reduce, creando la necesidad de generar nuevas alternativas de uso.

5. JUSTIFICACIÓN

Debido a su gran importancia ambiental los Cerros Orientales de Bogotá fueron declarados por el INDERENA, Reserva Forestal Protectora el año de 1977, por otra parte forman una barrera natural sobre los procesos de urbanización de la ciudad en su costado oriental y presentan innumerables hábitats para la flora y fauna nativa. Igualmente, hacen parte del sistema regulador del clima, ya que influyen en el control de la dirección e intensidad de los vientos y en los niveles de precipitación. Además estos cerros, son la base del sistema hídrico de la ciudad, teniendo en cuenta que en ellos nacen quebradas y corrientes superficiales de agua, que unidas dan lugar a importantes afluentes del río Bogotá, (Márquez, 1996).

Sin embargo, los cerros orientales a través de la historia han sido sometidos a diferentes tipos de disturbio como consecuencia de las actividades humanas, una de estas es la explotación de canteras para la extracción de arenas, gravas y arcillas para la construcción. Estos procesos han alterado las condiciones naturales de sus ecosistemas, lo que a su vez ha generado variación de los flujos de materia – energía de sus ecosistemas, y dificultad en el proceso de restablecimiento.

La pérdida total del suelo hace que el recubrimiento vegetal sea muy lento o no ocurra; por tal motivo, se plantea la necesidad de utilizar enmiendas orgánicas como una opción para contrarrestar los posteriores efectos negativos a la fase de cese de actividades.

El uso de biosólidos, en la restauración de canteras, es una opción mediante la cual se puede acelerar el restablecimiento natural del suelo por la vegetación, la aplicación sobre sustratos, en una proporción adecuada, permite el establecimiento de la vegetación, revirtiendo de esta forma, los

procesos negativos que ocurren en estos lugares, como la erosión, el incremento en la radicación solar y la inestabilidad del terreno.

La realización de este tipo de proyectos permite consolidar estrategias para la recuperación de espacios degradados por las acciones del hombre ya que la solución de esta problemática nos podría llevar hacia la construcción de entornos más sostenibles elevando la calidad de vida, dando soluciones a problemas ambientales reales.

6. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto de la aplicación de mezclas de biosólidos y estériles, en proporciones distintas, como enmienda orgánica, sobre el proceso de establecimiento, colonización y persistencia de la vegetación pionera en una cantera de areniscas 15 años después de interrumpida su explotación?

7. HIPOTESIS

La aplicación de biosólidos mezclados con estériles mejorara el proceso de colonización y establecimiento de la vegetación en suelos degradados por actividad minera, debido a sus propiedades físico químicas, porcentaje de humedad y contenido de materia orgánica.

8. OBJETIVOS

8.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación de mezclas de estériles y biosólidos en diferentes proporciones, sobre el establecimiento de la vegetación pionera, en una cantera de areniscas que ha cesado su actividad extractiva.

8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las especies que colonizan los diferentes tratamientos en las primeras fases de la sucesión.
- Identificar el cambio de las especies vegetales, a través del tiempo, en las primeras fases de la sucesión.
- identificar el tratamiento que permita el mejor desarrollo de la vegetación, en términos de cobertura cuando se aplican los biosólidos como una enmienda orgánica.

9. MATERIALES Y MÉTODOS

9.1 FASE I: Diseño experimental

El experimento consistió en un diseño factorial de una sola vía de bloques completamente al azar, donde se emplearon diferentes proporciones volumen a volumen de biosólidos y estériles de canteras distribuidas de la siguiente forma:

- i) Tratamiento T4: proporción 8/1
- ii) Tratamiento T3: proporción 4/1
- iii) Tratamiento T2: proporción 2/1
- iv) Tratamiento T1: proporción 1/1
- v) Tratamiento T5 100% biosólido: proporción 1/0
- vi) Tratamiento T6 100% estériles: proporción 0/1

Estos tratamientos se aplicaron sobre dieciocho (18) parcelas, las cuales fueron dispuestas en tres bloques de seis parcelas cada uno, se tuvo en cuenta que en cada bloque las parcelas poseen igual posibilidad de recibir cualquiera de los tratamientos, los tratamientos fueron sorteados de tal manera que cada una de las tres repeticiones correspondiera a cada uno de los bloques (Cochran & Cox, 1965). (Figura 5).

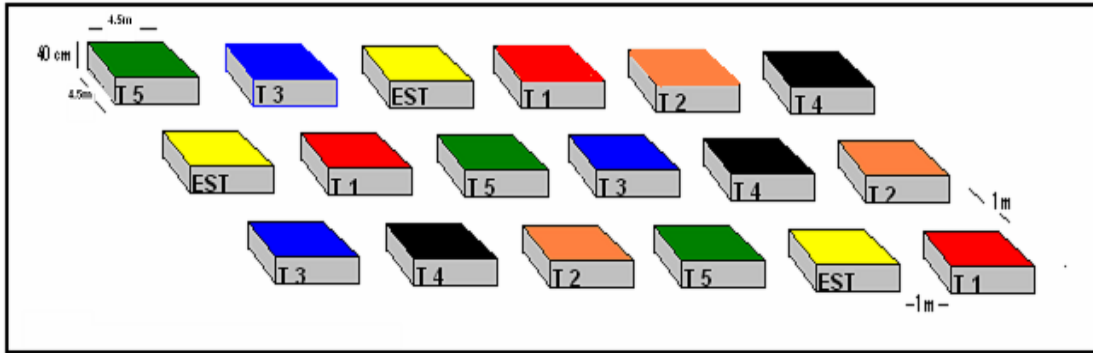


Figura 5. Distribución de los tratamientos en el área experimental

En cada parcela fueron ubicadas cuatro subparcelas, que se eligieron aleatoriamente mediante sorteo; así mismo, fueron adjudicados los tratamientos a las parcelas en los bloques (Figura 6).

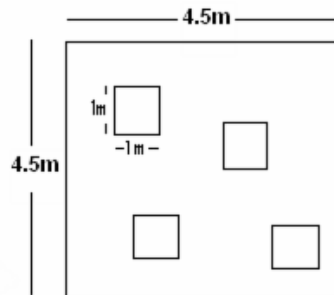


Figura 6. Distribución de las subparcelas en cada una de las parcelas.

9.2 FASE II: Montaje de experimento

a.) Preparación del área experimental

El montaje fue realizado en un área de aproximadamente 1000m², la cual se adecuó en terrazas, con el objetivo de ubicar el diseño experimental tal y como fue planeado. (Figura 7)



Figura 7. Área previa a la implementación de las terrazas para los bloques

Posteriormente, se realizó la demarcación y ubicación de los linderos donde se ubicaron bloques y sus respectivas parcelas. Posteriormente, el área fue homogenizada con un (bulldozer), que perfiló el terreno con el fin de situar las dieciocho parcelas, separadas una de la otra a una distancia de 1.50 m, con el objetivo de evitar el contagio entre los tratamientos. (Figura 8)



Figura 8. Montaje de las terrazas para la implementación de los bloques

La medición del terreno, se llevó a cabo con un decámetro, que permitió colocar los puntos fijos de referencia a lo largo y ancho del terreno, para la posterior demarcación de las dieciocho parcelas de $4.5 \times 4.5 \text{ m}^2$, la demarcación de cada parcela se llevó a cabo mediante la ubicación de estacas de 70cms de largo en cada esquina.

Previo a la colocación de los tratamientos fue retirada toda la vegetación que se encontraba en el terreno de las parcelas, (Mostacedo & Fredericksen, 2000).

Las parcelas fueron delimitadas con cinta de seguridad y cuerda plástica amarrada a las estacas, de tal manera que permitiera la diferenciación entre ellas. Las sub parcelas de 1x1 se colocaron posteriores a la aplicación de los tratamientos a las parcelas.

b.) Punto de acopio y preparación de mezclas

Los biosólidos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre y los estériles de cantera fueron mezclados previamente de acuerdo a los respectivos tratamientos. y posteriormente fueron ubicados en cada una de las parcelas de acuerdo al sorteo previo. La preparación de las mezclas se realizo en el parqueadero aledaño al área experimental cada tratamiento fue amontonado en pilas (Figura 9).



Figura 9. Proceso de mezcla de biosólidos y estériles en el área aledaña al sitio del experimento.

La colocación del material en las parcelas se realizo con la ayuda de una de una pala cargadora bobcat, con las cual se transportaba las cantidades respectivas a cada una de las (figura, 10).



Figura 10. Preparación de las diferentes mezclas en el sitio de acopio.

c.) Colocación de los tratamientos en las parcelas.

Los tratamientos fueron colocados iniciando por las parcelas mas distantes al área de acopio de las pilas y procurando no contaminarlos (figura 11).



Figura 11. Montaje de las parcelas con la mezcla de biosólidos y estériles, realizada una pala mecánica

9.3 FASE III. Toma de datos

La toma de datos de la vegetación presente fue realizada en cada una de las subparcelas de $1 \times 1 \text{ m}^2$; En cada una de ellas se midió la altura y cobertura de todos lo individuos presentes, el seguimiento ala vegetación se realizo durante cuatro periodos de tiempo, (tabla 7).

Tabla 7. Periodos de muestreo

Numero de muestreo	Fecha del muestreo
Primer muestro	Enero del 2006
Segundo muestreo	Mayo del 2006
Tercer muestreo	Agosto del 2006
Cuarto muestreo	Enero del 2007

Para la toma de datos de cobertura vegetal, en cada uno de los tratamientos, se empleó una cuadrícula en madera de 1x1 m², subdividida en 100 cuadrantes de 10x10cm (Figura 12); en cada uno de estos cuadrantes se verificó la presencia de vegetación, contabilizando el espacio ocupado por cada individuo con relación al cuadrado de 10 x 10cm, para luego ser convertidos a porcentaje y de esta forma obtener los datos correspondientes a la cobertura por especie y total (Elleberg & Mueller-Dombois, 1974).



Figura 12. Cuadrícula utilizada para la medición de la cobertura.

En cuanto a la medición de altura de todos los individuos de cada subparcela, para el caso de las plántulas, se midió la altura desde la base del sustrato al extremo más distal, con ayuda de una cinta métrica. Se colectaron muestras vegetales en las diferentes parcelas y se llevó a cabo observaciones del estado de la vegetación en cada subparcela durante el periodo del experimento.

Adjunto a los objetivos del trabajo se realizo un muestreo de los tratamientos con biosólidos y de los estériles, con el fin de conocer un poco acerca de las características químicas del sustrato en cual tuvo lugar la sucesión vegetal.

9.4 Toma de muestras de estériles y biosólidos en el lugar del experimento

Una vez montadas e instaladas todas las parcelas con los diferentes tratamientos se recolecto una muestra compuesta a dos profundidades 15 y 30 cm., de un kilogramo de peso aproximadamente para su caracterización, acto que también se aplico a los estériles y biosólidos. Estas muestras fueron empacadas y marcadas para luego ser llevadas a los laboratorios del acueducto de Bogota.

En este laboratorio se analizaron las muestras de los siguientes parámetros: Calcio Ca/kg, Conductividad, COT, mg/kg, Fósforo mg P / Kg, Humedad % p/p, Magnesio mg Mg/kg, Nitrógeno NKT, mg N/Kg, pH, Potasio mg K / Kg, Sodio mg Na/Kg.

La determinación de las variables químicas se realizo con los siguientes métodos de laboratorio: Calcio Ca /Kg ICplasma 3500 Ca-C, Conductividad μ S/cm electrométrico 2510-B, COT, mg Cu/Kg combustión infrarrojo 5310-B, Fósforo total (mg p /Kg) colometrico 4500- P-C Y E., magnesio Mg (Mg/Kg) ICPlasma 3500-Mg-C, Nitrógeno Kjelhan Total NKT (mgN/L), volumétrico 4500-N-B, pH electrométrico 4500-N-B, Potasio, mg K /Kg ICPlasma 3500-K-C, Sodio, mg Na/Kg ICPlasma 3500-Na-C.

9.5 Toma de las muestras en los diferentes tratamientos para la caracterización fisicoquímica.

Se realizo un muestreo a los dos meses de iniciado el experimento en los diferentes tratamientos de la siguiente manera:

- a) se eligieron tres puntos al azar en cada tratamiento dentro de la respectiva parcela.
- b) Recolección de las muestras en cada punto de muestreo con ayuda de un tubo de PVC aforado de 2 pulgadas por 50 cm de largo, en dos profundidades 15-30 cm respectivamente.

- c) Se empaquetaron cada una de las muestras en una bolsa plástica de polietileno de 1kg, debidamente marcada con la fecha, tratamiento y profundidad, las cuales fueron llevadas al laboratorio del acueducto para su respectivo análisis.

10. ANÁLISIS DE DATOS

10.1 Descripción de la vegetación

De cada una de las especies registradas se tomaron muestras que fueron marcadas, de acuerdo al número de aparición, en la subparcela y parcela luego fueron alcoholizadas y empacadas para su secado en el herbario de la PUJ. Posteriormente se llevó a cabo la determinación taxonómica, por medio de la comparación con material de herbario y la ayuda de botánicos especialistas.

10.2 Análisis de Diversidad

La diversidad a escala biótica, es la variación genética entre especies y puede ser descrita en términos del número de entidades genotipos, especies y ecosistemas, al igual que las características funcionales y diferencias en la distribución (Hooper *et al.*, 2005). Así mismo, la diversidad de especies vegetales es un importante componente del funcionamiento de los ecosistemas, tomando en cuenta que representa la dinámica al interior de este (Christensen *et al.*, 1996. En: Hooper *et al.*, 2005). Para este trabajo se tienen en cuenta dos categorías de medida de la diversidad riqueza específica e índice de Shannon (Magurran, 1989; Moreno, 2001).

a.) Riqueza específica (S)

Entendida como el número de especies por unidad de área fue evaluada mediante un análisis de varianza (ANOVA), que comparo la riqueza entre tratamientos y entre los cuatro diferentes tiempos de muestreo, además fue estimada para cada muestreo, esto se realizó con el fin de conocer las diferentes mediciones realizadas en el tiempo.

b.) Índice de Shannon

Este índice está basado en la abundancia proporcional de las especies, considerando la diversidad como la relación entre el número de especies y la proporción de sus individuos. Se basa en el supuesto que los individuos son elegidos completamente al azar y que todas las especies están

representadas en la muestra, además entre mas equitativa sea la distribución de las abundancias de especies, mas alto será el valor del índice o sea mas diversa será la comunidad en estudio (Magurran, 1989; Ramírez, 1999; Moreno, 2001).

Índice de Shannon
$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

c.) Análisis Estadístico.

En los diferentes muestreos se realizó un análisis de varianza de una sola vía con un solo factor de variación, en este caso los biosólidos en diferentes concentraciones. Para saber si existían diferencias significativas en los valores de riqueza, porcentajes de cobertura y diversidad (índice de Shannon) se aplicó un análisis de ANOVA de Medidas Repetidas, teniendo en cuenta que los datos cumplían con los supuestos de normalidad de los residuos y homogeneidad de varianzas. Este análisis permitió extraer la varianza debida al tiempo, ya que las medidas fueron repetidas tres veces en las mismas parcelas; y así mismo, comprobar si las diferencias observadas en cada variable se debían a los tratamientos.

