

**ESTADO ACTUAL DE LA VEGETACIÓN Y DEL SUELO EN PARCELAS
ENMENDADAS CON BIOSÓLIDOS SEIS AÑOS DESPUÉS DE SU
IMPLEMENTACIÓN EN LA CANTERA DE SORATAMA, LOCALIDAD DE
USAQUÉN, BOGOTÁ D.C.**

NATALIA RODRÍGUEZ ACERO

**TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito parcial
Para optar por el título de**

BIÓLOGA

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOLOGÍA
Bogotá, D.C., Colombia
2010**

**ESTADO ACTUAL DE LA VEGETACIÓN Y DEL SUELO EN PARCELAS
ENMENDADAS CON BIOSÓLIDOS SEIS AÑOS DESPUÉS DE SU
IMPLEMENTACIÓN EN LA CANTERA DE SORATAMA, LOCALIDAD DE
USAQUÉN, BOGOTÁ D.C.**

NATALIA RODRÍGUEZ ACERO

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito parcial

Para optar por el título de

BIÓLOGA

JOSE IGNACIO BARRERA CATAÑO, Ph. D.

Director

JORGE JACOME, Ph. D.

Par Académico

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOLOGÍA

Bogotá, D.C., Colombia

2010

**ESTADO ACTUAL DE LA VEGETACIÓN Y DEL SUELO EN PARCELAS
ENMENDADAS CON BIOSÓLIDOS SEIS AÑOS DESPUÉS DE SU
IMPLEMENTACIÓN EN LA CANTERA DE SORATAMA, LOCALIDAD DE
USAQUÉN, BOGOTÁ D.C.**

NATALIA RODRÍGUEZ ACERO

APROBADO

José Ignacio Barrera Cataño, Ph. D.
Director

Jorge Jacome, Ph. D.

Par Académico

NOTA DE ADVERTENCIA

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 sus trabajos de tesis. Solo velara porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que la tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien, se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

Resumen

El objetivo de este trabajo es evaluar el estado de la vegetación y del suelo en parcelas enmendadas con biosólidos en diferente proporción, sobre el establecimiento de la vegetación en el diseño experimental en la cantera de Soratama, localidad de Usaquén. Este diseño fue de parcelas completas al azar con tres tratamientos y el control, cada uno con tres repeticiones para un total de doce parcelas. Los tratamientos presentan las siguientes proporciones V/V de estéril-biosólidos: el tratamiento 1 (T1) 8:1, el tratamiento (T2) 4:1, el tratamiento 3 (T3) 2:1 y el control (C) sin biosólidos. Se tomaron datos de cobertura, se realizaron los cálculos de riqueza específica y diversidad de Shannon para la vegetación, al suelo se tomaron muestras de dos profundidades (0-15cm) y (15-30cm) de profundidad, cada parcela y se enviaron al IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) para sus respectivos análisis. La composición florística fue dominada por hierbas de la familia *Asteraceae* y *Poaceae*. El tratamiento 2 fue el que presentó mejores resultados en cuanto a riqueza, dominancia y porcentaje de cobertura al igual que presentó mayor porcentaje de macronutrientes como N, Co, P y presentó mayor Capacidad Intercambio Catiónico. con pH neutro. Dominaron las especies perennes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la secretaria distrital de ambiente y a la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) por la financiación y apoyo de la investigación.

Un especial agradecimiento a mi director de trabajo de grado y mentor, José Ignacio Barrera por su colaboración para el buen término de este proyecto.

A Ana Carolina Moreno por su incondicional apoyo en el trabajo.

A mi mamá y mi hermana que son mi inspiración

A Carolina González, Lina Ortiz y Laura Pinillos por el apoyo y la compañía durante el desarrollo del proyecto

A John Noya por su apoyo incondicional, por compartir todos los momentos difíciles durante este proceso y por ser mi ángel de la guarda.

A Juan Pablo Reyes y a Javier Garzón por estar siempre apoyándome en mis proyectos.

Tabla de contenido

1. Introducción	13
2. Formulación del problema y justificación	16
3. Objetivos	18
3.1. Objetivo general	18
3.2. Objetivos Específicos	18
4. Marco teórico	18
4.1. Minería de cielo abierto como disturbio	18
4.2. Incidencia del disturbio sobre la vegetación	19
4.3. La problemática de las canteras en Bogotá	20
4.4. La sucesión como proceso de desarrollo de la vegetación en los ecosistemas.	22
4.5. Enmiendas orgánicas como herramienta de recuperación del suelo	22
4.6. Los biosólidos como enmienda orgánica	24
Tabla N° 1. Características del agua residual física, química y biológica.....	24
5. Materiales y métodos	25
6. Análisis de datos	33
6.1. Riqueza específica (S)	33
6.2. Estructura y composición	33
6.3. Índices de Diversidad	34
6.3.1. Índice de Shannon – Wiener (H')	34
6.3.2. Índice de Simpson (D)	34
6.3.3. Índice Uniformidad de Pielou	35
6.3.4. Índice de disimilaridad de Bray – Curtis.	35
6.4. Análisis estadístico	36
7. Resultados	37

7.1. Composición Florística.....	37
Tabla N°2. Listado de las familias, géneros y especies de planta encontradas en el área de estudio y en que tratamiento o control se encontraron.....	37
7.2. Estructura de la vegetación	38
7.3. Distribución de Alturas.....	42
7.4. Índices.....	44
7.4.1. Riqueza específica.....	44
7.4.2. Índice de diversidad Shannon-Wiener	44
Tabla N°3. Datos de índice de diversidad de cada tratamiento y control.....	45
7.4.3. Índice de dominancia de Simpson.....	45
7.4.4. Índice de Equidad de Pielou	45
7.4.5. Disimilaridad de Bray-Curtis.....	46
7.5. Atributos Vitales.....	47
Tabla N° 4. Síntesis de los atributos vitales de las especies encontradas en los tratamientos y el control.....	49
7.6. Variables Físicoquímica del suelo	50
7.6.1. Comportamiento de las Variables Físicas del suelo	50
7.6.2. Comportamiento de la variable pH en los tratamientos.....	52
Tabla N°5. Valores de pH en cada uno de los tratamientos.....	52
7.6.3. Comportamiento de la variable de carbono Orgánico en los tratamientos	53
Tabla N°6. Variación del Porcentaje de Carbono Orgánico en cada uno de los tratamientos. 53	
7.6.4. Comportamiento de la variable Nitrógeno (N) en los tratamientos.....	54
Tabla N°7. Variación del Porcentaje Total del Nitrógeno en cada una de los tratamientos. ...	54
7.6.5. Comportamiento de la variable Potasio en los tratamientos.....	55
Tabla N°8. Variación del Potasio en cada uno de los tratamientos.....	55
7.6.6. Comportamiento de la variable Fósforo en los tratamientos	56

Tabla N°9. Variación del Fósforo en cada uno de los tratamientos.....	56
7.6.7. Cambios de la variable Capacidad de Intercambio Cationico	57
Tabla N°10. Variación de la capacidad de intercambio Catiónico en cada uno de los tratamientos	57
8. Discusión.....	58
9. Conclusiones	65
ANEXOS.....	66
Referencia Bibliográfica	75