Cuando se encontraron diferencias significativas a un nivel de significancia del 0.05, se empleó una prueba de Tukey para determinar entre que tratamientos o entre cuáles periodos de muestreo se dieron las diferencias. Estos análisis fueron realizados en el programa Statistica versión 7.

11. RESULTADOS

11.1 Composición florística

Se encontraron un total de 28 morfoespecies, de las cuales 12 fueron determinadas taxonómicamente hasta especie y cuatro hasta género. La familia Asteraceae fue la más representativa en cuanto al número de especies (7), seguida por las Poáceas con dos especies, (Tabla 8).

Tabla 8. Listado de las familias especies y morfotipos hallados en el experimento.

FAMILIA	ESPECIE
ASTERACEAE	<i>Achyrocline saturooides</i> (Lam) D.C <i>Baccharis</i> sp. <i>Cardon</i> sp. <i>Gnaphalium</i> sp. <i>Hypochaeris radicata</i> <i>Senecio madascariensis</i> <i>Sonchus oleraceus</i> L. <i>Taraxacum officinale</i> G.H. Weber ex Wiggers
CARYOPHYLLACEAE	<i>Spergula arvensis</i> L.
FABACEAE	<i>Ulex europaeus</i> L.
MALVACEAE	<i>Hibiscus</i> sp.
PHYTOLACCACEAE	<i>Phytolacca bogotensis</i> Kunth.
POLYGONACEAE	<i>Rumex acetosella</i> L.
POACEAE	<i>Holcus lanatus</i> (L) Nash. <i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst. ex Chiov.
SCROPHULARIACEAE	<i>Castilleja</i> sp.
SOLANACEAE	<i>Solanum nigrum</i> L.
UMBELLIFERACEAE	<i>Apiaceae</i> sp.
M1	INDET.
M2	INDET.
M3	INDET.
M4	INDET.
M5	INDET.
M6	INDET.
M7	INDET.
M8	INDET.
M9	INDET.
M10	INDET.
M11	INDET.

Se encontró que las especies *Holcus lanatus* y *Taraxacum officinale* se establecieron en todos los tratamientos y en todos los tiempos de muestro (tabla 9). La especie *Achyrocline saturooides*, se reportó en todos los tratamientos durante los muestreos dos y tres; sin embargo, durante el último muestreo aparece únicamente en tres de ellos T1 (1/1), T5 (biosólidos 100%) y TC (estériles 100%). Las Asteraceas como *Senecio madascariensis* e *Hypochaeris radicata* fueron reportadas en todos los tratamientos durante los muestreos dos y tres, pero no en el cuarto.

Tabla 9. Especies halladas por tratamiento durante el experimento

MUESTREO	SEGUNDO MUESTREO						TERCER MUESTREO						CUARTO MUESTREO					
	T1	T2	T3	T4	T5	TC EST	T1	T2	T3	T4	T5	TC EST	T1	T2	T3	T4	T5	TC EST
Morfoespecies																		
<i>Holcus lanatus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Sonchus oleraceus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X			X
<i>Pennisetum clandestinum</i>		X		X	X			X		X	X		X	X	X	X	X	
<i>Taraxacum officinale</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Achyrocline satureoides</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
<i>Senecio madagascariensis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
<i>Hypochaeris radicata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
<i>Apiaceae sp</i>																		X
<i>Cardon sp</i>				X						X	X					X		
<i>Scrophulariaceae sp</i>		X		X	X	X	X	X		X	X	X						X
<i>Spergula arvensis</i>	X			X		X	X			X		X						
M1							X	X				X	X					
<i>Ulex europaeus</i>	X	X				X	X	X				X	X					
M2								X										
<i>Rumex acetosella</i>										X								
M4								X										
<i>Hibiscus sp</i>								X										
M5								X										
<i>Baccharis sp</i>												X						
M6				X		X				X		X						
M7					X							X						
M8												X						
M9	X		X							X								
M10				X								X						
m11	X			X	X					X	X							
m12		X																
m13		X						X										
<i>Phytolacca bogotensis</i>	X	X						X										
# de especies	11	12	7	13	10	10	13	13	8	13	14	11	5	3	4	4	4	6

Sonchus oleraceus fue de las primeras especies que se establecieron en todos los tratamientos incluidos los controles para el cuarto muestreo se presentó únicamente en los tratamientos T3 (4/1) y control (TC).

Las especies que se mantuvieron en el tiempo durante los cuatro periodos de muestreo, pertenecen a las familias botánicas *Asteraceas* y *Poaceae*, de las familias *Caryophyllaceae*, *Solanaceae* y *Scrophulariaceae*. No se reportaron para el último muestreo. Finalmente, los morfotipos representados por una sola especie aparecieron en los diferentes tratamientos durante los muestreos dos y tres, desapareciendo en el cuarto muestreo.

8.2 Cobertura vegetal

A los dos meses de haber iniciado el experimento, no se reporto ninguna especie por lo que el suelo desnudo domino con un 100%, de cobertura (anexo 1). Para el segundo muestreo la cobertura de la vegetación, en las diferentes parcelas, aumento considerablemente y presento valores cercanos al 10% (anexo 2).

Se encontró que el incremento de la cobertura vegetal en los distintos tratamientos, se dio de forma similar, es decir, no se encontraron diferencias significativas en la cobertura entre tratamientos $F_{(5,12)} = 2.7415$, $p = 0.07072$. Sin embargo, entre un muestreo y otro $F_{(2,12)} = 114.6732$, $P < 0.0001$ se determinó que si existían diferencias significativas (ver anexo 4).

El porcentaje de cobertura vegetal, presento un aumento significativo a través del tiempo en las diferentes parcelas (Figura 13). A partir del tercer quinto mes primeros días del mes de mayo, el proceso de colonización y formación de cobertura se evidenció con la presencia de plántulas de las familias, Asteráceae y Poaceae representadas por *Achyrocline saturooides*, *Holcus lanatus*, *Hypochareris radicata* y *Taraxacum officinale* (anexo 3).

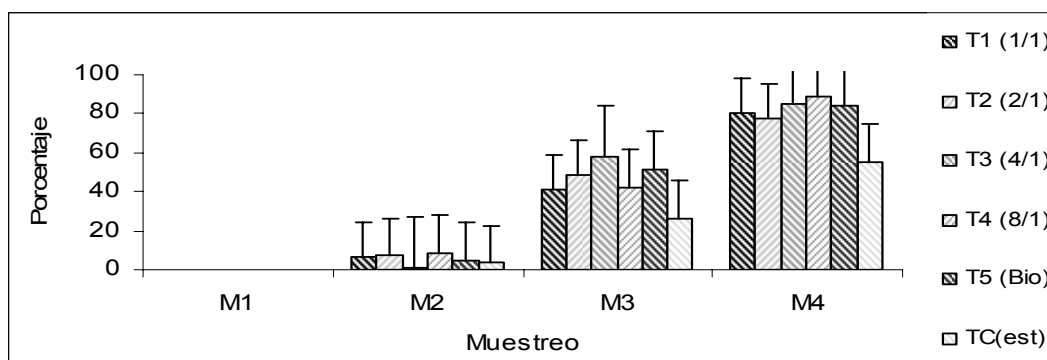


Figura 13. Porcentaje de cobertura por tratamiento a lo largo de los cuatro muestreos

De esta forma, a los cinco meses de montaje del experimento se pudo evidenciar la colonización de especies pioneras; al reportarse valores promedio de cobertura de 5.44%. Los valores máximos de cobertura estuvieron en el tratamiento T4 (8/1) con un 8.37% y T2 (2/1) con 7.91%, frente al valor más bajo correspondiente al tratamiento T3 (4/1) con un 1.30% (Figura 14). Sin embargo, las diferencias no fueron significativas entre tratamientos ($F_{(5,12)} = 2.1858$, $p = 0.1240$).

Para el tercer muestreo, la cobertura de la vegetación se incrementó y presentó un valor promedio de 44.6% por parcela; en este muestreo se presentaron diferencias significativas en los valores de

cobertura de los diferentes tratamientos ($F_{(5,12)} = 6.7492$, $p = 0.0033$). Los valores más altos se presentaron en los tratamientos T3 (4/1) y T5 con 58.34% y 51.65% respectivamente (anexo 4); El valor más bajo de cobertura se obtuvo en el tratamiento control, el cual fue significativamente diferente de los tratamientos T3 (4/1) y T5 con un 26.06%. (Tabla 10)

Tabla 10. Comparaciones a posteriori mediante la utilización de los intervalos de confianza de Tukey para los valores de cobertura del tercer muestreo (Tiempo 2).

	VAR1	T1 (1/1)	T2 (2/1)	T3 (4/1)	T4 (8/1)	T5 (Bio)	TC (Est)
T1 (1/1)	1		0.847061	0.135192	0.999992	0.575048	0.169827
T2 (2/1)	2	0.847061		0.618998	0.901354	0.994917	0.025356*
T3 (4/1)	3	0.135192	0.618998		0.167217	0.878982	0.001949*
T4 (8/1)	4	0.999992	0.901354	0.167217		0.653508	0.137359
T5 (Bio)	5	0.575048	0.994917	0.878982	0.653508		0.010834*
TC (Est)	6	0.169827	0.025356*	0.001949*	0.137359	0.010834*	

* Diferencias significativas a un $\alpha=0.05$.

Durante el cuarto y último muestreo a los catorce meses de realizado el experimento, no se observaron diferencias significativas en la cobertura de la vegetación entre tratamientos ($F_{(5,12)} = 0.97$, $p = 0.4738$). Sin embargo, la cobertura hallada en las parcelas control fue inferior a la registrada en los demás tratamientos con biosólidos (Figura 14). En síntesis, en los diferentes tratamientos con biosólidos los valores de cobertura variaron entre el 77.92% y el 88.33%, mientras que en la parcela control el promedio fue de 55.00%.

a.) Porcentaje de cobertura por especie

En el primer muestreo el porcentaje de cobertura por especies, para cada uno de los tratamientos se caracterizó por presentar valores de cero. Durante los muestreos dos y tres, la especie *Sonchus oleraceus* presentó los mayores valores de cobertura en el tratamiento T1 (1/1). Sin embargo, para el último muestreo la especie *Holcus lanatus* la que presentó mayor porcentaje de cobertura, con un incremento del 50% entre el tercer y cuarto muestreo.

Para el tratamiento T1 las especies que registraron mayores incrementos en la cobertura, se presentan en la (figura 15), mientras *Taraxacum officinale*, pasó de un 1.2% de cobertura en el tercer muestreo, a un 3.7% en el cuarto muestreo, al igual que *Pennisetum clandestinum*, pasó de 0% a 9.3% de cobertura del tercer al cuarto muestreo.

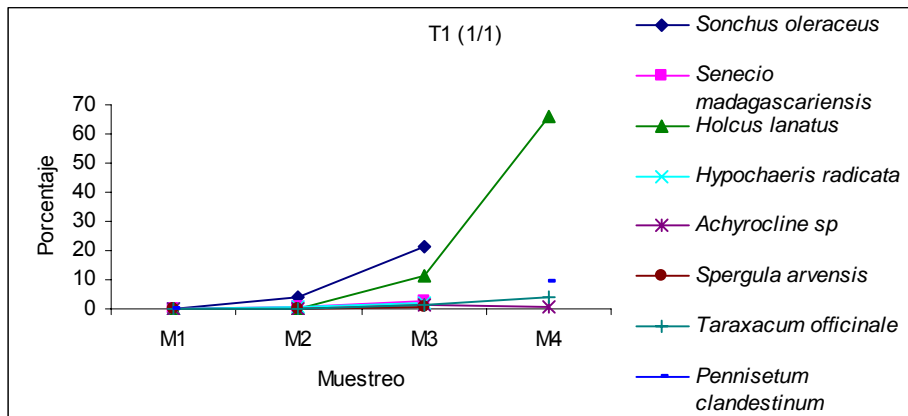


Figura 14. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento T1 (1/1)

Durante el muestreo número dos, en el tratamiento T2 (2/1), ya existían algunas plantas como es el caso de la especie *Sonchus oleraceus*, la cual ocupa la mayor cobertura (5.2%), comparada con las demás especies; la segunda especie con mayor porcentaje de cobertura fue *Senecio madagascariensis*, con un 1.8%. Para el muestreo tres, aumentan los porcentajes de cobertura de las especies *Sonchus oleraceus* y *Holcus lanatus*. Para el cuarto muestreo, *Sonchus oleraceus* desaparece y el porcentaje de cobertura con mayor valor lo tiene *Holcus lanatus* con un 66.2% frente a los valores de *Taraxacum officinale* con un 7.0% y *Pennisetum clandestinum* con 4.5% de cobertura, (Figura 15).

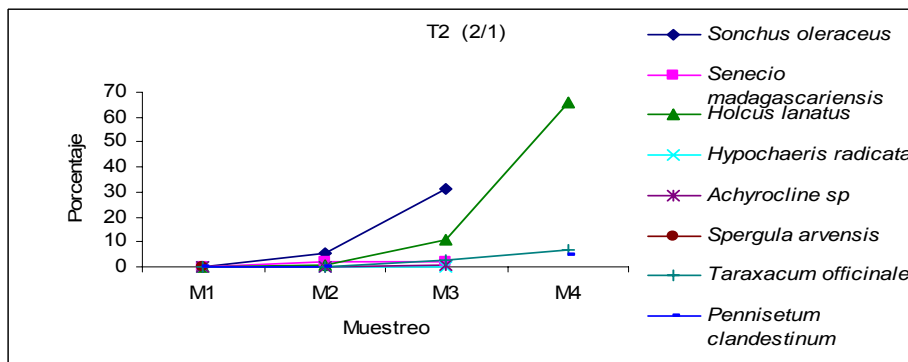


Figura 15. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento T2 (2/1).

Para el segundo muestreo, en el tratamiento T3 (4/1), el porcentaje de cobertura más alto lo presento *Sonchus oleraceus* con un 0.5% seguido de *Holcus lanatus* con 0.3%. Para el tercer muestreo *Sonchus oleraceus* obtuvo el mayor porcentaje de cobertura con 17.8%, sobrepasando a *Holcus lanatus*, y el menor valor lo presentó *Pennisetum clandestinum* con 0.05% (Figura 17).

El comportamiento de las especies en este tratamiento, durante el cuarto muestreo cambió, ya que solo cuatro especies lograron persistir en el tiempo: *Pennisetum clandestinum* paso de 0,05% en el tercer muestreo paso a un 10.8% de cobertura en el cuarto muestreo, *Taraxacum officinale*, paso a tener un 3.5% y la especie que más porcentaje de cobertura consiguió fue *Holcus lanatus* con un 69.5%, (Figura 16).

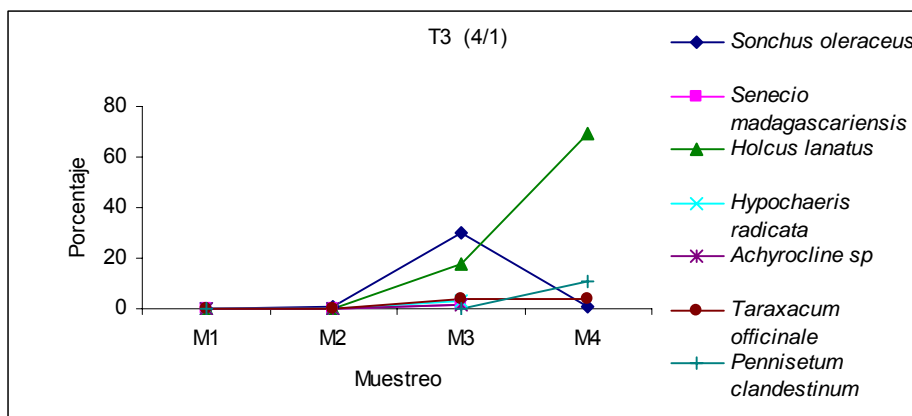


Figura 16. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento T3 (4/1).

El tratamiento T4 (8/1), la especie *Sonchus oleraceus*, es la dominante durante el segundo y tercer muestreo, mientras que para el cuarto muestreo desaparece. Otra especie representativa en este tratamiento fue *Holcus lanatus* que presentó un incremento exponencial en su porcentaje de cobertura, desde un 0.7% a 56.6% en el cuarto muestreo, (Figura 17).

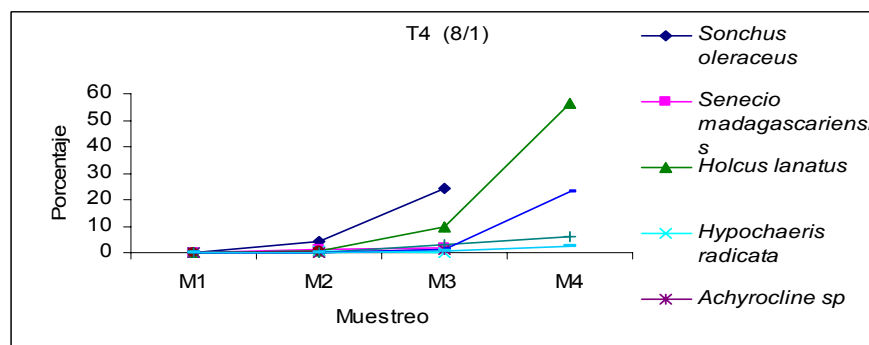


Figura 17. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento T4 (8/1).

Para el segundo y tercer muestreo, en el tratamiento T5, la especie con mayor porcentaje de cobertura fue *Sonchus oleraceus* con un 2.7% y 25.7% respectivamente, seguido de *Holcus lanatus* con 0.7% y 16.7% cada uno, y el menor porcentaje (0%) lo tiene *Achyrocline sp.*, junto con *Pennisetum clandestinum*. El cuarto muestreo el mayor porcentaje de cobertura alcanzado fue el de la especie *Holcus lanatus* con 60.0%. (Figura 18)

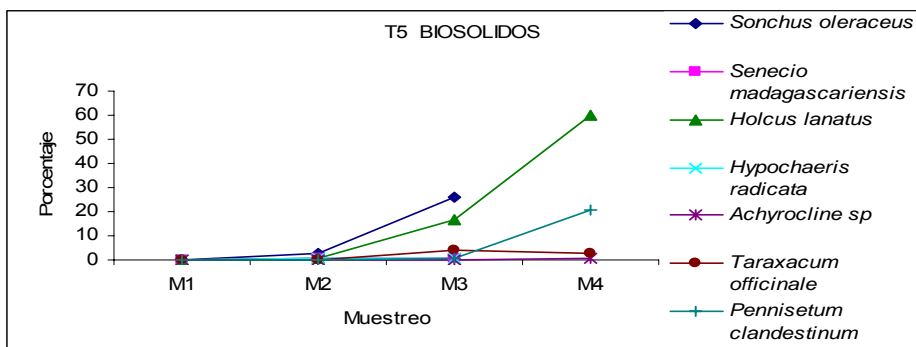


Figura 18. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento T5 (1/0)

En el tratamiento control para el segundo muestreo el mayor porcentaje de cobertura lo alcanzó *Achyrocline sp* con 1.7%, mientras que los menores porcentajes fueron de *Sonchus oleraceus* con 0.6% junto con *Holcus lanatus* que presento el 0.5%. En el tercer muestreo las especies con mayor cobertura ocupada fueron *Holcus lanatus* con 12.9%, *Hypochaeris radicata* con 5.3%. Para el cuarto muestreo la especie *Holcus lanatus* fue la más representativa, con 42% de cobertura. (Figura 19)

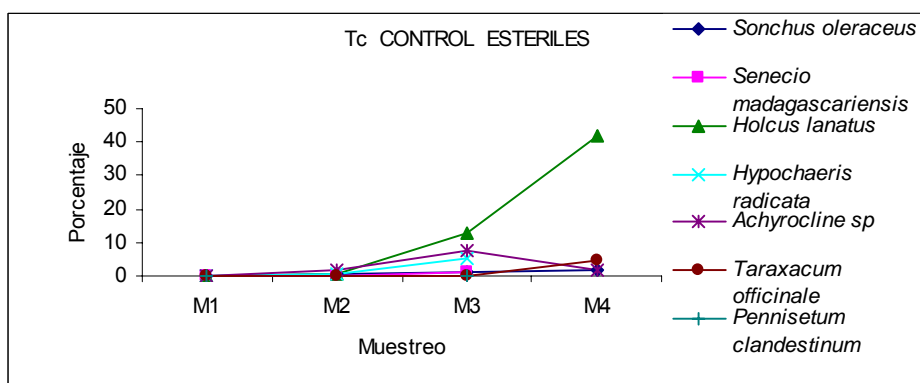


Figura 19. Cambio en el porcentaje de cobertura por especie en los diferentes muestreos para el tratamiento control de estériles.

11.3 Altura de la vegetación

Los resultados obtenidos, demuestran que en los diferentes tratamientos hay un crecimiento constante de la vegetación en cuanto a la altura de las especies. Sin embargo, unas especies crecieron mejor en unos tratamientos que en otros. De esta forma se puede observar que muchas especies, en todos los tratamientos, alcanzaron su mayor altura en el muestreo 3 y luego desaparecen.

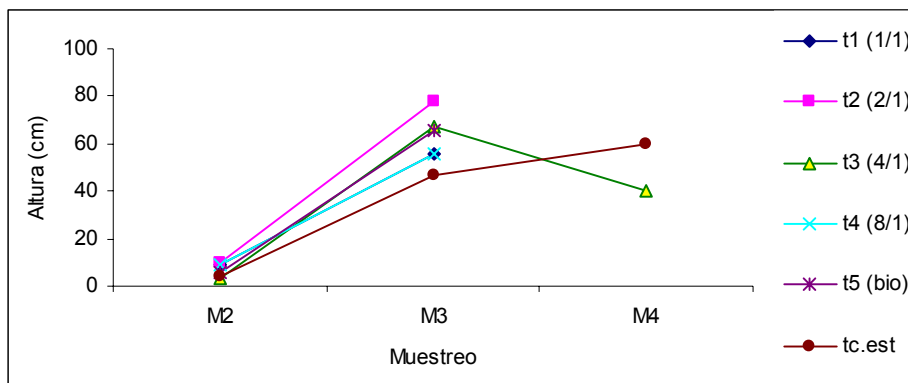


Figura 20. Crecimiento en altura de *Sonchus oleraceus* durante el tiempo de estudio.

La especie *Sonchus oleraceus* es que mayor altura alcanzó durante los muestreos dos y tres en todos los tratamientos; no obstante, la altura de esta especie, durante el segundo muestreo, es mucho menor en el tratamiento control (TC) y T4 (8/1); hasta el punto en que sobrevive únicamente en los tratamientos TC (estériles) y T3 (4/1) (Figura 20).

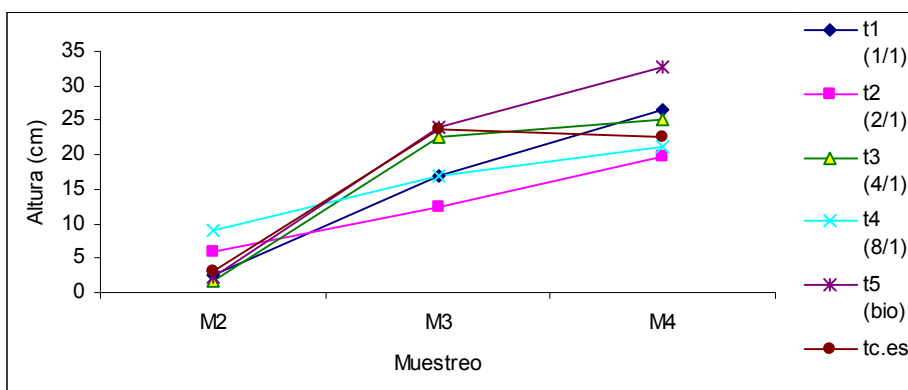


Figura 21. Crecimiento longitudinal de *Taraxacum officinale* durante el tiempo de estudio.

A diferencia de la especie *Sonchus oleraceus*, la especie *Taraxacum officinale* aumentó su altura durante todo el tiempo, en todos los tratamientos (figura 21).

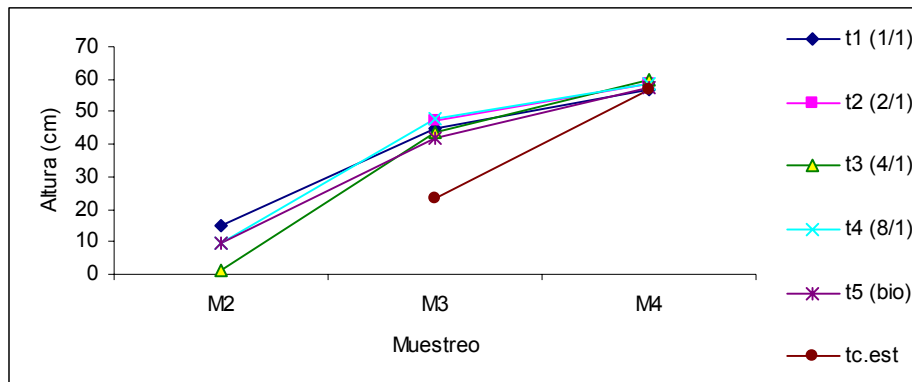


Figura 22. Crecimiento longitudinal de *Holcus lanatus* durante el tiempo de estudio.

La especie *Holcus lanatus* fue una especie que gana altura a través del tiempo en los diferentes en los diferentes tratamientos con biosólidos. El crecimiento en el control (TC) fue a partir del tercer muestreo y fue menor. En el tratamiento donde gana mayor altura fue el tratamiento T4 (8/1), y la altura promedio para el cuarto muestreo fue de 60 cm de altura (figura 22).

11.4 Análisis de Riqueza

De acuerdo con los resultados del análisis estadístico ANOVA, de medidas repetidas para la variable riqueza de especies, se observó una diferencia significativa en el tiempo $F_{(2,12)} = 65.49$, $p < 0.0001^*$; sin embargo, no se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos para un mismo muestreo $F_{(5,12)} = 1.0615$, $P 0.427737$ (anexo 5).

a.) Valores de riqueza para cada tratamiento en los diferentes muestreos.

Durante el primer muestreo no se registro ninguna especie. Los resultados obtenidos para el segundo muestreo, son evidencia del proceso de colonización de las especies y por supuesto el incremento en la riqueza. Para este período de tiempo los valores más altos de riqueza, se presentaron en las parcelas correspondientes a los tratamientos T4 (8/1) y T1 (1/1) y los más bajos a los tratamientos T3 (4/1) sin embargo las diferencias entre tratamientos no fueron significativas $F_{(5,12)} = 1,8667$, $P = 0,1742$ (anexo 5) (figura 23).

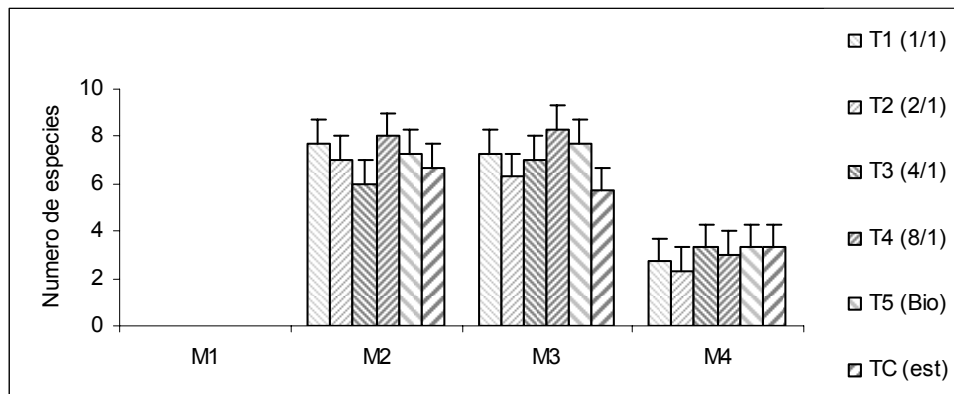


Figura 23. Valores promedio y desviaciones estándar de los valores de riqueza, para cada uno de los tratamientos y periodos de muestreo.

Durante el tercer muestreo, la riqueza de se disminuyó y presentó un valor promedio de 7,05. Así mismo, los tratamientos T4 (8/1) y T5 (100%), presentaron los valores mas altos; mientras que los valores más bajos corresponden al tratamiento control (TC). Las diferencias entre tratamientos no fueron significativas $F_{(5,12)} = 0,875$, $P = 0,52605$ (anexo 5). Para el cuarto muestreo (M4) no se hallaron diferencias significativas entre tratamientos en la riqueza de la vegetación, $F_{(5,12)} = 0,4174$, $P = 0,8279$; sin embargo encontramos que la riqueza en la parcela control de estériles fue igual a la de los demás tratamientos con valores de 3.3 (anexo 5) (figura 24).

Finalmente, entre los tratamientos los valores de riqueza variaron entre 2.3 y 3.3; los valores más bajos se presentaron en el cuarto muestreo, con un valor promedio general de 2.98 (anexo 5).

11.5 Diversidad

Los valores de diversidad de Shannon no variaron entre tratamientos en ninguno de los periodos de tiempo evaluados $F_{(5,12)} = 0.6783$, $p = 0.6483$ (anexo 6); Sin embargo, se evidencio que cuando se compararon las diferencias en el tiempo las diferentes muestreos se hallaron diferencias significativas $F_{(2,12)} = 0.4446$, $p = 0.00001$.