Índice de tablas

Tabla 1. Características del agua residual física, química y biológica.....	24
Tabla 2. Listado de las familias, géneros y especies de la vegetación encontrada en el área de estudio y en que tratamiento o control se encontró.....	37
Tabla 3. Datos de índice de diversidad de cada tratamiento y control.....	45
Tabla 4. Síntesis de los atributos vitales de las especies encontradas en los tratamientos y el control.....	49
Tabla 5. Variación del pH en cada uno de los tratamientos.....	52
Tabla 6. Variación del Porcentaje de Carbono Orgánico en cada uno de los tratamientos.....	53
Tabla 7. Variación del Porcentaje Total del Nitrógeno en cada una de los tratamie.....	54
Tabla 8. Variación del Potasio en cada uno de los tratamientos.....	55
Tabla 9. Variación del Fósforo en cada uno de los tratamientos.....	56
Tabla 10. Variación de la capacidad de intercambio Catiónico en cada uno de los tratamientos.....	57

Índice de figuras

Figura 1. Distribución de los tratamientos y controles en el área experimental.....	26
Figura 2. Delimitación y distribución de las parcelas y subparcelas.....	27
Figura 3. Medición de la cobertura de la vegetación rasante y herbácea.....	27
Figura 4. Diámetro mayor (D1) y diámetro menor (D2). Tomado de Prieto, 1994.....	28
Figura 5. Medición del Diámetro mayor (D1) y diámetro menor (D2) de un arbusto.....	29
Figura 6. Colecta del material vegetal en campo, (A) toma de muestras y (B) prensado de los ejemplares vegetales colectados.....	29
Figura 7. Selección de puntos de aplique para la toma de muestras de suelo por parcelas.....	32
Figura 8. Caracterización de la composición fisicoquímica del suelo en las parcelas experimentales. A. Homogenización de las muestras de suelo. B. Toma de muestras de las dos profundidades.....	32
Figura 9. Porcentaje de especies por familias.....	38
Figura 10. Porcentaje de cobertura por estrato registrada en cada tratamiento.....	39
Figura 11. Porcentaje de cobertura de las especies por estrato en el tratamiento 1.....	40
Figura 12. Porcentaje de cobertura de las especies por estrato en el tratamiento 2.....	40
Figura 13. Porcentaje de cobertura de las especies por estrato en el tratamiento 3.....	41
Figura 14. Porcentaje de cobertura de las especies por estrato en el control.....	41
Figura 15. Distribución por clases de altura Clases: A) Tratamiento 1, B) Tratamiento 2, C) Tratamiento 3 y D) Control.....	43

Figura 16. Variación del número de especies para cada tratamiento.....	44
Figura 17. Índices de diversidad en los tratamientos y el control.....	45
Figura 18. Dendograma de Bray-Curtis entre los tratamientos.....	46
Figura 19. Distribución de las especies por forma de vida según Raunkieren en el área estudiada.....	47
Figura 20. Distribución de las especies por ciclo de vida según Luken en el área estudiada.....	47
Figura 21. Distribución de las especies por métodos de dispersión en el área de estudio.....	48
Figura 22. Distribución de las especies por su invasibilidad en el área de estudio.....	48
Figura 23. Comportamiento de la variable física del suelo A. Porcentaje de arena B. Porcentaje de limo C. Porcentaje de arcilla.....	51
Figura 24. Comportamiento de la variable pH en los tratamientos y el control.....	52
Figura 25. Comportamiento de la variable de carbono orgánico en los tratamientos y control.....	53
Figura 26. Comportamiento de la variable Nitrógeno en los tratamiento y el control.....	54
Figura 27. Comportamiento de la variable Potasio en los tratamientos y el control.....	55
Figura 28. Comportamiento de la variable Fósforo en los tratamientos y el control.....	56
Figura 29. Cambios de la variable Capacidad de Intercambio Cationico en los tratamiento y el control.....	57

1. Introducción

Los Cerros Orientales tutelares de Bogotá D.C., denominados *Telón de Fondo de la Capital*, han sido objeto de múltiples intervenciones que ocasionan una transformación de los ecosistemas por el crecimiento constante de la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2006). Algunas de las causas de esas transformaciones son: la tala forestal, la presencia de plantaciones forestales, los incendios causados por el hombre o por las épocas secas y la minería a cielo abierto donde extraen materiales de construcción (Salamanca & Camargo 2002)

La extracción de materiales de construcción a cielo abierto ha sido de gran importancia para el desarrollo urbanístico del Distrito Capital, pero a la vez ha generado una transformación en los ecosistemas de los Cerros tutelares al eliminar la vegetación y el suelo, al desplazar la fauna y cambiar las condiciones microclimáticas del lugar.

Cuando las explotaciones no se hacen de manera técnica aparecen taludes inestables y hay mal manejo de las aguas superficiales, haciendo que los terrenos queden expuestos a procesos erosivos que impiden la revegetalización (Parrotta & Knowles 2001). La dificultad del establecimiento de la vegetación también se da a causa de los cambios de humedad y temperatura del suelo, cambio del pH, pérdida de la materia orgánica y de los nutrientes. Por esta razón, es necesario implementar procesos de restauración ecológica que aceleren el re-establecimiento de los compartimientos del suelo y de la vegetación para así mejorar las condiciones adversas de los terrenos.

Alternativas para recuperar zonas degradadas por este impacto, ha sido el uso de biosólidos que como enmienda orgánica ayuda a recuperar suelos degradados (Martinez *et al* 2003; Cuevas *et al* 2006; Torres *et al* 2008) ya que contrarrestan los efectos de acidez, mejora la retención del agua, aporta materia orgánica y además minimiza la erosión (Curry 1998).

Los biosólidos son compuestos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos producidos durante el proceso mecánico, biológico y/o químico de purificación de las aguas domésticas (Cuevas *et al* 2006), estos contienen materia orgánica, nitrógeno y fósforo y trazas de elementos esenciales para el crecimiento de las plantas (Elliot & Dempsey 1991) en Giraldo & Lozano (2006).

En Colombia, el interés en la aplicación de los biosólidos al suelo ha aumentado recientemente como consecuencia de la menor disponibilidad y viabilidad de otras opciones de gestión de los biosólidos, tales como el transporte a vertederos controlados, la incineración y la evacuación en el mar (Rechigl 1995) en Giraldo & Lozano (2006). Por esta razón, se busca implementar nuevos mecanismos donde se reutilicen los biosólidos para mejorar los ecosistemas degradados por el hombre.

Por ejemplo, Bogotá cuenta con la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre el cual produce entre 130 a 150 toneladas diarias de biosólidos utilizando estos residuos para cubrir el Relleno de Doña Juana y así facilitar el recubrimiento de la cobertura vegetal (BAS 2002). Debido a la cantidad de producción de biosólidos y a la acción sobre la cobertura vegetal es necesario buscar alternativas de aprovechamiento como: la agricultura, viveros y recuperación de suelos degradados.

En la recuperación de los suelos degradados, los biosólidos pueden ser utilizados como enmiendas orgánicas por su alto contenido de materia orgánica, fósforo (P), potasio (K) y alta humedad. Sin embargo, según su origen pueden presentar patógenos y metales pesados en cantidades que pueden ser riesgosos para la salud del hombre (BAS 2002). Por esta razón, es importante realizar varias investigaciones que permitan valorar el uso potencial de los biosólidos como enmienda orgánica en la restauración ecológica de canteras.

En el marco de la Restauración ecológica, la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA) y la Escuela de Restauración Ecológica (ERE) de la Pontificia Universidad Javeriana realizaron el convenio 017/2003 DAMA-PUJ en el cual se implemento una parcela experimental con la finalidad de evaluar el efecto de la aplicación de biosólidos en diferentes proporciones como enmienda orgánica para recuperar la vegetación y mejorar las propiedades fisicoquímicas del sustrato en la cantera de Soratama. El seguimiento de los datos, fueron realizados por Adriana Ochoa trimestralmente desde marzo hasta septiembre de 2004, el cual demostró que la aplicación de biosólidos como enmiendas orgánicas para la recuperación de suelos degradados por minería

aumentan la riqueza, diversidad, altura y cobertura en los tratamientos, pero el aumento no fue proporcional a la adición de biosólidos (Ochoa & Barrera 2007).