Tabla 11. Matriz de comparación de la prueba Tukey para el factor Tiempo en la variable diversidad

	2do muestreo	3er muestreo	4to muestreo
2do muestreo		0.867925	0.000211*
3er muestreo	0.867925		0.000154*
4to muestreo	0.000211*	0.000154*	

* Diferencias significativas a un $\alpha = 0.05$

Los valores de diversidad fueron muy similares entre el segundo y tercer muestreo pero muy diferentes del segundo con el cuarto y del tercero con el cuarto (tabla 11).

a.) Índice de Shannon para cada tratamiento.

Los valores de diversidad de shannon fueron más altos en los muestreos dos y tres y disminuyo sustancialmente para el cuarto muestreo; Durante el segundo muestreo el valor promedio del índice de Shannon fue de 1.08 mientras que el valor promedio para el tercer muestreo fue de 1.13. Para el cuarto muestreo, se presentó una disminución fuerte en los valores de diversidad ya que muestra un valor promedio en este indicador con un promedio de 0.58 (Figura 24).

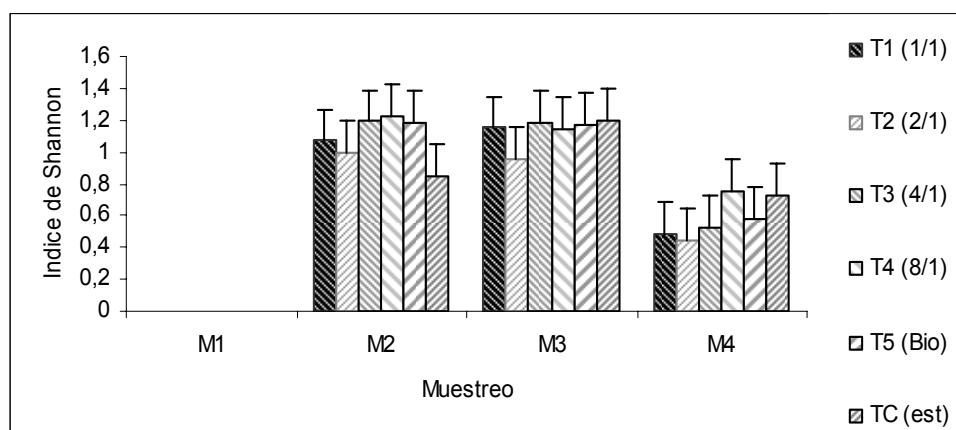


Figura 24. Variación del índice de diversidad de Shannon en cada tratamiento para todos los muestreos.

Se encontró que el tratamiento T4 (8/1) presentó el valor mas alto del índice con 1.23, seguido de T3 (4/1) con 1.19; mientras que el valor mas bajo lo presento el tratamiento control de estériles con un 0.85. Sin embargo, las diferencias no fueron significativas $F_{(5,12)} = 0.5984$, $P = 0.7024$, en este periodo de tiempo (tabla 12).

Tabla 12. Promedio y desviaciones estándar del índice de diversidad de Shannon para todos los muestreos

		Tratamiento					
		T1 (1/1)	T2 (2/1)	T3 (4/1)	T4 (8/1)	T5 (Bio)	TC (est)
Segundo muestreo	Promedio	1,07	0,99	1,19	1,23	1,18	0,85
	SD	0,14	0,16	0,05	0,39	0,52	0,41
Tercer muestreo	Promedio	1,15	0,96	1,18	1,14	1,17	1,2
	SD	0,28	0,16	0,22	0,18	0,16	0,27
Cuarto muestreo	Promedio	0,49	0,44	0,52	0,75	0,58	0,73
	SD	0,56	0,18	0,41	0,16	0,31	0,17

11.6 Caracterización de los biosólidos en el momento a los tres meses de iniciado el experimento.

Tabla (13) caracterización físico química de los biosólidos de la PTAR El Salitre y los estériles de la arenera Juan rey.

FECHA DEL MUESTREO	CONTROL	BIOSOLIDO
27/02/2006		
Calcio Ca/kg	370,55	11851,12
Conductividad	535,5	3730
COT, mg/kg	1699	87402,5
Fosforo mg P / Kg	2032,25	10838,25
Humedad % p/p	7,69	58,07
Magnesio mg Mg/kg	158,94	634,96
Nitrogeno NKT, mg N/Kg	253,75	12290
pH	5,2	7,3
Potasio mg K / Kg	3626,89	1298,08
Sodio mg Na/Kg	56,77	156,03

Los valores de los diferentes elementos tales como el nitrógeno, fósforo, magnesio son mayores en los biosólidos comparados con los estériles, también la humedad, conductividad, y carbono orgánico.

Tabla (14). Caracterización físico química de los diferentes tratamientos de mezclas de biosólidos y estériles.

Fecha del muestreo 27/02/2006	T1	T2	T3	T4
Calcio Ca/kg	10074,40	11869,12	11083,61	12077,40
Conductividad	2387,5	1644,5	3322,5	3587,5
COT, mg/kg	50780	71022,5	65507,5	67620
Fosforo mg P / Kg	8019	7734,5	9736	10114,75
Humedad% p/p	35,83	38,74	42,72	50,14
Magnesio mg Mg/kg	588,96	725,39	625,07	639,26
Nitrogeno NKT, mg N/Kg	6501,25	8409,75	8500,5	8386
pH	7,2	6,7	7,2	7,4
Potasio mg K / Kg	4874,48	3955,87	940,19	2074,31
Sodio mg Na/Kg	141,72	166,21	147,76	154,82

12. DISCUSIÓN

12.1 Caracterización de las especies que colonizan los diferentes tratamientos en las primeras fases de la sucesión.

Para el primer muestreo, los resultados obtenidos en el análisis de colonización demostraron que los procesos germinativos posiblemente se dieron pero no fueron notorios. Esto se debe posiblemente a la relación que existe entre la época de montaje del experimento y las condiciones climáticas, teniendo en cuenta que el experimento se inició precisamente en los meses menos lluviosos del año (diciembre – enero), lo que afectó directamente el proceso de germinación de las plantas.

En el segundo muestreo realizado en el mes de mayo, aumentaron los niveles promedio de precipitación a 169.5 mm, frente a 19mm promedio para el mes de enero, lo que favoreció la germinación y colonización de especies, generando las condiciones optimas de humedad que permitan activar el metabolismo (Luttge *et al.*, 1993). Este metabolismo se encontraba prácticamente paralizado, puesto que en la parte superficial de cada uno de los tratamientos se formó una costra generando un déficit hídrico, a pesar de los altos contenidos de humedad que poseen los biosólidos, obstaculizando el proceso de germinación en la etapa inicial del proyecto.

Los altos contenidos de nutrientes de los biosólidos favorecen algunas especies capaces de captar con mayor eficiencia dichos nutrientes esto puede llevar a formar monotipos de las especies tolerantes

(Cooke *et al.* 1990; en Montenegro *et al.*, 2006) dejado ver por la alta dominancia de unas pocas especies oportunistas en todos los tratamientos, las cuales se reportan como una especie altamente colonizadoras muy adaptables a condiciones extremas.

Los biosólidos tienen procesos de mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos y de esta forma quedan los nutrientes disponibles y puedan ser absorbidos y asimilados por las plantas, en concordancia con lo encontrado por Salinas & Guirado (2002), donde la riqueza de especies vegetales cambió debido a transformaciones en las condiciones del suelo y por procesos de dispersión de semillas.

La disponibilidad de espacio y nutrientes debió generar condiciones que favorecieron el ingreso de especies oportunistas e invasoras terrestres, desde el primer momento en que fueron instaladas las parcelas, éstas a su vez eliminaron o desplazaron algunas especies que arribaron, esta situación se reporta para procesos sucesionales en humedales de la sabana de Bogota (Montenegro *et al.*, 2006),

Se encontró que *Holcus lanatus* y *Taraxacum officinale*, las cuales arribaron a las parcelas y persistieron en el tiempo, tienen características propias de especies exóticas, como son la potencial de competir frente a especies nativas por sus estrategias adaptativas, la facultad de dispersión y colonización además de la gran capacidad para captar de nutrientes (Vila 1997; Calderón 2003)

Los biosólidos por sus características facilitan la invasión de especies y acelera el crecimiento de plantas oportunistas (Zedler & Kercher 2004; en Montenegro *et al.*, 2006) evento encontrado durante el periodo del experimento ya que dentro de las invasoras se reportan pastos y hierbas las cuales para su establecimiento requieren de un sitio disponible para su arribo, y de la disponibilidad de los elementos necesarios para su desarrollo. Además se han encontrado estas especies en estudios realizados donde presentan atributos vitales e historias de vida similares, con capacidad de competir y sobrevivir.

Un factor incidente en la colonización de la vegetación podrían ser los rangos de tolerancia de las especies, esto asociado a que solo unas pocas puedan establecerse en las primeras etapas y lograr sobrevivir hasta el último muestreo. Posiblemente este proceso se dio como consecuencia de los bajos niveles de tolerancia de estas especies a las condiciones del medio, tales como la disponibilidad de nutrientes, rangos de pH, salinidad y la capacidad de intercambio catiónico del suelo, este comportamiento puede ser sustentado a partir de la teoría sucesional de Clements (1916) Connell & Slatyer, (1977); Noble & Slatyer (1980), Luken (1990) y Glenn-Lewin & van der Maarel, (1992), la cual indica que las especies que persisten y colonizan un ecosistema, después de un disturbio, tienen

características propias, como el método de arribo y la capacidad de adaptarse y establecerse que les permiten competir frente a otras especies

Las especies exóticas invasoras tienen un efecto negativo sobre las especies nativas en su desarrollo y así en la sucesión (D Antonio & Vitousek 1992), afectando la función y estructura del ecosistema, restringiendo el espacio para la llegada de especies nativas, lo que conlleva a procesos de extinción y hace necesario realizar un seguimiento al comportamiento de estas especies dentro de los tratamientos

No se encontraron diferencias en cuanto a la composición de la vegetación hallada entre cada uno de los tratamientos; de esta forma se establece que los biosólidos no tenían un acervo de semillas, ya que el desarrollo en el tiempo fue homogéneo. Entonces, se puede explicar la colonización de las especies, de acuerdo con lo que propone Bazzas (1983) y es precisamente la relación existente entre la población que coloniza y la influencia del área disturbada por el vecindario ecológico.

Adicionalmente, se encontró una relación directa entre las especies predominantes en los muestreos (*Pennisetum clandestinum*, *Holcus lanatus* y *Taraxacum officinale*) y la vegetación de las zonas aledañas, pues estas especies son predominantes en estas áreas, de donde probablemente salió el acervo de semillas con mayor probabilidad de colonizar en cada una de las parcelas. Estos resultados son comparables con los encontrados por Ochoa (2005), quien identificó que la colonización de cada una de las parcelas de estudio está asociada a la vegetación de las áreas adyacentes.

Las diferencias encontradas entre los tratamientos y el control, es sustentada a partir de la teoría de los requerimientos mínimos para el desarrollo de una especie, De esta forma, las especies que colonizaron los tratamientos, encontraron elementos esenciales aportados por los nutrientes contenidos en los biosólidos, que no fueron encontrados en el control.

El cambio en las condiciones micro climáticas y físico-químicas del lugar, permitió el desarrollo del proceso sucesional. Si esto se compara con los resultados del cuarto muestreo, los valores de riqueza no aumentaron en los tratamientos; esto posiblemente se debió, a la velocidad de crecimiento y los ciclos de respuesta de las diferentes semillas que arribaron e iniciaron el proceso de germinación, los cuales están determinados por factores ambientales tales como la luz, el CO₂, agua y nutrientes, además de la disponibilidad del sitio. (Tansley, 1935; Glenn et al., 1992). Como ejemplo podemos tomar a *Holcus lanatus*, ya que esta especie posee un alto porcentaje de germinación, tolerancia a la alta irradiación y facilidad para reproducirse; compite por luz, espacio, y no toleran la sombra (Anwandter et al., 2004)

Por otra microclima producido por otras especies así como la humedad y nutrientes posiblemente afecto la persistencia de estas especies así como la competencia con las otras especies; Para intentar entender el proceso de desarrollo sucesional basado en el modelo de Connell & Slatyer (1977), la a) facilitación de un espacio con los requerimientos de las plantas para su desarrollo. b) tolerancia a las condiciones ambientales de la zona por parte de las especies que arribaron y persistieron durante el experimento c) inhibición por alelopatía de algunas especies como *Pennisetum clandestinum* y competencia por los recursos.

12.2 Identificación del cambio de las especies vegetales, a través del tiempo, en las primeras fases de la sucesión.

Las especies dominantes en todos los tratamientos son exóticas naturalizadas y presentan un comportamiento invasivo con una alta ocupación; sumando a lo anterior, los biosólidos por sus contenidos de nutrientes y las condiciones ambientales que aportan al suelo, son susceptibles a la invasión de especies desde el primer momento en que el material es incorporado al sustrato.

De acuerdo con el modelo de Noble & Slatyer (1980), el cual plantea que la sucesión en etapas tempranas depende de los propágulos y la dispersión de semillas, estos factores posiblemente ocurrieron en el área del experimento, debido a que la mayoría de las especies presenta dispersión anemócora, además estas especies se encuentran en el área del experimento y en procesos tempranos de la sucesión ya que son altamente invasoras.

En el área de estudio predominó la gramínea *Holcus lanatus*, la cual se estableció rápidamente luego del tercer muestreo alcanzando el mayor porcentaje de cobertura seguida de *Pennisetum clandestinum* las cuales son consideradas especies invasoras en procesos sucesionales debido a su tendencia invasora (Missouri Botanical Garden 2005; Cárdenas 2005) esto es evidente en el experimento ya que estas desplazaron las demás especies a lo largo del tiempo de muestreo en una forma dura.

Las plantas herbáceas mostraron una relación positiva en los inicios de la colonización en las variables de altura y cobertura; sin embargo, para el cuarto muestreo la cobertura disminuyó, esto permite reflejar que a pesar de que estas plantas ganaron altura fueron desplazadas por otras plantas tales como las gramíneas, las cuales ganaron gran fuerza al no tener estas rivales por nutrientes.

La tendencia de la diversidad en todos los tratamientos fue similar en su comportamiento donde las especies herbáceas fueron desplazadas por las gramíneas esto pudo suceder debido a cambios en la composición del suelo debidos a la disponibilidad de nutrientes y gran capacidad de competencia.

Se estableció, que el tratamiento T4 (8/1) posee la mayor riqueza de especies. Sin embargo, no se encontró una relación, del aumento de la riqueza, con el aumento en la proporción de biosólidos, esto concuerda con lo encontrado por Ochoa (2005), quien establece que los resultados en la diversidad en donde los suelos fertilizados tienen una disminución de la diversidad de especies. Esto se hizo evidente al observar el cambio de diversidad a lo largo de los cuatro muestreos donde el aporte de enmiendas favorece la dominancia de algunas especies generando a su vez un desplazamiento de otras especies que no se adaptan a las condiciones en las que se encuentra el sustrato lo que concuerda con la afirmación realizada por Martínez *et al.*, (2003), Moreno & Peñaranda *et al.*, (2004). En Ochoa (2005)

La riqueza en la diversidad de especies vegetales medida a través del índice de Shannon mostró una tendencia a disminuir a lo largo de la sucesión; esto es una consecuencia del tipo de especies que colonizaron, ya que en su mayoría son exóticas, típicas de espacios antropizados, resistentes a condiciones adversas lo que las hace buenas competidoras frente a especies nativas en etapas tempranas de la sucesión. En el caso de la presente investigación, se encontró que especies colonizadoras como *Holcus lanatus*, *Pennisetum clandestinum* generaron disminución en la diversidad de cada uno de los tratamientos. Tendencia similar a lo encontrado por Sarmiento *et al.*, (2003).