Actualmente, en la cantera de Soratama continua el proceso de recuperación seis años después de su implementación, es importante hacer el seguimiento del proyecto para evaluar el estado actual de la vegetación y del suelo en las parcelas enmendadas con biosólidos para restablecer las áreas disturbadas por la industria extractiva, lo cual se pretende realizar con el desarrollo de esta investigación.

El objetivo del proyecto de investigación es evaluar el estado de la vegetación y del suelo en parcelas enmendadas con biosólidos en diferentes proporciones, para esto se planteó los siguientes objetivos específicos: 1. Caracterizar la estructura y la composición de la vegetación en los diferentes tratamientos. 2. Comparar la riqueza, la cobertura y la diversidad entre los distintos tratamientos. 3. Caracterizar física y químicamente el sustrato de los diferentes tratamientos.

2. Formulación del problema y justificación

La minería a cielo abierto se entiende como la explotación de materiales metálicos y no metálicos, como el oro, platino, plata, carbón, la arena o la piedra caliza entre otros (Arias 2009) el cual ha traído deterioros serios para el ecosistema debido al método físico que se utiliza para extraer dichos materiales.

Para llevar a cabo esa labor que es de interés económico es importante eliminar toda la capa vegetal presente en el área para luego extraer por medio una retroexcavadora o dinamita, la capa de suelo (Vickery & Hall 1987).

Una vez realizado este tipo de trabajos en las diferentes canteras se llega al punto en que ya no se encuentran los tipos de materiales metálicos y no metálicos, conllevando a que esta zona sea abandonada dejando resultados catastróficos de taludes con longitudes y pendientes inestables dificultando el establecimiento de semillas en estas zonas, ya que al producirse las lluvias generan una erosión por la fluidez de agua sobre la superficie del sustrato ocasionando un lavado y llevando consigo las semillas, sin permitir que se produzca un crecimiento de la vegetación.

De igual manera la minería a cielo abierto afecta tanto la estructura y función del ecosistema debido a que se elimina la vegetación y el suelo, perdiendo la distribución y caracterización de las plantas en su ordenamiento vertical y horizontal, se presentan cambios en las condiciones microclimáticas y un desplazamiento de fauna junto con la pérdida de los ricos nutrientes del suelo a causa de esta eliminación (Cortés 2003).

Un claro ejemplo de este tipo de daño por la minería a cielo abierto es la antigua cantera de Soratama, ubicada en Bogotá, en la localidad de Usaquén (calle 167 con carrera 2ª, 2.5Km arriba de la carrera séptima), fue utilizada desde el año 1950 hasta el año 1990 para la extracción de arena con destino a las obras ejecutadas en la ciudad. Después de cerrar la cantera, el predio fue entregado a la Defensoría del Espacio Público y posteriormente en comodato al DAMA, actualmente conocido como Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) para su recuperación ambiental y geomorfológica (Alcaldía Mayor de Bogotá 2007).

El predio hace parte de la Estructura Ecológica Principal y pertenece al área de Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, Cerros Orientales, razón por la cual el Plan de Manejo

Ambiental aprobado mediante Resolución N°. 1945 del 2005 por la autoridad ambiental competente –CAR- fue ejecutado por la Secretaria Distrital de Ambiente con apoyo financiero del Fondo Nacional de Regalías, a través de MINERCOL LTDA. Y posteriormente INGEOMINAS mediante el contrato de obra 367/05 (Alcaldía Mayor de Bogotá 2007).

Por otro lado, la Secretaria Distrital de Ambiente observó que la ciudad de Bogotá genera una gran cantidad de material de “desechos” entre los cuales se encuentra los biosólidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Salitre (PTAR), estos biosólidos son el resultado de la descomposición de la materia orgánica de las aguas residuales de origen doméstico. Por esta razón se buscó un modo para reciclar uno de los subproductos que día a día se derivan de los habitantes de la ciudad.

Hoy en día se ha venido trabajando en un proyecto de Restauración ecológica, con la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA) y la Escuela de Restauración Ecológica (ERE) de la Pontificia Universidad Javeriana realizando el convenio 017/2003 DAMA-PUJ en el cual se implemento un diseño experimental con la finalidad de evaluar el efecto de la aplicación de biosólidos en diferentes proporciones como enmienda orgánica para recuperar la vegetación y mejorar las propiedades fisicoquímicas del sustrato en la cantera de Soratama. El seguimiento de los datos, fueron realizados trimestralmente desde marzo hasta septiembre de 2004, el cual demostró que la aplicación de biosólidos como enmiendas orgánicas para la recuperación de suelos degradados por minería aumentan durante el tiempo la riqueza, diversidad, altura y cobertura, tanto en los tratamientos como en el control, pero el aumento no fue proporcional a la adición de biosólidos (Ochoa & Barrera 2007).

Actualmente, en la cantera de Soratama continua el proceso de recuperación seis años después de su implementación, por esta razón es importante hacer el seguimiento del proyecto para evaluar el estado actual de la vegetación y del suelo en las parcelas enmendadas con biosólidos después de su implementación para restablecer la áreas disturbadas por la industria extractiva, lo cual se pretende realizar con el desarrollo de esta investigación.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Evaluar el Estado de la vegetación y del suelo en parcelas enmendadas con biosólidos en diferente proporción.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la estructura y la composición de la vegetación en los diferentes tratamientos.
- Comparar la riqueza, la cobertura y la diversidad entre los distintos tratamientos.
- Caracterizar física y químicamente el sustrato de los diferentes tratamientos.

4. Marco teórico

4.1. Minería de cielo abierto como disturbio

Los disturbios son entendidos como eventos relativamente discretos en el tiempo que afectan la estructura inicial del ecosistema y por ende su función, cambiando la disponibilidad de los recursos (Pickett & White, 1985; White & Jentsch 2001; Barrera & Valdéz 2007). Grime (1979), define el disturbio como el mecanismo que limita la biomasa de las plantas debido a que causa su destrucción total o parcial; por su lado, Forman y Gordon (1986), definen el disturbio como un evento que causa un cambio significativo del patrón normal de un sistema ecológico.

Mora (1999) y Vargas (2000) realizaron una recopilación sobre la teoría del disturbio desde los años setenta donde concluyeron que los paisajes son modelados por los disturbios naturales o antrópicos y por la sucesión, ya que una vez producido un tipo de disturbio, en respuesta habrá un tipo de sucesión que estará determinada por los rasgos de historias de vida de las especies como forma de tasa de crecimiento y tolerancia.

Los disturbios, son clasificados según su origen en: 1) naturales como: incendios, huracanes, inundaciones, deslizamientos de tierra y 2) antrópicos, como: incendios forestales, minería a cielo abierto, uso agrícola el cual comprende varios disturbios en cadena por el cambio de uso. Cada uno de estos, da origen a un tipo de área disturbada con características particulares (Barrera & Valdéz 2007).

Un claro ejemplo de disturbio es la minería a cielo abierto el cual trae efectos negativos sobre los ecosistemas. La dimensión de la minería así como el daño ecológico cambia acorde a las características del yacimiento y las técnicas utilizadas (Rosenfeld *et al* 2000).

Los impactos del disturbio de la explotación minera son severos dando por resultado la destrucción de los ecosistemas naturales (Topp *et al* 2010) ya que se pierde el papel amortiguador de la vegetación sobre el área de explotación, además con el tiempo el suelo se deteriora por la pérdida de la materia orgánica, nutrientes y partículas libres resultando un suelo sin estructura (Jha & Singh, 1991; Bradshaw 1997; Cássia 2003).

Estas deficiencias del suelo en cuanto a las características físicas y químicas no permiten que la vegetación se restablezca fácilmente impidiendo que el ecosistema funcione y el área afectada por la extracción minera se recupere, por esta razón es fundamental mejorar la sucesión del suelo para restaurar el ecosistema (Topp *et al* 2010)

4.2. Incidencia del disturbio sobre la vegetación

La vegetación se puede recuperar más fácilmente a partir de un disturbio que se presenta frecuentemente y en baja intensidad, en comparación con uno ocasional y de gran magnitud (Denslow 1985). Esto quiere decir que la intensidad del disturbio puede determinar el establecimiento de las primeras plantas conocidas como plantas pioneras, las cuales muchas de ellas son ruderales que suelen aparecer en hábitats muy alterados por la acción del hombre. Gran cantidad de estas plantas son hierbas anuales o bianuales de ciclo de vida corto, de alta producción de semillas, presenta escasos requerimientos nutricionales (usualmente no necesitan de micorrizas) y rápida tasa de crecimiento como por ejemplo las gramíneas (Smith & Smith 2001, en Fontúrbel *et al* 2006).

Las especies ruderales pueden ser sobrevivientes del disturbio debido a que la vegetación presenta cualidades que le permiten sobrevivir bajo condiciones estresantes (Noble & Slatyer 1980). La dispersión de semillas es una de esas cualidades y presenta varios mecanismos que dependen del tipo de semilla o de la propagación vegetativa que se caracteriza por ser un mecanismo de sobrevivencia y consiste en la generación de una nueva planta a partir de otra planta o una parte de ella. Dentro de estos mecanismos existen tres tipos de dispersión que son: la anemocoría donde las semillas se dispersan por el viento, la hidrocoria cuando las semillas son

dispersada por la lluvia o arrastre y la zoocoria son las semillas que se dispersan por un animal o por el hombre (Eriksson & Jakobsson 1998). Las especies ruderales presentan otra cualidad conocida como ciclos de vida, estas pueden ser anuales, bianuales o perennes (Luken 1990).

La minería a cielo abierto causa un disturbio de gran magnitud ya que la cobertura vegetal es retirada en su totalidad teniendo un efecto perjudicial tanto en la fuente de alimento como en el resguardo para los animales los cuales dependen de esta. A su vez esta carencia de cobertura vegetal dificulta funciones importantes en el medio ambiente como: la captación CO₂, producción de O₂, la fijación de Nitrógeno y la cobertura del suelo, entre otras.

4.3. La problemática de las canteras en Bogotá

La naturaleza geológica que conforman los cerros y los valles de la sabana de Bogotá, permite que exista una oferta de material mineral, entre los que se cuentan los que sirven de base para la construcción.

A través de su historia, la ciudad ha aprovechado esta oferta de materiales para satisfacer sus requerimientos frente a su acelerado crecimiento. Es así, como las primeras explotaciones de canteras fueron ubicadas en los cerros cercanos a la ciudad colonial en lo que hoy se conoce centro histórico (Cerros de Monserrate y Guadalupe), con el crecimiento de la ciudad las explotaciones mineras a cielo abierto también se fueron desplazando de forma paralela hacia el norte y el sur (Historia Ambiental de Bogotá 2005).

Como consecuencia de los efectos ambientales ocasionados por la actividad minera sobre la ciudad, entre los años 1942 y 1944 se tomó la decisión de trasladar la actividad hacia el sur, en la localidad de San Cristóbal y hacia el norte en la localidad de Usaquén (Historia Ambiental de Bogotá 2005).

La actividad extractiva que se desarrolla dentro del perímetro urbano de la ciudad de Bogotá, se localiza principalmente en los cerros nororientales (Usaquén), cerros suroccidentales (Ciudad Bolívar), en los cerros de suba (Correa 2000, Delgado & Mejía 2002) y en el Valle del río Tunjuelito. Para el año 2002 se habían identificado un total de 144 canteras, distribuidas por localidades de la siguiente forma: Ciudad Bolívar con 33 canteras; San Cristóbal con 19, Usme

con 39, Usaquén con 16, Rafael Uribe con 30 y Tunjuelito con 7 canteras (Delgado & Mejía 2002).

De las 144 canteras con actividad extractiva, el 73% corresponden a pequeñas explotaciones que se encuentran ubicadas en las localidades de Rafael Uribe, San Cristóbal, Usme y Ciudad Bolívar, el 17% corresponde a mediana minería que se encuentra ubicadas en Usme, Ciudad Bolívar y primordialmente en Usaquén; y el 10% restante pertenece a la gran minería que se desarrolla en la localidad de Tunjuelito (Delgado & Mejía 2002).

La minería a cielo abierto en Bogotá se fue desarrollando en diferentes canteras sin un control debido que cumpliera con las normas de explotación y de restauración ocasionando deterioro en el medio ambiente (Varga 1998), por esta razón el ministerio de medio ambiente expedido en 1996 la Resolución 1277 en la cual expresa el desarrollo del Plan de Recuperación Morfológica y Ambiental (PRMA) regida para los propietarios de las canteras ubicadas fuera del perímetro establecido obligándolos a efectuar la reconfirmación de las zonas afectadas, a través de acciones, programas y obras encaminadas al mejoramiento de condiciones físicas y ambientales de éstas, para poder continuar posteriormente con su uso, siendo esto apoyado de igual forma por el Distrito.

La ley 1382 del 2010 del código de minas decreta, mediante el Artículo 1º Parágrafo 1º que los solicitante de propuestas de contrato de concesión deberán señalar si dentro del área solicitada existe algún tipo de explotación minera indicando su ubicación y metodología utilizada para conocer la existencia o no de dicha minería. Por otro lado, de acuerdo al Artículo 3º el Artículo 34 de la ley 685 del 2001 de la zonas excluibles de la minería, no podrán ejecutarse trabajos y obras de exploración y de explotación mineras en zonas declaradas delimitadas conforme a la normatividad vigente como de protección y desarrollo de los recurso naturales renovables o del ambiente, y una vez efectuada la sustracción la autoridad minera en concordancia con las determinaciones ambientales establecidas, fijara las condiciones para que las actividades de exploración y explotación propuestas se desarrollen de forma restringida o solo por determinado métodos y sistemas de tal forma que no afecten los objetivos del área de reserva forestal no sustraída (Código de Minas 2010)

4.4. La sucesión como proceso de desarrollo de la vegetación en los ecosistemas.

La sucesión se entiende como el proceso a través del cual se presenta un reemplazamiento de las especies vegetales a través del tiempo y del espacio (Drury & Nisbet 1973, Connell & Slatyer 1977, Glenn-Lewin & Van der Maarel 1992, Peet 1992). De igual manera la “sucesión ecológica” permite identificar los cambios temporales que se presentan en la estructura, la composición taxonómica y las funciones de un ecosistema después de que éste es perturbado (Arbelo *et al* 2002; Whitmore 1978, Pickett & White 19985, Bazzaz 1996, Morin 1999, Laska 2001 en: Martínez & Ramos 2007;).

Muchos investigadores han abarcado la teoría de la sucesión vegetal entre los que se destacan Clements en 1916 quien fue uno de los primeros en definir este proceso como una secuencia de remplazo de comunidades de plantas bajo un proceso unidireccional hacia un estado de equilibrio (Clements 1916).