Por otro lado, los resultados demuestran que con el transcurso del tiempo, existió una disminución en la diversidad de especies y por ende un aumento en la dominancia de hierbas perennes, (Mark *et al.*, 2005). Las especies encontradas pertenecientes a las familias Asteraceae y Poaceae, se desarrollaron en las etapas iniciales del experimento, lo que coincide con lo encontrado por Mora (1999), quien establece que estas mismas familias botánicas dominan dos parches de vegetación en una cantera abandonada.

Es por esto que las gramíneas han sido reportadas como buenas competidoras contra especies herbáceas, hasta llegar a ser una barrera para el desarrollo de la sucesión y como resultado las especies gramíneas inhiben la colonización de especies en etapas tempranas de la sucesión (Connell & Slatyer, 1977, Cárdenas 2005), debido a la reducción de luz en suelo, cambios en el microclima afectando la germinación y la transformación de nutrientes (D Antonio & Vitousek 1992)

Todos los tratamientos donde se encontraron estas especies no presentaron diferencias significativas en su cobertura, de igual forma la disminución de las especies en todas las parcelas fue similar, y el incremento de la cobertura en el tiempo, de las especies que lograron permanecer, fue igual en todos los tratamientos, donde se evidencio que los pastos fueron las especies que mayor cobertura alcanzaron al final del experimento desplazando a las demás plantas herbáceas.

Las especies de mayor aparición, mayor cobertura y altura estuvo dominada en los muestreos dos y tres por Asteráceas y Gramíneas exóticas, las cuales se comportaron de forma dominante en todo el experimento y pudieron incidir, en que la diversidad fuera baja; se podría decir que estas plantas dirigen la sucesión en sus inicios ya que por su sistema denso de raíces superficiales puede interrumpir la sucesión de otras especies que tiene un sistema radicular menos desarrollado (D Antonio & Vitousek 1992, Cárdenas 2005).

Las especies que colonizaron inicialmente y dominaron, tienen un gran efecto sobre las especies acompañantes en su desarrollo y ciclo de vida ya sea por la demanda de nutrientes efectos de sombra físicos y químicos los cuales llegan a ser capaces de impedir el establecimiento de las plántulas al punto de causar mortalidades prematuras de las poblaciones (Grime 1989; Cárdenas 2005)

Especies como *Sonchus oleraceus* presente en todos los tratamientos presentó el mayor porcentaje de cobertura durante los muestreos dos (2) y tres (3), el desarrollo rápido de ésta especie, redujo el espacio y generaron sombra para las otras especies como *Holcus lanatus* la cual se encontraba bajo la sombra de esta especie, hasta que *Sonchus oleraceus* cumplió su ciclo presentando una alta mortalidad, esto es de esperarse ya que es una especie que tiene un crecimiento rápido y un ciclo de vida corto (Everitt et al 1999). Sin embargo una vez cumplió su ciclo *S. oleraceus* permitió que las gramíneas dominaran sobre las otras plantas lo que permite ver una clara competencia por recursos como la luz y donde unas especies, desplazan a otras, de crecimiento mas lento y que necesitan mas luz para sus funciones como es el caso de las gramíneas. (Ver anexo 7)

Especies como *Sonchus oleraceus* redujeron el espacio y generaron sombra para las otras especies como *Holcus lanatus* la cual se encontraba bajo la sombra, sin embargo una vez cumplió su ciclo *S. oleraceus* permitió que las gramíneas dominaran sobre las otras plantas lo que permite ver una clara competencia por recursos como la luz y donde unas especies desplazan a otras de crecimiento mas lento y que necesitan mas luz para sus funciones como es el caso de las gramíneas.

La competencia puede estar guiada por un gradiente de recursos (luz, agua, nutrientes) y la capacidad de ser capturados y asimilados por las especies (Tilman 1982) caso ocurrido con *Holcus lanatus* y

Pennisetm clandestinum las cuales responden a este comportamiento y concuerda con lo encontrado por Cárdenas (2005)

Los valores más altos de riqueza se presentaron durante el segundo muestreo, frente a los más bajos presentados durante el último muestreo. Definitivamente, este resultado no concuerda con lo propuesto por Noble & Slatyer (1980), quienes postulan que la diversidad y la riqueza aumentan con el tiempo en un proceso sucesional. La riqueza de acuerdo al análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas, muestra una diferencia significativa en el tiempo, pero no entre tratamientos. Esto se debe posiblemente a la agresividad de estas especies para competir por los recursos, como es el caso de las gramíneas y especies exóticas las cuales son muy resistentes a las condiciones adversas, desplazando fácilmente a otras especies y dominando el terreno donde se han establecido.

9.3 Identificación del tratamiento que mejor permitió el desarrollo de la vegetación, en términos de cobertura cuando se aplican los biosólidos como una enmienda orgánica.

El tratamiento de biosólidos que permitió el mejor desarrollo de la vegetación en términos de cobertura fue el T4 (8/1), además de ser el que presenta mayores valores de riqueza y diversidad de las especies

Los resultados hallados en los tratamientos con biosólidos difieren con relación al control (sin aplicación de biosólidos), teniendo en cuenta que el patrón de desarrollo cambia si se compara cada tratamiento con el control (Pickett y colaboradores, 1987). Según Mark *et al.*, (2005) los resultados son evidencia de los efectos de la aplicación de biosólidos, en el desarrollo de la vegetación, ya que al aplicar biosólidos los contenidos de los diferentes nutrientes aumentan generando cambios en las propiedades del suelo en la medida que pasa el tiempo.

Es importante mencionar que la variable con mayor incidencia sobre el desarrollo del proceso sucesional fueron los biosólidos, ya que por sus particularidades físicas y químicas, transformó las condiciones del medio, lo que permitió generar un proceso de recambio de especies a través del tiempo. Los biosólidos como enmienda edáfica traen consigo beneficios positivos al establecimiento de la vegetación si se comparan con la vegetación de los estériles.

Los resultados obtenidos en el análisis de la cobertura de las especies, demuestran que existe una incidencia del aporte de biosólidos en el aumento de la cobertura en las parcelas, frente a las parcelas control. Sin embargo, no existe una relación entre la proporción de biosólidos y el porcentaje de cobertura de las especies. Debido posiblemente a que las concentraciones de nutrientes en los

tratamientos con biosólidos fueron altas (tabla 14) con la posibilidad de que la disponibilidad de nutrientes para las plantas sea mayor.

Para todos los tratamientos, la especie con mayor porcentaje de cobertura fue *Holcus lanatus*, y esta de acuerdo con lo hallado por Ochoa, (2005), quien encontró que dicha especie ocupaba el mayor porcentaje de cobertura en sus parcelas de estudio. Según Grime y colaboradores, (1989), este pasto se adapta a diferentes condiciones de fertilidad, por su plasticidad fenotípica en niveles contrastantes de nutrientes. Es posible, que el hecho de encontrar esta especie en todas las parcelas, esté relacionada con las altas concentraciones de biosólido utilizadas, que favoreció el desempeño y crecimiento homogéneo de esta especie.

Una especie presente en todos los tratamientos fue *Sonchus oleraceus*, la cual presentó el mayor porcentaje de cobertura durante los muestreos dos (2) y tres (3); el desarrollo rápido de ésta especie, ocultó la presencia de otras plantas, como fue el caso de las gramíneas, que permanecieron a ras del suelo; y por la dificultad en la penetración de la luz pasó un oculto, hasta que *Sonchus oleraceus* cumplió su ciclo presentando una alta mortalidad, esto es de esperarse ya que es una especie que tiene un crecimiento rápido y un ciclo de vida corto (Everitt et al 1999).

Pennisetum clandestinum tuvo un comportamiento similar en cobertura a *Holcus lanatus* en el último muestreo ya que también es una gramínea y tiene un desarrollo eficiente sobre sustratos con condiciones óptimas de humedad, luz y materia orgánica. Los tratamientos donde *P. clandestinum* mejor cobertura logró fueron T5 biosólidos y T4 (8/1), en el tratamiento control la especie no se presentó, debido probablemente a la diferencia en las condiciones del sustrato y la ausencia de materia orgánica.

En el control, la especie con mayor cobertura fue *Holcus lanatus*, seguida de *Taraxacum officinale*, estas especies tienen como característica un amplio rango de tolerancia a suelos con escasez de materia orgánica (Anwandter et al., 2004)

La aplicación de biosólidos en altas proporciones restituye funciones perdidas del sustrato, como es la ausencia de nutrientes, agua. Además modifica el régimen de perturbación y la fertilidad del suelo modificando las condiciones físicas. (Hobbs et al., 1995).

13. CONCLUSIONES

- El cambio de la composición florística fue similar entre los diferentes tratamientos pero no entre tratamientos y el control de estériles.
- La riqueza de especies disminuyó con el tiempo si se comparan los valores del segundo muestreo con los del cuarto muestreo.
- La diversidad no varió entre los tratamientos con biosólidos, esto se puede explicar por medio de las concentraciones utilizadas, la disponibilidad de nutrientes y espacio.
- El tratamiento T4 (8/1) fue el tratamiento que presentó mayor porcentaje de cobertura frente a los demás tratamientos ya que en términos de respuesta fue el mejor; mientras, que la cobertura en el tratamiento control fue baja frente a la cobertura de las especies en los tratamientos con biosólidos. Adicionalmente, la cobertura presentada entre tratamientos se incremento con el tiempo de forma homogénea.
- Los tratamientos con concentraciones elevadas de biosólidos permitieron el desarrollo de la vegetación en términos de cobertura de forma más eficiente que los tratamientos estériles.
- Los biosólidos como enmienda edáfica traen consigo beneficios positivos al establecimiento de la vegetación si se comparan con la vegetación de los estériles.

14. RECOMENDACIONES

- Es importante llevar a cabo estudios en donde las condiciones climáticas sean diferentes y permitan comparar las respuestas frente a trabajos realizados, con el fin de evaluar el cambio en el tiempo de las especies colonizadoras.
- Es necesario tener en cuenta las condiciones sociales del área a restaurar, debido a que los biosólidos generan malos olores que pueden afectar el entorno de lugares donde la población aledaña es numerosa.
- Se sugiere realizar experimentos donde sean plantadas diferentes especies y reconocer su grado de tolerancia frente a los biosólidos, con el fin de conocer la respuesta de las plantas a estas condiciones y observar a futuro si los procesos ecológicos naturales pueden operar de forma positiva, comprobada en el aumento de la biomasa.
- Es posible recomendar la utilización el tratamiento T4 (8/1), el cual fue el que mejor respuesta obtuvo en la colonización de la vegetación riqueza de especies y formación de cobertura.

15. LITERATURA CITADA

- **Alcaldía Mayor de Bogota, 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.
- **Alcañiz, J.M., 2001.** Utilización de lodos de depuradora en la restauración de canteras. Universidad Autónoma de Barcelona. CREA Centre de Recerca Ecológica. Applications Forestals. Bellaterra (Barcelona).
- **Alcañiz, J. & Ortiz O., Comellas M., y Pujola E., Rodrigues S.E 1998.** Utilización de lodos de depuración en la rehabilitación de suelos de canteras. *Ingeopres* (59): 28-34
- **Alcaldía Mayor de bogota IDCT 2002.** Ficha técnica turística Localidad de San Cristóbal. <http://www.bogotaturismo.gov.co/turismo/productos/panorama/A1-Ficha%20San%20Crist%F3bal.pdf>
- **Amézquita, C. 2002.** Evaluación del uso de Biosólidos de la Planta el Salitre como sustrato en procesos de recuperación de suelos y revegetalización – Cantera la fiscal. Tesis de pregrado. Ingeniería ambiental y sanitaria Universidad de la Salle. Pp: 85.
- **Anwandter A. V, Balocchi L.O, López C.I & Pinochet T.D. 2004.** Plasticidad fenotípica de accesiones de *holcus lanatus* l. colectadas en praderas con niveles contrastantes de fósforo disponible en el suelo. Instituto de Producción Animal. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. *AGROSUR* 32(2) 13 25
- **Barrera, J. I. & Ríos H. F. 2002.** Acercamiento a la ecología de la restauración. Pérez – Arbelaezia No 13, Bogotá.
- **Bazzas, F.A 1996.** Plants in changing environments. Cambridge University Press.Pp 320.
- **Bazzaz, F.A. & Pickett, S.T.A. 1980.** Physiological ecology of tropical succession: a comparative review. *Annual review on ecology and sistematics* 11: 287-310.

- **Bell S. S., Fonseca M. S & Motten L. B., 1997.** Linking Restoration and Landscape Ecology. Restoration Ecology Vo. 5 No. 4
- **Beeby, A. 1993.** Applying Ecology. Chapman & hall cap 7.
- **Bradshaw, A. 1997.** Restoration of mined lands – using natural processes. Ecological Engineering 8: 225- 269.
- **Brown, S. & Lugo, A. 1994.** Rehabilitation of Tropical Lands: A key to Sustaining Development. Restoration Ecology Vol. 2 (2) Pp 97 11.
- **Calderón Sáenz. 2003.** Plantas invasoras en Colombia, una visión preliminar Programa de Biología de la Conservación, Línea 'Especies Focales. INSTITUTO ALEXANDER-VON-HUMBOLDT.
- **Camargo G. & Salamanca B. 2002.** Protocolo Distrital de Restauración Ecológica guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Bogotá. Departamento Técnico Administrativo Del Medio Ambiente (DAMA), Fundación Estación Biológica Bachaqueros. 1- 285
- **Camargo G. 2001.** El proceso histórico y las perspectivas de ordenamiento de los cerros orientales de Bogotá, D.C. ambiente y desarrollo. N° 9.
- **CAR 2007.** Informe del estado de la minería en la jurisdicción. Carta ambiental 19.
www.car.gov.co/documentos/1_16_2007_8_47_15_AM
- **Cárdenas Tamayo T, A. 2005.** Efecto de la plantación de chilco (*Baccharis latifolia* R.&P.) y corono (*Xiloma spiculiferum* Tr&PL) a diferentes densidades sobre la sucesión vegetal en fases iniciales en áreas afectadas por pastoreo en la microcuenca Santa Helena, Suesca Cundinamarca. Pontificia Universidad Javeriana
- **Castillo, A- Gauna, D Dalurzo, H- Fernández, S. 2004.** Tobacco sticks and tung expeller as organic amendments on an Ultisol physical properties. Alarce INIA pp. 288-294.
[http://alarce.inia.cl/agriculturatec/Espa%C3%B1ol/v.64\(3\)-Espa%C3%B1ol.htm](http://alarce.inia.cl/agriculturatec/Espa%C3%B1ol/v.64(3)-Espa%C3%B1ol.htm) obtenida el 21 May 2007 02:17:29 GMT.

- **Cochran, W. & Cox G. 1965.** diseños experimentales. Editorial Trilla. Mexico Pp: 661.
- **Correa, A. 2000.** La Explotación Racional de Canteras y Su Incidencia en el Medio Ambiente. CER-Restauración de Ecosistemas Alterados Por La Explotación Minera. Bogotá. pp.: 1-13.
- **Connell, J. H.; R. O., Slatyer, 1977.** Mechanisms of Succession in Natural Communities and Their Role in Community Stability and Organization. The American Naturalist. 111(982):1119-1144.
- **Clewell, A. 1993.** Ecology, Restoration Ecology, and Ecological Restoration. Restoration Ecology Vol. 1 No. 1.
- **Curso Internacional de restauración ecológica de canteras y uso de biosólidos. 2003** Pontificia Universidad Javeriana.
- **D Antonio, C. M., Vitousek, P.M. 1992.** Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. Annu. Rev. Ecol. Syst. 23: 63 – 87
- **Daguer, J.P 2003.** Gestión de biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) El Salitre. En: Curso Internacional de Restauración Ecológica de Canteras y Uso De Biosólidos.
- **DAMA, 2003.** Ficha Ambiental Localidad 4: San Cristóbal. <http://observatorio.dama.gov.co/anexos/fichas/04sancristobal.pdf>
- **DAMA, 2004.** Adecuación geomorfológica y restauración ecológica del mirador del cerro Juan Rey en la localidad de San Cristóbal unión temporal suiza. Bogota D.C
- **DAMA.** Departamento Técnico Administrativo Del Medio Ambiente Síntesis Del Componente Biofísico del Parque Ecológico Distrital De Montaña Entrenubes. Bogota D.C
- **Decreto 056 de 2005 (Marzo 11)** «Por el cual se crea el Comité Interinstitucional para la coordinación de la actuación administrativa del Distrito Capital en el manejo de los Cerros

Orientales de Bogotá D.C.». EL ALCALDE MAYOR DE BOGOTÁ, DISTRITO CAPITAL.
Publicado en el Registro Distrital 3288 de marzo 11 de 2005.

- **Delgado, A. & Mejía. 2002.** Apoyo a las actividades de evaluación y seguimiento de la industria extractiva en el Distrito Capital. Alcaldía Mayor de Bogotá. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente. Bogotá
- **Drury, W. & Nisbet. I. 1973.** Succession. *Journal of the Arnold Arboretum*. 54 (3): 331-3368
- **Ehrenfeld J. G. & Toth L. A., 1997.** Restoration Ecology and the Ecosystem Perspective. *Restoration Ecology* Vol. 5 No. 4.
- **Elleberg, H. & D. Mueller-Dombois., 1974.** Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & sons. USA. 547p.
- **Everitt, J.H., D.L. Drawe, and R.I. Lonard. 1999.** Field guide to the broad leaved herbaceous plants of South Texas used by livestock and wildlife. Texas Tech University Press, Lubbock.
- **Forman, R. and M. Gordon (1986).** Landscape Ecology. J. Wiley. New York.
- **Foth, H, 1978.** Fundamentals of Soil Science. Sixth edition. John Wiley & Sons, NY. Pp 436 cap 6, 123-143
- **García I., 2001.** nuevos usos para el reciclado en el suelo de residuos urbanos: biocontrol en agricultura sostenible; recuperación de suelos degradados Departamento de conservación de suelos y agua, y manejo de residuos orgánicos. Cebas-csic campus universitario de Espinado España
- **Glenn – Lewin, D., Peet, R., & Veblen, T. 1992.** Plant Succession: theory and prediction. Chapman & hall. USA. capitulo 1
- **Glenn- Lewin, D & E van der Maarel, 1992.** 1: Patterns and processes of vegetation dynamics. En *plant Succession theory and prediction population and community biology*. Series 11. Chapman & Hall. London – New York – Tokio Melbourne- Madras 11-59

- **Grime, J. P. 1989.** estrategias de adaptación de las plantas y procesos que controlan la vegetación. Editorial Limusa, S.A. México, D.F. Pp 13 - 287
- **Guacaneme, S., 2005.** Efecto de la aplicación de biosólidos en diferentes proporciones en la recuperación de un suelo disturbado por actividad extractiva. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana.
- **Gurevech J, Scheiner M y Fox, G. 2002** The Ecology of plants. Sinauer. Suderland USA. 253 – 274 pp.
- **Hernández, E. 1996.** Programa de restauración y usos futuros de terrenos afectados por actividades mineras. IX congreso Nacional de Minería “desafíos de la minería colombiana para el siglo XXI”
- **Hooper D.U, Chapin F.S., Ewel J.J., Hector A., Inchausti P., Lavorel S., Lawton J.H, Lodge D.M, Loreau M., Naeem S., Schmid B., Setala H., Symstad A.J, Vandermeer J. and Wardle D.A. 2005.** Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. Ecological Society of America (ESA). Ecological Monographs pp 3-35
- **Hobbs, R.J. & L.F Hueneke. 1992.** Disturbance, diversity, and invasion: Implications for conservation. Conservation Biology. 6(3): pp 324-337
- **Hubach, E. 1957:** Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y Alrededores. Servicio Geológico Nacional, Boletín Geológico, Vol. 5 (2): 95-112. Bogotá.
- **Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1984.** Estudio Regional Integrado del Altiplano Cundiboyance. Santa Fe de Bogotá. Pp 35-44, 304
- **Janzen, D. 1973.** Rate of regeneration after tropical high elevation fire. Biotropica 5:117-122
- **Luken, J., 1990.** Directing Ecological Sucesión. Chapman & hall.
- **Luttge, U. & M. Kluge. & G. Bauer. 1993.** Botánica. México. Interamericana / Mc Graw-Hill. Pp. 573

- **Magurran, A., 1989.** Diversidad ecológica y su medición. Primera Edición. Ediciones Vedral. Barcelona, España. Pp: 200.
- **Malagón, D. Montenegro, H. y D. 1995.** Suelos de Colombia: Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. IGAC. Bogotá. 632p.
- **Maina G. G. & HOWE H. F., 2000.** Inherent Rarity in Community Restoration. Conservation biology Vol. 14 No. 5.
- **Mark W. Paschke, Kart Topper, Robert B. Brobst, & Edward F. Redente. 2005.** Long Term Effects of Biosolids on Revegetation of Disturbed Sagebrush Steppe in Northwestern Colorado. Restoration Ecology. Pp 545-551
- **Márquez, G. 1991.** De la Abundancia a la Escasez, la transformación de los ecosistemas en Colombia. Universidad nacional de Colombia. Consultado en URL. <http://www.unal.idea.edu.co/public.publicaciones.total.html>. hora y fecha de consulta agosto marzo 14 9:40 a.m.
- **Missouri Botanical Garden 2005.** W3 TROPICOS. www.mobot.org. Shaw Boulevard, St Louis, MO63110. Copyright © 2005
- **Moeller Chávez Gabriela, Salgot Miguel, Claudia Campos, 2005.** Tratamiento, Disposición Y Aprovechamiento De Lodos Residuales. México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 382 p. 1a edición.
- **Morales J. & Minervini N. 2002.** Aprovechamiento de los biosólidos producidos por la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre. Bogotá, Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería Civil. Área Ambiental.
- **Moreno, C., 2001.** Métodos para medir la biodiversidad. MT manuales y Tesis SEA. Madrid, España. Pp: 41- 43
- **Mora R.A., 1999.** Patrones de sucesión vegetal sobre depósitos de material residual mineral en minas de gravas (Bogota DC). Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia.

- **Mostacedo, B. & Fredericksen T S, 2000.** Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia. 37p
- **Montenegro A. L -S., Ávila Parra & Hooz A. A., Mendivelso-Ch. Vargas O. 2006.** Potencial del banco de semillas en la regeneración de la vegetación del humedal Jaboque, Bogotá, Colombia. Caldasia 28 (2) 285-306
- **MMA. 2003.** Ministerio De Medio Ambiente Vivienda Y Desarrollo Territorial de Colombia. <http://www.minambiente.gov.co>
- **Munshower, F.1994.** Practical hand book of disturbed land revegetation. Lewis publishers. USA. pp265
- **Murcia C. & Kattan G. 1998.** Efectos de distintas estrategias de restauración sobre los procesos ecológicos. Instituto Alexander von Humboldt. Propuesta de investigación.
- **Noble, I. & Slatyer R., 1980.** The Use of Vital Attributes to Predict Successional Changes in Plant Communities Subject to Recurrent Disturbances. Vegetation(45): 5-21
- **Ochoa, A., 2005.** Efecto de la aplicación de biosólidos, sobre el desarrollo de la vegetación en las primeras etapas sucesionales, en la cantera Soratama, localidad de Usaquen, Bogota. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana.
- **Pacheco, L & Patiño B., 2003.** Evaluación de la aplicación de biosólidos producidos en la Planta de Tratamiento el Salitre en la revegetación del Relleno Sanitario Doña Juana. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, carrera de ingeniería civil, Bogotá, D.C.
- **Peet, R. K., 1992.** Community structure and ecosystem function. En: Plant succession: theory and prediction. D. C. Glenn-Lewin, R. K. Peet and T. T. Veblen (eds). Population and community biology series 11. Chapman y Hall. London. Pp.103-140.

- **Picket, S. & White, P 1985.** The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. An introduction Cap 9, 147-168 In: The ecology of natural disturbance and patch dynamics academic Press Limited.
- **Picket. s. T. A., s. L. Collins & j.J. Armesto, 1987.** Models, Mechanisms and pathways of succession. Bot. Rev. 53: 335-337.
- **PNUD & DAMA 2000.** estudio básico Para la conformación de un parque minero industrial, Para el ordenamiento y el desarrollo de la actividad extractiva transformadora de materiales arcillosos con fines de desmarginación de barrios en el DC.
- **Porta, J. M. López – Acevedo, C .Roquero, 1994.** Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente Ediciones Multiprensa Madrid.
- **Ramírez, A 1999.** Ecología aplicada. Diseño y Análisis Estadístico. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- **Rosenfeld, A., & Sweeting, A Clark, p 2000.** Lightening the Lode. A Guide to Responsible Large-scale Mining. CI, Policy papers. Conservation International Pp117
- **Salinas, M. J & Guirado, J. 2002.** Riparian plant restoration in summer – dry riverbeds of Southeastern Spain. Restoration Ecology. 10 (4): 965-702
- **SER. 2004.** Society for Ecological Restoration International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration Internacional.
- **Sort, X. & Alcaníz J.M. 1996.** Contribution of Sewage Sludge to Erosion Control in the rehabilitation of Limestone Quarries. Land degradation and Development. 7: 69- 76
- **Sort, X. & Alcaníz. J.M. 1998.** Modification of soil porosity after application of sewage sludge. Soil & Tillage Research. Pp 337-345.
- **Sousa, W., 1984.** The role of disturbance in natural communities. Annual review of Ecology and Systematics 15: 353- 391

- **Stiling, P 1999.** Ecology: Theories and Applications. Prentice Hall, Inc. USA cap 18.
- **Suárez, F. J 2003.** Diseño Experimental Aplicado al sector agropecuario, editorial Dimaj Bogotá D.C. Colombia. Pág. 126 – 157.
- **Szabolcs, I. 1994.** The Concept of Soil Resilience in: Soil Resilience And Sustainable Land use Proceedings of a symposium held in Budapest, 28 sep to oct 1992. DJ Greenland & Szabolcs,I. (eds). 21-33. CAB international. UK. 561 pag
- **Tate, R. 1987.** Soil Organic Matter. Biological Systems. A Wiley intermscience publication. US. 291 pag. 631. 4t17.
- **Tilman, D. 1982.** Resource Competition and Community Structure. Princeton University Press.Princeton, NJ. USA.
- **Parker T. 1997.** The Scale of Successional Model y Restoration Objectives. Restoration Ecology Vol. 5 No. 4.
- **Van Andel, J. & Van der Berg, J.P. 1987.** Disturbance of grasslands. Outline of the theme, in disturnace in grasslands, Causes, effects and processes (eds J. van Andel, J.P. Bakker and R.W.
- **Vargas, R.O 1997.** Un modelo de sucesión. Regeneración de los páramos después de quemas Caldasia Vol. 19 (1-2): 321-345.
- **Vilà M, 1997.** Efectos de la diversidad de especies en el funcionamiento de los ecosistemas. Orsis 13, 105-117
- **Woodwell G. M., 1994,** Ecology: The Restoration. Restoration Ecology Vol. 2 No. 1.

16. ANEXOS

Anexo 1. FOTOGRAFÍAS DEL ÁREA DE ESTUDIO EN EL PRIMER PERIODO DE MUESTREO



(a).



(b).



(c)

Figura. 25 (a) Condiciones del sustrato en las subparcelas desprovistas totalmente de vegetación, durante el primer muestreo dos meses después de haber sido construidas las parcelas. (b) Parcelas y subparcelas, tratamiento T5 (biosólidos). (c) Condiciones de suelo desnudo para el tratamiento T3 y las demás parcelas.

Anexo 2. FOTOGRAFÍAS DEL ÁREA DE ESTUDIO EN EL SEGUNDO PERIODO DE MUESTREO



(a)



(b)



(c).

Figura 26. (a). Colonización de la vegetación en el tratamiento T4 (8/1). (b). Colonización de la vegetación en el tratamiento de T5 (biosólidos), durante el segundo muestreo. (c)Aspecto general de todos los tratamientos durante el segundo muestreo.

ANEXO 3. COBERTURA ENCONTRADA POR ESPECIE.

Tabla 15. Coberturas de vegetación encontrada por especie durante el segundo periodo de muestreo.

CARACTERISTICAS	TRATAMIENTO					
	T1	T2	T3	T4	T5	EST
<i>Morfoespecies</i>						
<i>Holcus lanatus</i>	0,331	0,400	0,37	0,702	0,770	0,504
<i>Sonchus oleraceus</i>	4,333	5,209	0,534	4,468	2,797	0,608
<i>Pennisetum clandestinum</i>		0,033		0,338	0,118	
<i>Taraxacum officinale</i>	0,033	0,093	0,016	0,020	0,176	0,013
<i>Achyrocline satureoides</i>	0,034	0,017	0,009	0,078	0,087	1,791
<i>Senecio madagascarensis</i>	0,930	1,869	0,119	1,317	0,630	0,059
<i>Hypochaeris radicata</i>	0,620	0,369	0,239	0,685	0,638	0,346
<i>Apiaceae</i>						
<i>Cardon</i>				0,013		
<i>Scrophulariacea</i>		0,008		0,030	0,001	0,113
<i>Spergula arvensis</i>	0,683			2,878		0,033
<i>m13</i>						
<i>Ulex europaeus</i>	0,003	0,001				0,004
<i>m1</i>						
<i>m2</i>						
<i>m3</i>						
<i>Hibiscus sp</i>						
<i>m4</i>						
<i>baccaris sp</i>						
<i>m5</i>				0,006		0,138
<i>m6</i>					0,100	
<i>m7</i>						
<i>m8</i>	0,005		0,05			
<i>m9</i>				0,050		
<i>m10</i>	0,003			0,005	0,008	
<i>m11</i>						
<i>m12</i>		0,005				
<i>Phytolacca bogotensis</i>	0,003	0,003				
Total general	6,51	7,91	1,299	8,37	5,11	3,41
Suelo desnudo	92,88	93,38	98,7	91,63	94,89	96,59

ANEXO 3. COBERTURA ENCONTRADA POR ESPECIE.