La sucesión se puede dar de dos formas distintas dependiendo del sustrato donde este inicie la sucesión primaria se da cuando la vegetación se desarrolla sobre un área o un suelo descubierto el cual fue expuesto recientemente y por ende no posee un legado biológico, y la sucesión secundaria se da cuando el suelo ha sido ocupado por la vegetación dejando que contenga un legado biológico (Drury & Nisbet 1973, Forman & Gordon 1986, Odum 1987, Glenn-Lewin & Van der Maarel 1992, Peet 1992).

El proceso de llegada de la vegetación empieza con el establecimiento de especies herbáceas de corta vida, que luego serán reemplazadas por especies herbáceas de larga vida y por ultimo aparecerán especies leñosas de larga vida, de la misma forma que aparecen nuevas especies, la utilización del recurso es diferente, ya que los requerimientos de cada una son diferentes, por lo cual la disponibilidad de nutrientes cambia (Chapin III, 1983).

4.5. Enmiendas orgánicas como herramienta de recuperación del suelo

Las enmiendas orgánicas son residuos domésticos compuestos por sustancias químicas y orgánicas que se incorporan en el suelo para mejorar sus características físicas y químicas (Ayala *et al* 1989; Hernández 1996).

Los terrenos que son afectados por actividades extractivas como por ejemplo las canteras de rocas donde una vez terminada la explotación hace que su restauración sea limitada por su baja fertilidad, incluso en los caso en que se retira y almacena el suelo original; de acuerdo a esta situación se ve la urgencia de proceder a estrategias de mejoramiento artificial del suelo comprendiendo todo su manejo físico, adición de materiales y sustancias como adición de materiales vivos añadiendo sustrato de actividad biológica ya incorporada. Dicha enmienda se aplica según las estrategias que están planteadas de fertilización orgánica e inorgánica (Miranda 2009, en: Barrera *et al* 2009)

La fertilización inorgánica está compuesta a base de los principales elementos nutritivos que son: Nitrógeno, Fósforo, Potasio y la combinación de los tres elementos. La ventaja de este fertilizante es su fácil modo de aplicación (Ayala *et al* 1989; Hernández 1996).

Por otro lado, se efectúa la fertilización orgánica por medio de dos formas, una de ellas es la incorporación de COMPOST la cual es la materia orgánica que proviene de desechos orgánicos, siendo un recurso ecológicamente eficiente y sostenible ya que aprovecha los desechos biodegradables para mejorar las características químicas, físicas y biológicas (Tabla N° 1) de los suelos al igual que la vida de las plantas. La otra forma de fertilización orgánica es la utilización de Biosólidos siendo éste un producto semisólido que proviene de las depuradoras de aguas residuales, contienen partículas minerales finas y materia orgánica, lo cual lo hace excepcional para la mejora de suelos en restauración de áreas afectadas por procesos extractivos (Alcañiz *et al*, 2004, Torres *et al* 2008; Miranda 2009, en: Barrera *et al* 2009)

Las áreas que han sufrido los procesos de explotación se refleja el mejoramiento de contenido de materia orgánica con gracias a las enmiendas orgánicas, a su vez ésta mejora las condiciones físicas del suelo ya que su aplicación disminuye la densidad aparente del suelo y aumenta la porosidad. Por otra parte favorece las poblaciones y riquezas de bacterias benéficas para el propio suelo; estas de igual forma producen transformaciones químicas que facilitan el aprovechamiento de muchos elementos que no pueden ser asimilados directamente por la planta (Ayala *et al* 1989; Hernández 1996).

Gracias a las características físicas y químicas presentes en las enmiendas orgánicas mencionadas anteriormente, facilitan el regeneramiento de la capa vegetal y el aumento poblacional de la fauna

edáfica por esta razón se usa mucho en el sector agrícola; donde se ha comprobado la efectividad que genera los biosólidos en las propiedades físicas y químicas del suelo debido a su alto contenido de materia orgánica y nutrientes (Torres *et al* 2008).

4.6. Los biosólidos como enmienda orgánica

Los biosólidos son productos sólidos, semisólidos o líquidos que se obtienen a través del tratamiento de aguas residuales, que corresponden a lodos conteniendo un alto porcentaje de materia orgánica, microorganismos macro y micro nutrientes, metales pesado y agua (Cuevas *et al* 2006; Torres *et al* 2009).

De acuerdo a la Comisión Nacional de Medio Ambiente los lodos se definen como acumulaciones de sólidos orgánicos sedimentables separados en los distintos procesos de tratamientos de aguas. Durante las últimas décadas se han aumentado notablemente la producción de lodos (Cuevas *et al* 2006).

El lodo debe pasar por un proceso de estabilización para eliminar y/o inhibir los olores, luego pasa por remoción de organismos patógenos este proceso es importante debido a que en algunos casos el destino de estos biosólidos reutilizados es para proceso agrícolas (Miki *et al* 2001; Tsutiya 2001)

Tabla N° 1. Características del agua residual física, química y biológica

Características Físicas	Temperatura, Tubiedad, conductividad.
Características Químicas	Materia orgánica: Grasas y aceites, agentes tensoactivos.
	Materia inorgánica: pH, Cloruros, Alcalinidad, Nitrógeno, Fósforo, Azufre, Metales pesados.
	Gases. Oxígeno disuelto y sulfuro de hidrógeno
Características Biológicas	Organismos patógenos (Salmonela,

	huevos de Helmito, Fagos somáticos).
	Coliformes fecales.
	Ensayos de toxicidad.

Fuente: Herrera 2008.

El alto contenido de materia orgánica que presentan los biosólidos es utilizado como enmienda orgánica para los siguientes fines: recuperación de las áreas disturbadas ya que éste proporciona nutrientes al suelo deteriorado, por ejemplo: el uso forestal y la recuperación de canteras; por otra parte es de gran importancia debido a que minimiza la acción del proceso erosivo brindando una capa protectora al suelo y a su vez la materia orgánica se descompone rápidamente, incorporándose a la acción mineral del suelo generando un aumento de las poblaciones de la edafofauna contribuyendo esto al proceso de revegetalización primordialmente en zonas donde los terrenos son deficientes de nutrientes y materia orgánica, y mejorando las condiciones físico-químicas del suelo (Alcañiz 1998; Pacheco & Patiño 200; Ramírez *et al* 2007).

Los biosólidos podrían contener metales pesados originados por la actividad industrial, estos metales pueden ser negativos sobre el crecimiento de las plantas dependiendo de la cantidad presente en los biosólidos (Tsutiya 2001). Estos metales pesados pueden estar divididos en dos categorías como: metales no peligrosos Mn, Fe, Al, y metales potencialmente peligrosos como Zn, Cu, Ni, Cd. Dentro de estos, algunos micronutrientes son importantes para las plantas como Cu, Fe, Mn y el Zn, pero dependiendo de la concentración pueden llegar a ser tóxicos para las plantas y animales (Tsutiya 2001; Torres *et al* 2008).

5. Materiales y métodos

Diseño experimental. El presente trabajo se ejecutó a partir del diseño experimental realizado en el año 2005, por el cual los tratamientos se asignaron a parcelas mediante un diseño completamente al azar, es decir, cualquiera de las doce parcelas, tuvo la misma probabilidad de recibir una de las tres proporciones de biosólidos o del control (Ochoa & Barrera 2007). En cada parcelas de 18m² (4 x 4,5 m) se distribuyeron tres tratamientos y el control, cada uno con tres repeticiones. Se utilizó una distancia de 1m entre parcelas para evitar la mezcla entre tratamientos

y a la vez se dejó una distancia de 2 a 3 m de las áreas adyacentes para minimizar la influencia de la vegetación colindante a las parcelas Figura N°1.