Tabla 16. Coberturas de vegetación encontrada por especie durante el tercer periodo de muestreo.

CARACTERISTICAS	TRATAMIENTO						
	Morfoespecies	T1	T2	T3	T4	T5	EST
<i>Holcus lanatus</i>		11,670	11,150	17,886	9,958	16,739	12,966
<i>Sonchus oleraceus</i>		21,226	31,164	30,270	24,105	25,749	1,619
<i>Pennisetum clandestinum</i>				0,150	1,719	0,938	0,487
<i>Taraxacum officinale</i>		1,921	2,801	4,273	2,906	3,779	0,300
<i>Achyrocline satuireoides</i>		1,625	0,738	1,391	1,151	0,406	7,582
<i>Senecio madagascarensis</i>		3,788	3,119	1,300	1,894	1,175	1,813
<i>Hypochaeris radicata</i>		2,064	0,050	4,050	0,379	0,688	2,656
<i>Apiaceae sp</i>							
<i>Cardon sp</i>					1,450	5,750	
<i>Scrophulariaceae</i>		0,025	0,013		0,094		1,781
<i>Spergula arvensis</i>		1,613					
m13			0,188	0,329		1,759	0,013
<i>Ulex europaeus</i>		0,025					
m1			1,125				
m2				0,750			
m3		0,475					
<i>Hibiscus sp</i>		0,375					
m4		0,100			0,025	0,150	
<i>baccaris sp</i>						0,250	
m5							
m6							
m7						0,063	
m8							
m9							
m10							
m11					0,013		
m12							
<i>Phytolacca bogotensis</i>							
Total general		41,26	48,45	58,34	42,10	51,65	26,06
Suelo desnudo		58,74	51,55	41,66	57,90	48,35	73,94

ANEXO 3. COBERTURA ENCONTRADA POR ESPECIE.

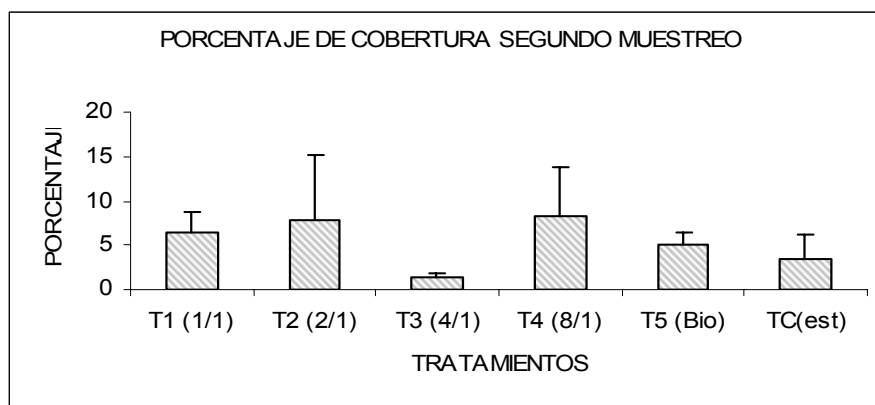
Tabla 17. Coberturas de vegetación encontrada por especie durante el cuarto periodo de muestreo.

CARACTERISTICAS	TRATAMIENTO					
	T1	T2	T3	T4	T5	EST
Morfoespecies						
<i>Holcus lanatus</i>	65,83	66,250	69,583	56,667	60,000	42,083
<i>Sonchus oleraceus</i>			1,250			6,250
<i>Pennisetum clandestinum</i>	28,750	6,875	16,250	23,333	20,833	
<i>Taraxacum officinale</i>	5,625	10,625	3,500	8,750	2,500	4,583
<i>Achyrocline satureoides</i>	2,500				1,250	5,000
<i>Senecio madagascarensis</i>						
<i>Hypochaeris radicata</i>						
<i>Apiaceae sp</i>						11,250
<i>Cardon sp</i>				7,500		
<i>Scrophulariaceae</i>						2,500
<i>Spergula arvensis</i>						
<i>m13</i>						
<i>Ulex europaeus</i>	2,500					
<i>M1</i>						
<i>M2</i>						
<i>M3</i>						
<i>Hibiscus sp</i>						
<i>M4</i>						
<i>baccaris sp</i>						
<i>M5</i>						
<i>M6</i>						
<i>M7</i>						
<i>M8</i>						
<i>M9</i>						
<i>m10</i>						
<i>m11</i>						
<i>m12</i>						
<i>Phytolacca bogotensis</i>						
Total general	80,83	77,92	84,75	88,33	83,75	55,00
Suelo desnudo	19,17	22,08	15,25	11,67	16,25	45,00

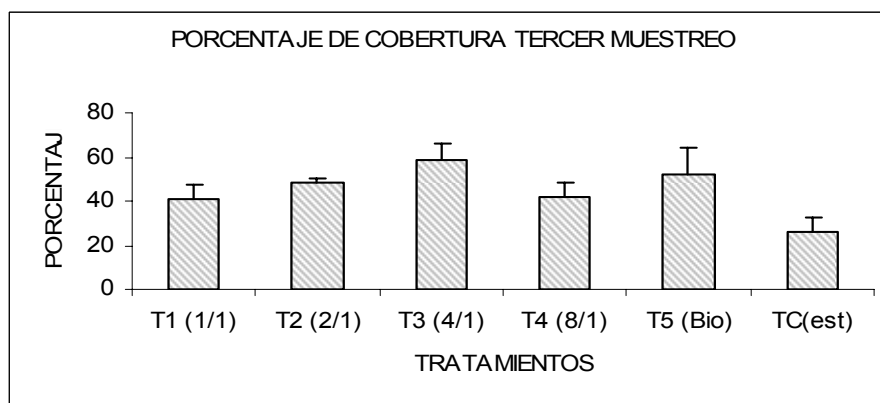
ANEXO 4. ANÁLISIS DE COBERTURA

Tabla 18. Valores promedio y desviaciones estándar del Porcentaje de cobertura, para cada uno de los tratamientos y periodos de muestreo.

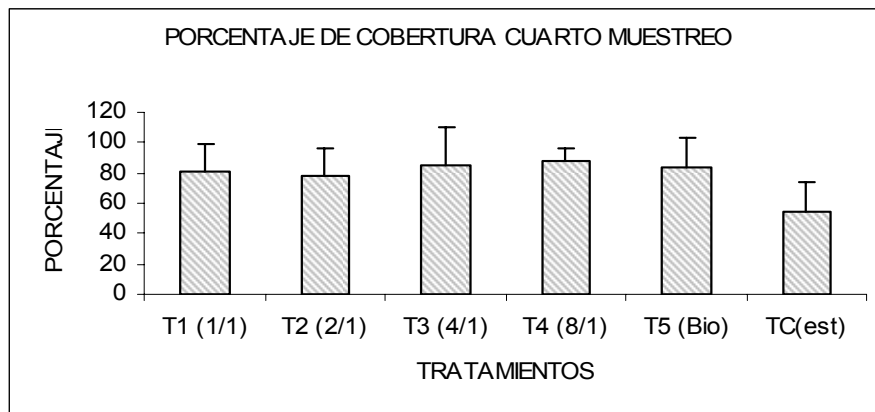
		Tratamiento					
		T1 (1/1)	T2 (2/1)	T3 (4/1)	T4 (8/1)	T5 (Bio)	TC (est)
Primer muestreo	Promedio	00	00	00	00	00	00
	DS	00	00	00	00	00	00
Segundo muestreo	Promedio	6.51	7.91	1.30	8.37	5.11	3.41
	DS	2.12	7.35	0.46	5.43	1.38	2.81
Tercer muestreo	Promedio	41.26	48.45	58.34	42.10	51.65	26.06
	DS	6.23	1.43	7.78	6.26	12.13	6.96
Cuarto muestreo	Promedio	80.83	77.92	84.75	88.33	83.75	55.00
	DS	17.74	17.87	25.77	8.04	19.24	19.41



(a)



(b)



(c)

Figura 27. (a) Porcentaje de cobertura durante el segundo muestreo. (b) Porcentaje de cobertura, tercer muestreo. (c) Porcentaje de cobertura durante el cuarto muestreo.

Tabla 19. Resultados del ANOVA de medidas repetidas de la variable % de Cobertura (transformada Arcoseno (raíz cuadrada)) para las parcelas con diferentes tipos de sustrato.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P
Tratamiento	0.38710	5	0.07742	2.7415	0.070718
Error	0.33888	12	0.02824		
Tiempo	7.87245	2	3.93623	114.6732	< 0.0001*
Tiempo x tratamiento	0.28889	10	0.02889	0.8416	0.595309
Error	0.82381	24	0.03433		

- Diferencias significativas a un $\alpha = 0.05$

ANEXO 4. ANÁLISIS DE COBERTURA

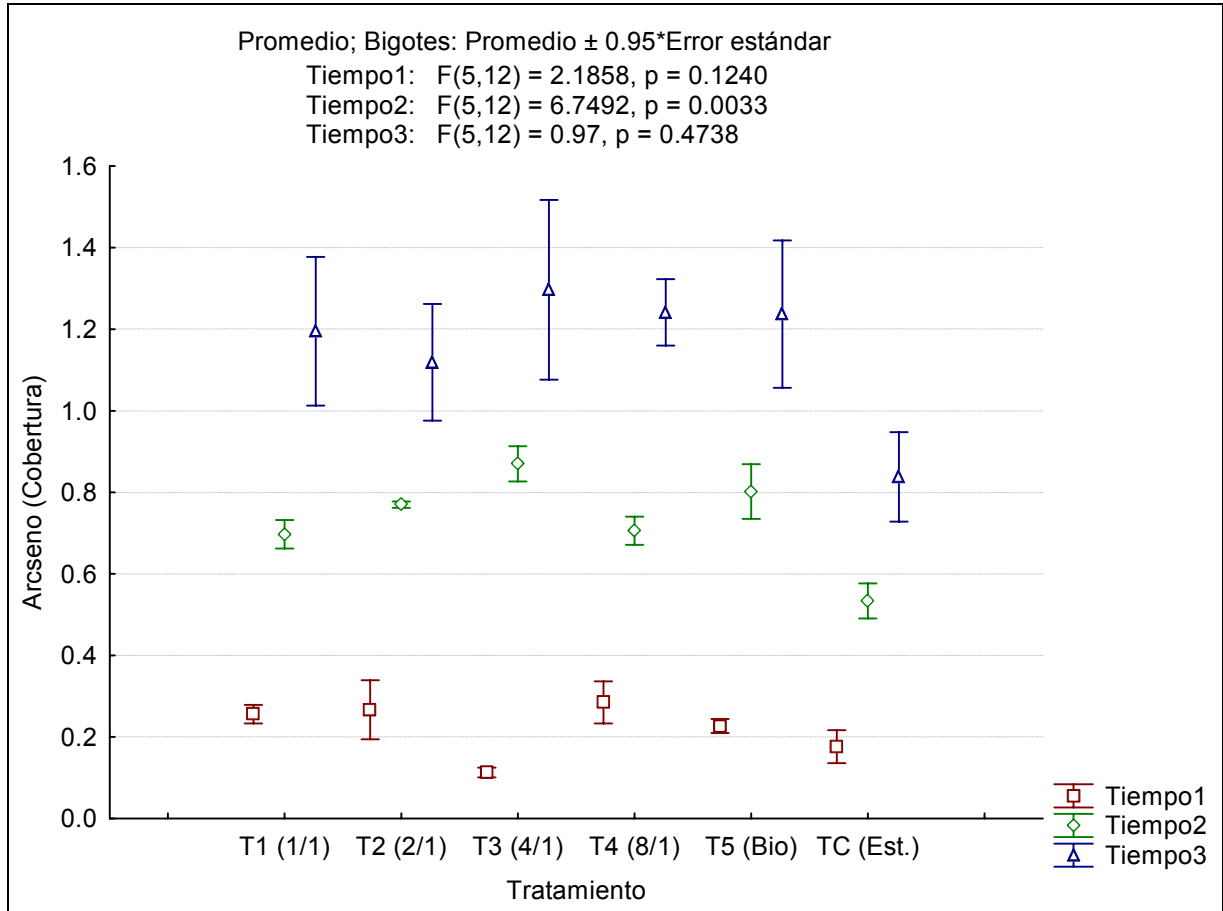
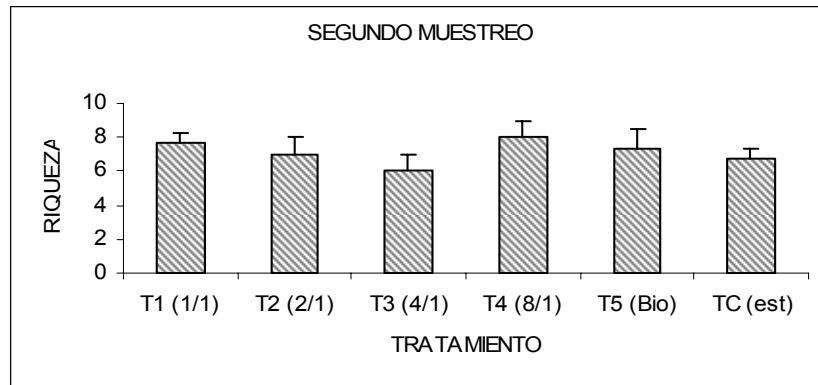


Figura 28. Grafica de cajas y bigotes la cual delimita los números y parámetros de los datos, medianas, distribución datos, error estándar. De los promedios de cobertura en los tiempos de muestreo.

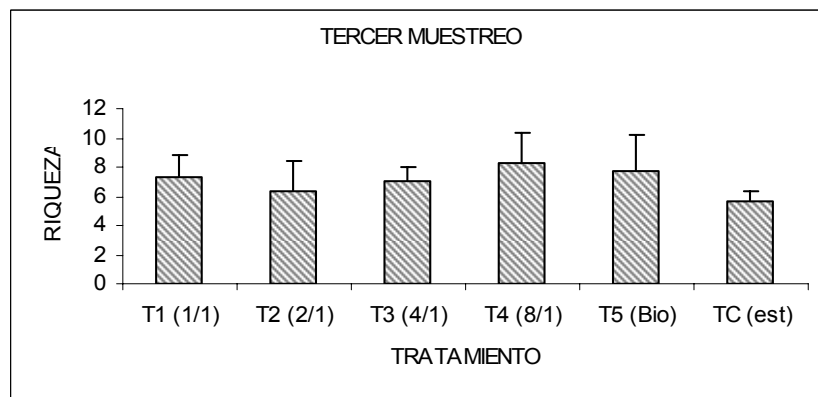
ANEXO 5. ANÁLISIS DE RIQUEZA

Tabla 20. Valores promedio y desviaciones estándar de la riqueza, para cada uno de los tratamientos y periodos de muestreo.