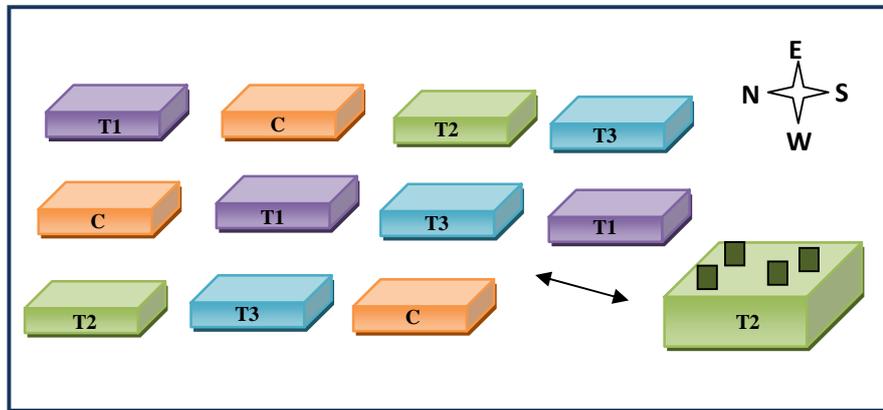


Figura N°1. Distribución de los tratamientos y controles en el área experimental.

Cada parcela representaba un tratamiento en el cual variaba la proporción de biosólido aplicado de la siguiente manera: el tratamiento 1 (T1) tiene 8 partes de estéril por 1 de biosólido (8:1), el tratamiento 2 (T2) tiene 4 partes de estéril por uno de biosólido (4:1) y el tratamiento 3 (T3) tiene 2 de estéril por uno de biosólido (2:1) y el control no presenta biosólido (Ochoa & Barrera 2007). Previo a la toma de datos fue necesario realizar el mantenimiento del área experimental debido a que pasaron seis años y las divisiones se confunden con la vegetación debido a su crecimiento; por esta razón se vio la necesidad de sustituir las estacas y volver a delimitar las parcelas y subparcelas. Para la demarcación de las subparcelas, se colocaron 240 estacas de madera de 1.50 m, distribuidas de la siguiente forma: 48 estacas para limitar las parcelas, enterradas a 30 cm de profundidad y 192 estacas para demarcar las subparcelas, enterradas a 50 cm de profundidad como se observa en la (Figura N° 2)

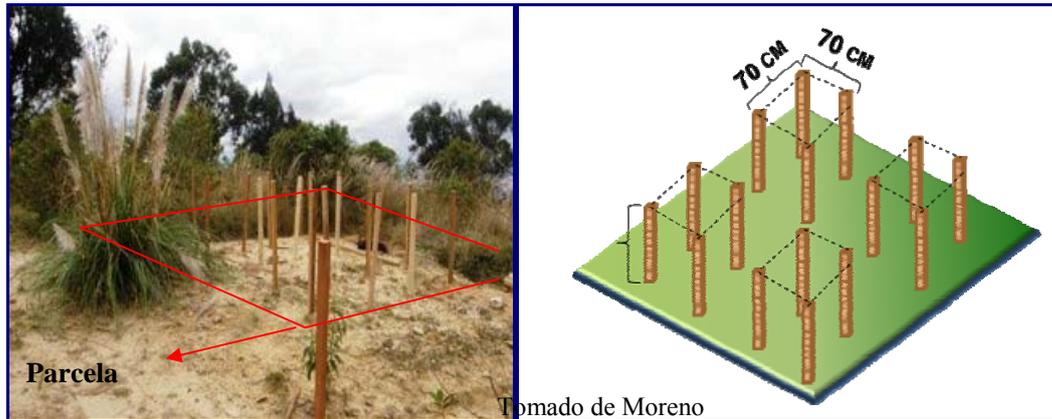


Figura N° 2. Delimitación y distribución de las parcelas y subparcelas.

Caracterización de la estructura y composición vegetal: Para este estudio se realizó un muestreo al azar donde se establecieron nuevamente cuatro subparcelas ya que la división anterior se perdió debido al crecimiento de la vegetación. Para evaluar los cambios de la vegetación rasante y herbácea se tuvo en cuenta dos variables, la cobertura y la altura, la primera se entiende como la superficie ocupada por cada especie en proyección horizontal de las partes aéreas de todos los presentes en las subparcelas (Steubing, et al 2001) y se expresa como porcentaje de la superficie total. Teniendo en cuenta lo anterior se midió la cobertura vegetal de cada subparcela por medio de un cuadrante de pvc con medidas de 70x70cm, con una división de 10cmx 10cm en pita de propileno donde se observó perpendicular al suelo, el porcentaje de área ocupada por cada especie (Matteuchi & Colman 1982) (Figura N° 3).



Figura N° 3. Medición de la cobertura de la vegetación rasante y herbácea

Después de medir la cobertura vegetal para la vegetación rasante y herbácea se midió la altura total, la cual se tuvo en cuenta la distancia vertical entre la superficie del suelo y la parte apical de la planta (ht) (Vallejo et al 2005).

Para la vegetación arbustiva primero se identificó todos los individuos arbustivos y se tomó dos variables, la cobertura donde se calculo el área del rombo inscrito, midiendo el diámetro mayor (D1) (Figura N° 5a) y el diámetro menor de cada copa (D2) (Figura N° 5b), siempre en ángulo recto entre sí (Rangel & Velázquez, 1997). Luego de tomar los datos se multiplicaron los valores de los diámetros obteniendo el valor total de la cobertura del arbusto (Figura N°4).

Donde:

$$C1 = \frac{1}{2} (D2 \times \frac{1}{2} D1) \times 2$$
$$\frac{1}{2} (D1 \times D2)$$

C1: Cobertura de la copa de cada individuo en m²

D1: Diámetro mayor

D2: Diámetro menor

Área de la copa

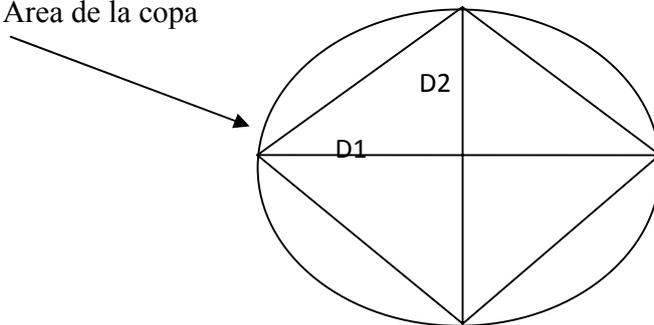


Figura N°4. Diámetro mayor (D1) y diámetro menor (D2). Tomado de Prieto, 1994.

Dado que los datos de las coberturas van a dar en cm es necesario cambiarlo a porcentaje para luego hacer el análisis con otras variables, para esto se tomó la cobertura de una especie y se dividió por la cobertura total para todas las especies y luego se multiplico por 100 (Rangel & Velázquez, 1997).

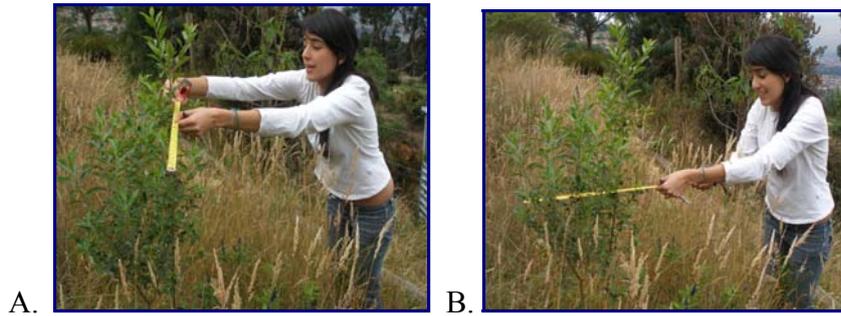


Figura N°5. Medición del Diámetro mayor (A) y diámetro menor (B) de un arbusto.

Se tuvo en cuenta la estructura de la vegetación arbustiva para medir la altura, por esta razón se tomó la altura total, es decir, la distancia vertical que hay entre el suelo y la cima o la parte alta de la planta (ht) y se tomó la altura del fuste (hf) que comprende la altura del suelo hasta la primera ramificación (Vallejo, M et al 2005). Los datos se obtuvieron con ayuda de una cinta métrica, cada dato se registró en metros y fue empleada para determinar los estratos de la comunidad (Rangel & Velázquez 1997).

Después del muestreo, fueron colectados dos ejemplares de cada una de las especies encontradas en el muestreo en áreas adyacentes a las parcelas (Figura N°6A), los ejemplares fueron prensados (Figura N°6B) y preservados en alcohol al 70% de concentración; después del secado en el horno fueron llevados al herbario de la Pontificia Universidad Javeriana, donde fueron clasificados taxonómicamente y preparados para su posterior entrega con las respectivas etiquetas requeridas por el herbario (Figura N°6).



Figura N°6. Colecta del material vegetal en campo, (A) toma de muestras y (B) prensado de los ejemplares vegetales colectados.

Atributos vitales

La vegetación presenta cualidades o atributos que le permiten sobrevivir bajo condiciones estresantes (Noble & Slatyer 1980), como por ejemplo minería, inundaciones, talas etc. Para entender mejor el repoblamiento de la vegetación en cada tratamiento y el control es importante conocer y comprender los atributos de la vegetación.

Formas de vida

La clasificación de las formas de vida de cada especie se definió según la categoría de Raunkiaer (Dombois & Elleberg 1974; Braun-Blanquet 1979) donde las especies vegetales son:

Geófitos son las plantas cuyas yemas incluidas en el sustrato más o menos a una profundidad de 2-3cm, y poco expuestas a la influencia de la estación desfavorable.

Fanerófitas o plantas cuyas yemas vegetativas se encuentran en las partes aéreas por encima de los 25cm. En clima húmedo y cálido, esta medida se extiende hasta 100cm. Incluyendo arbustos, árboles, lianas, bejucos, y graminoides arborescentes.

Caméfita o plantas con las yemas de renovación por encima de la superficie del suelo y recibe únicamente la protección que la planta le brinda por su crecimiento o por los vástagos muertos.

Hemicriptófitos o plantas cuyas yemas vegetativas se encuentran a nivel de la superficie. Incluye plantas herbáceas y en algunos casos arbustivos.

Geófito o plantas cuyas yemas vegetativas se encuentran incluidas en el sustrato a una profundidad de 2 a 3 cm; poco expuestas a las condiciones desfavorables.

Métodos de dispersión

La dispersión de semillas se puede dar por distintos modos esto depende del tipo de semilla o por la propagación vegetativa. Cuando la semilla se dispersa por medio del viento se conoce como anemócoria, por medio de la lluvia o arrastre (hidrócoria), o por animales (zoocoria) (Eriksson & Jakobsson 1998)

Invasibilidad

A partir de la invasibilidad se puede saber si las especies encontradas en las parcelas son exóticas o nativas. Las especies exóticas se clasifican como naturalizadas o invasivas o si son especies comunes (estas especies se reconocen por que están asociadas a uno o dos tratamientos o muestreos)

Ciclos de vida

La vegetación presenta distintos tipos de ciclos de vida estos pueden ser anuales, bianuales o perennes. La vegetación anual son las plantas que viven menos de 12 meses. Estas especies son monocárpicas, las flores y semillas están durante un corto periodo de tiempo. La vegetación bianual también son especies monocarpicas, crecen durante la primera estación y las flores durante la siguiente estación, estas especies viven durante dos años. Por último las especies perennes viven muchos años, también son especies monocarpicas que producen semillas y mueren o pueden ser especies policárpicas que producen muchas veces semillas durante su vida (Luken 1990).

Caracterización Fisicoquímica del suelo. Las muestras de suelo se tomaron a dos profundidades: de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm con ayuda de un tubo aforado de Pvc de dos pulgadas por 50 cm de largo aproximadamente (Figura N°8B). De cada parcela se tomaron cinco puntos al azar para obtener finalmente una muestra compuesta por profundidad (Figura N°7). Se reunieron en un envase las muestras de 0 -15 cm de los cinco puntos y se mezclaron hasta presentar una muestra homogénea (Figura N° 8A). Al tener lista la muestra, se empaco en una bolsa marcada con los siguientes datos: fecha, número de parcela, distancia (0-15 cm, 15-30 cm). Este mismo procedimiento se hizo con la muestra de 15 a 30 cm. Al finalizar la toma de las muestras se llevaron al IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) para realizar el análisis químico y físico de las muestras.

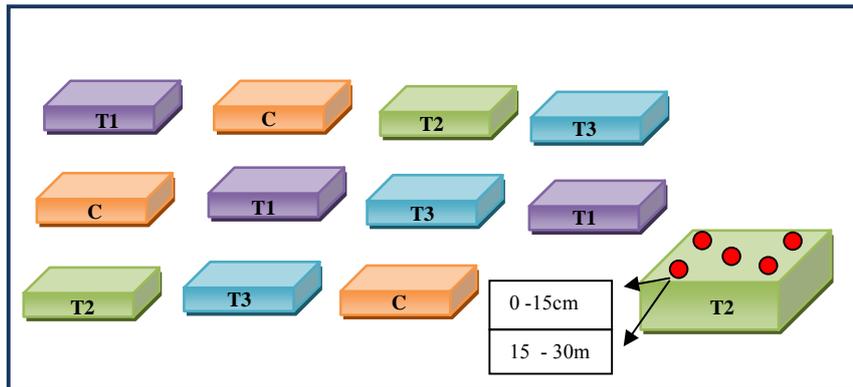


Figura N° 7. Selección de puntos de aplico para la toma de muestras de suelo por parcelas.

Para este estudio se tuvo en cuenta la variable física, granulometría el cual se midió el porcentaje de arcilla, porcentaje de limo y el porcentaje de arena presente en el suelo. En cuanto a las variables químicas se tuvo en cuenta el pH, porcentaje de carbono orgánico, porcentaje de Nitrógeno, la capacidad de Intercambio Catiónico, Potasio (meq/100g) y fosforo presente en los tres tratamientos y el control.



B. Figura N°8. Caracterización de la composición fisicoquímica del suelo en las parcelas experimentales. A. Homogenización de las muestras de suelo. B. Toma de muestras de las dos profundidades.

6. Análisis de datos

Para la evaluación de la comunidad vegetal se comprendieron la estimación y el análisis de la diversidad, riqueza y dominancia a través de índices que miden dichos parámetros, como el índice de Shannon-Wiener (H'), índice de Simpson, índice de Uniformidad de Pielou e índice de disimilaridad de Bray-Curtis. También se tuvo en cuenta la riqueza específica para ver el número de especies presentes en cada tratamiento.

6.1. Riqueza específica (S)

Para evaluar la riqueza específica se tuvo en cuenta el número de especies presentes en cada tratamiento y el control, luego con los datos obtenidos se graficó para observar si existen cambios entre los tratamientos y el control.