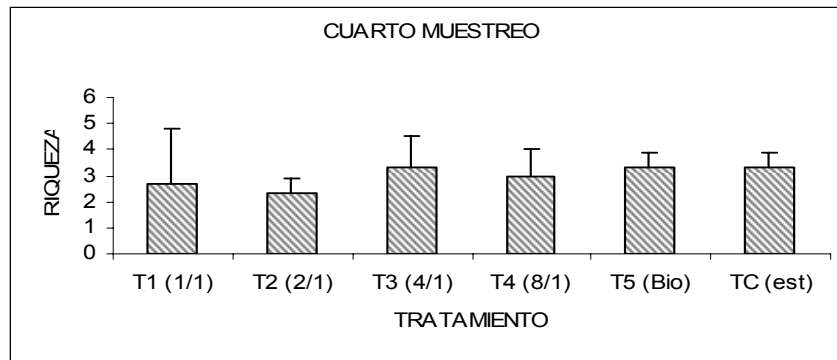
		Tratamiento					
		T1 (1/1)	T2 (2/1)	T3 (4/1)	T4 (8/1)	T5 (Bio)	TC (est)
Primer muestreo	Promedio						
	SD						
Segundo muestreo	Promedio	7.7	7.0	6.0	8.0	7.3	6.7
	SD	0.6	1.0	1.0	1.0	1.2	0.6
Tercer muestreo	Promedio	7.3	6.3	7.0	8.3	7.7	5.7
	SD	1.5	2.1	1.0	2.1	2.5	0.6
Cuarto muestreo	Promedio	2.7	2.3	3.3	3.0	3.3	3.3
	SD	2.1	0.6	1.2	1.0	0.6	0.6



(a)



(b)



(c)

Figura 29. (a) Variación de la riqueza en los diferentes tratamientos durante el segundo muestreo. (b) Variación de la riqueza en los diferentes tratamientos durante el tercer muestreo. (c) Variación de la riqueza en los diferentes tratamientos durante el cuarto muestreo.

Tabla 21. Resultados del ANOVA de medidas repetidas de la variable Riqueza de especies que colonizan las parcelas con diferentes tipos de sustrato.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P
Tratamiento	11.500	5	2.300	1.0615	0.427737
Error	26.000	12	2.167		
Tiempo	200.111	2	100.056	65.4909	< 0.0001*
Tiempo x Tratamiento	12.556	10	1.256	0.8218	0.611830
Error	36.667	24	1.528		

*Diferencias significativas a un $\alpha = 0.0$

Tabla 22. Comparaciones múltiples – Prueba de Tukey para el factor Tiempo en la variable riqueza.

	2do muestreo	3er muestreo	4to muestreo
	{1} 7.1111	{2} 7.0556	{3} 3.0000
2do muestreo		0.99011475	0.00012912*
3er muestreo	0.99011475		0.00012912*
4to muestreo	0.00012912*	0.00012912*	

* Diferencias significativas a un $\alpha = 0.05$

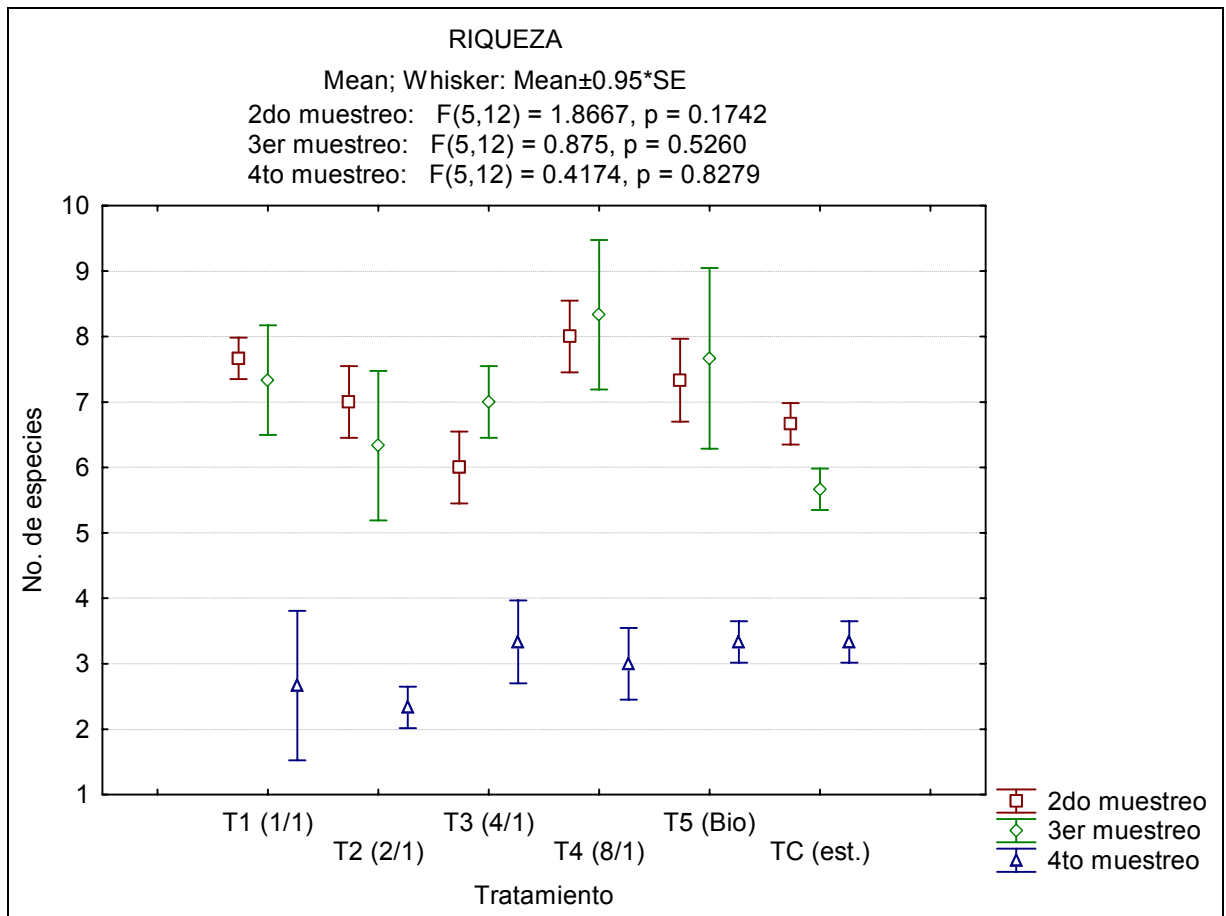
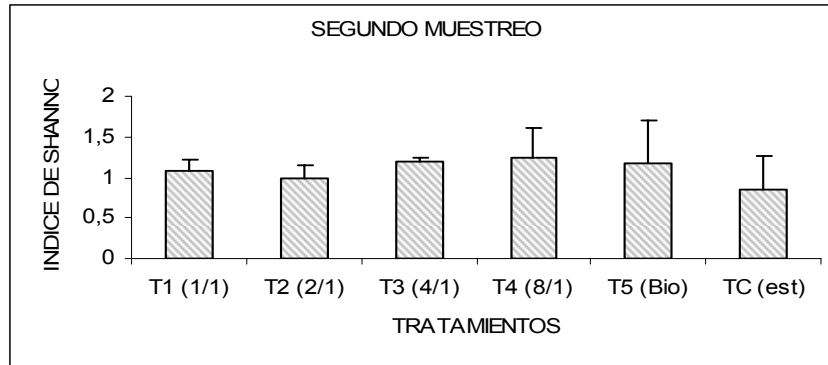
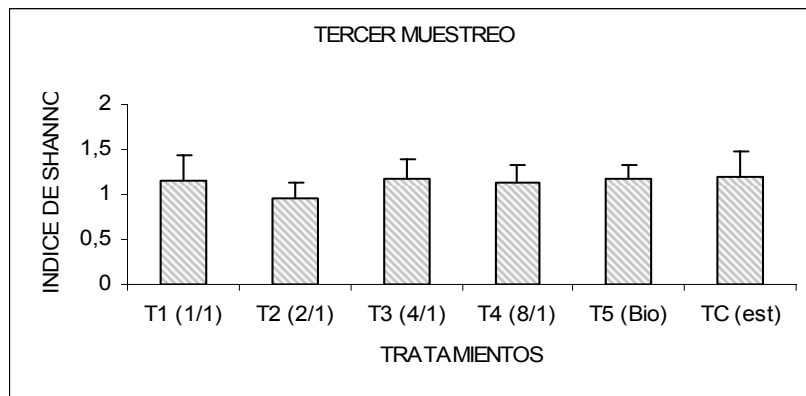


Figura 30. Grafica de cajas y bigotes la cual delimita los números y parámetros de los datos, medianas, distribución datos, error estándar. De los promedios de riqueza en los tiempos de muestreo.

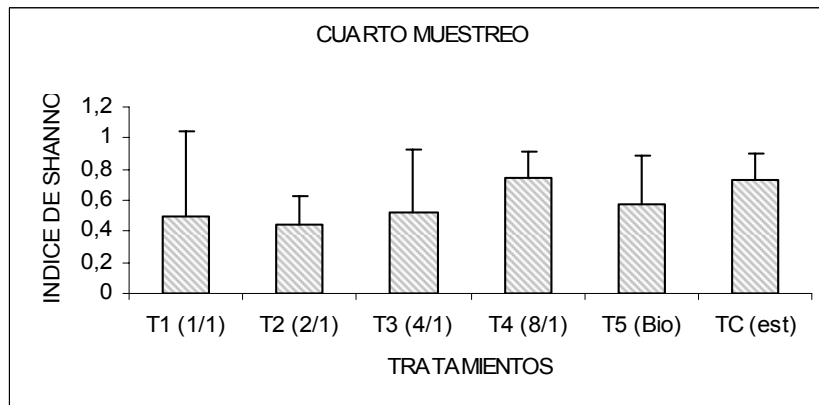
ANEXO 6. ANÁLISIS DE DIVERSIDAD



(a)



(b)



(c)

Figura 31. (a) Diversidad medida con el índice de Shannon y desviación estándar en el segundo muestreo. (b) Diversidad medida con el índice de Shannon y desviación estándar en el tercer muestreo. (c) Diversidad medida con el índice de Shannon y desviación estándar en el cuarto muestreo.

Tabla 23. Resultados del ANOVA de medidas repetidas de la variable Diversidad de especies vegetales que colonizan las parcelas con diferentes tipos de sustrato.

	SS	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Tratamiento	0.31306	5	0.06261	0.6783	0.648309
Error	1.10777	12	0.09231		
Tiempo	3.31147	2	1.65573	19.3494	0.000010*
Tiempo x Tratamiento	0.38043	10	0.03804	0.4446	0.908807
Error	2.05368	24	0.08557		

* Diferencias significativas a un $\alpha = 0.05$

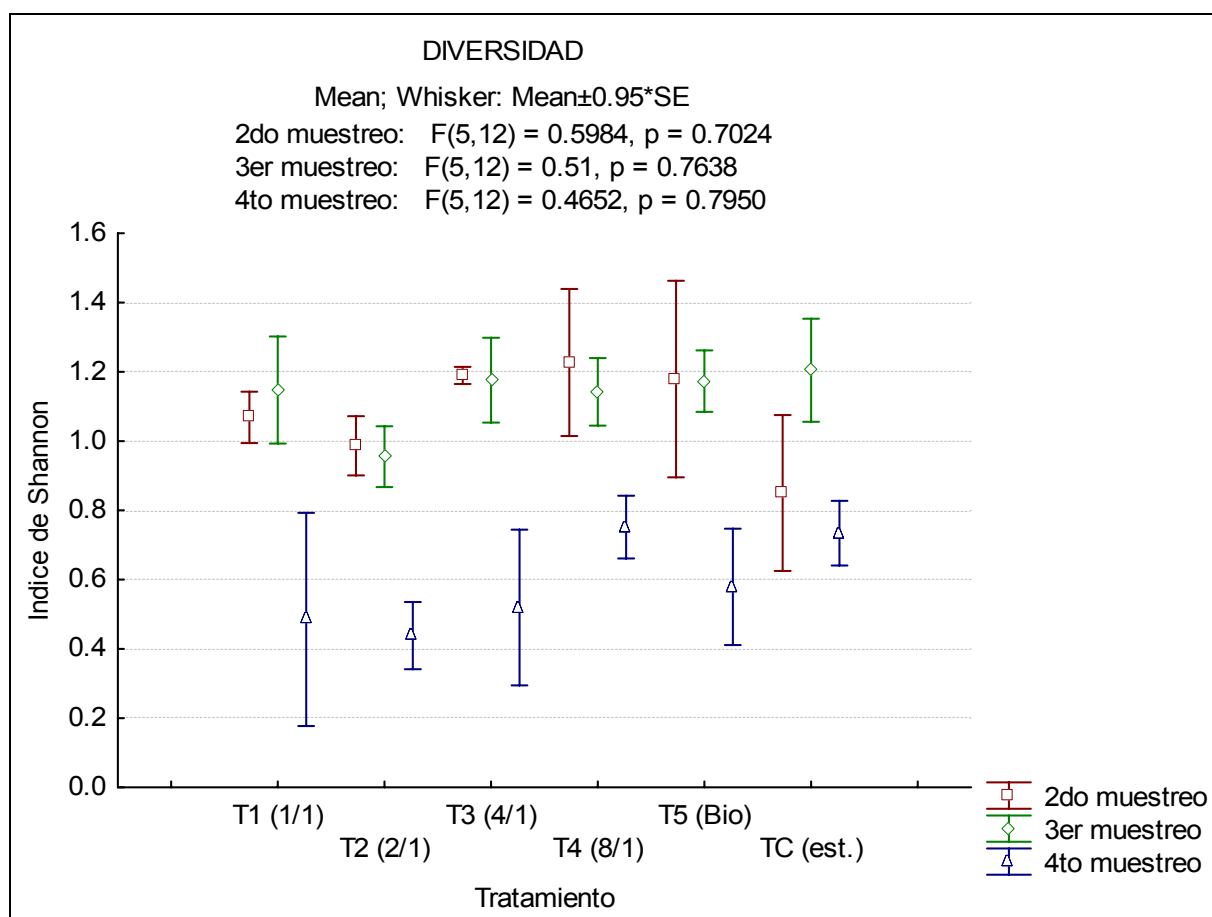


Figura 32. Grafica cajas y bigotes delimita los números parámetro de los datos medianas distribución datos error estándar.

ANEXO 7. CAMBIO EN EL TIEMPO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.



(a)



(b)



(c)



(d)



(d)

Figura 33. a) tiempo cero del experimento noviembre 2005; b) primer muestreo de vegetación, enero 2006; c) segundo muestreo mayo 2006; d) tercer muestreo agosto 2006. e) cuarto enero 2007.