6.2. Estructura y composición

Para la composición florística se realizó un listado de especies encontradas en los tratamientos y el control. En cuanto a la estructura se analizó la cobertura y la distribución de las alturas para cada estrato.

Cobertura. Se medio el porcentaje de cobertura por estrato presente en cada tratamiento y el control, para obtener los valores en porcentaje:

$$\text{Cobertura de la especie} = (C1 / \text{área muestreada}) \times 100$$

Luego de obtener los resultados de la cobertura se graficó el porcentaje de cobertura de cada especie en cada una de las categorías encontradas (Matteucci & Colman 1982).

Distribución de Altura. Para el análisis de la altura, se empleo los intervalos de clase cuya amplitud se calculó por la formula de Sturges (Mateucci & Colma 1982).

$$C = (X_{\max} - X_{\min}) / m$$

$$m = 1 + 3.322 (\text{Log } n)$$

Donde:

n: Número total de individuos

m: Numero de intervalos

C: Amplitud de intervalo

X: Parámetros a analizar

Luego de obtener las alturas de las especies se diferenciaron los estratos de acuerdo a la estratificación de Rangel y Lozano (1986) donde muestran que las especies que están dentro del rango de 0-30cm son rasantes, dentro del rango 30-1,50cm son herbáceas y las que están entre 1,50-5,00m son arbustos. Después de obtener los estratos se graficó el porcentaje de cobertura para cada estrato en los tratamientos y el control.

6.3. Índices de Diversidad

6.3.1. Índice de Shannon – Wiener (H').

Se utilizó el índice de Shannon-Wiener para estimar la relación entre el número de especies y la proporción de sus individuos (Magurran 1988; Peet 1974; Baev & Penev 1995) en (Moreno 2000). Este índice tiene en cuenta que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Se utilizó la siguiente fórmula para hallar el índice de Shannon-Wiener:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde: $p_i = n_i/N$

N_i/N es una relación de riqueza

P_i : Proporción de individuos hallados por especie

6.3.2. Índice de Simpson (D)

Se utilizó el índice de Simpson para estimar la probabilidad de que dos individuos tomados al azar sean de la misma especie y poder ver la dominancia de la muestra. Una de las formas más

usadas del índice de Simpson es $1/D$ que lo limita en un rango de 0 – 1, en donde a medida que D aumenta la diversidad decrece (Magurran 1988, Moreno 2001).

$$D = \sum (n_i (n_i - 1) / N (N - 1))$$

n_i = Número de individuos de la especie i

6.3.3. Índice Uniformidad de Pielou.

La uniformidad se aplica para establecer que tan uniformes son las coberturas como variables de abundancia presentes en la muestra y que tan cerca de la diversidad teórica se encuentra en la diversidad de la muestra. El índice mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 0.1, de forma que 0.1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988).

$$E = H' / H_{\max} = H' / \ln S.$$

Donde:

S = Número de especies de la muestra

$$H_{\max} = \ln S$$

6.3.4. Índice de disimilaridad de Bray – Curtis.

Con los datos de la composición florística y las coberturas de las especies encontradas en los tratamientos se determinó si hay o no semejanza en su composición florística mediante el índice de Disimilaridad de Bray-Curtis,

Se realizó una matriz con los datos y se pasaron por el programa biodiversity, donde se analizó la disimilaridad de Bray-Curtis, que se basa en las diferencias entre las muestras en vez de las similitudes (Ramírez, 1999).

$$D_{jk} = \sum (X_{ij} - X_{ik}) / \sum (X_{ij} - X_{ik})$$

Donde:

D_{jk} = Disimilaridad entre las estaciones j y k.

X_{ij} = Abundancia de la especie i en la estación j.

X_{ik} = Abundancia de la especie i en la estación k.

6.4. Análisis estadístico

Después de obtener los índices de diversidad en el muestreo, se hizo un análisis de varianza ANOVA para establecer si hay diferencias significativas entre las variables de estudio de los tratamientos.

Para el análisis de los suelos se tuvo en cuenta la prueba de Kruskal- Wallis debido a que los datos no presentaron normalidad, por esta razón se aplicó una prueba no paramétrica la cual nos permitió observar si había diferencias significativas entre los tratamientos para los índices de diversidad.

7. Resultados

7.1. Composición Florística

En el área experimental se hallaron 21 especies (Tabla N°2).

Tabla N°2. Listado de las familias, géneros y especies de planta encontradas en el área de estudio y en que tratamiento o control se encontraron.

Familia	Género	Especies	Tratamientos				
			T1	T2	T3	C	
Asteraceae	<i>Hypochaeris</i>	<i>Hypochaeris radicata</i>	x	x	x	x	
	<i>Baccharis</i>	<i>Baccharis latifolia</i>	x	x	x	x	
	<i>Taraxacum</i>	<i>Taraxacum officinale</i>	x	x	x		
	<i>Achyrocline</i>	<i>Achyrocline</i> cf. <i>satureioides</i>			x		
		<i>Achyrocline</i> sp	x				
		<i>Achyrocline</i> sp		x			
<i>Bidens</i>	<i>Bidens</i> aff. <i>rubrifolia</i>		x				
Fabaceae	<i>Ulex</i>	<i>Ulex europaeus</i>		x		x	
Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>Juncus effusus</i>			x		
Iridaceae	<i>Crocasmia</i>	<i>Crocasmia</i> cf. <i>crocsmiflora</i>		x		x	
Polygalaceae	<i>Monnina</i>	<i>Monnina</i> cf. <i>aestuans</i>		x	x		
Myricaceae	<i>Morella</i>	<i>Morella parvifolia</i>	x			x	
Loranthaceae	<i>Gaiadendron</i>	<i>Gaiadendron punctatum</i>		x			
Poaceae	<i>Anthoxanthum</i>	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	x	x	x	x	
	<i>Stipa</i>	<i>Stipa ichu</i>	x	x	x	x	
	<i>Holcus</i>	<i>Holcus lanatus</i>	x	x	x	x	
	<i>Pennisetum</i>	<i>Pennisetum clandestinum</i>	x	x	x	x	
Polygonaceae	<i>Rumex</i>	<i>Rumex acetosella</i>	x	x	x	x	
	<i>Muehlenbeckia</i>	<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i>		x			
Polytrichaceae	<i>Polytrichum</i>	<i>Polytrichum</i> cf. <i>junipericum</i>				x	
Rubiaceae	<i>Galium</i>	<i>Galium hippocarpium</i>		x			

La familia Asteraceae fue la más representativa en el muestreo con 7 especies (29%), la mayoría de estas especies fueron observadas en el tratamiento 2, tratamiento 1, tratamiento 3 y por último el control. La familia Poaceae fue la segunda más representativa con 4 especies en todos los tratamientos y el control (19%). La familia Polygonaceae fue la tercera con dos especies (10%), la mayoría presentes en el tratamiento 2 y las familias restantes estuvieron representadas por una sola especie (5%) (Figura N° 9). Todos los géneros presentaron una sola especie menos *Achyrocline* la cual evidencio tres especies y solo una de ellas se identifico como *Achyrocline* cf. *satureioides*. Otras especies se encontraron específicamente en un solo tratamiento como en los casos de *Juncus effusus* que se presentó en el tratamiento 3, *Gaiadendron punctatum*, *Muehlenbeckia tamnifolia*, *Galium hippocarpium* y *Bidens* aff. *rubrifolia* se presentaron en el tratamiento 2 y por último se encontró en el control la especie *Polytrichum* cf. *junipericum* (Tabla N°2).

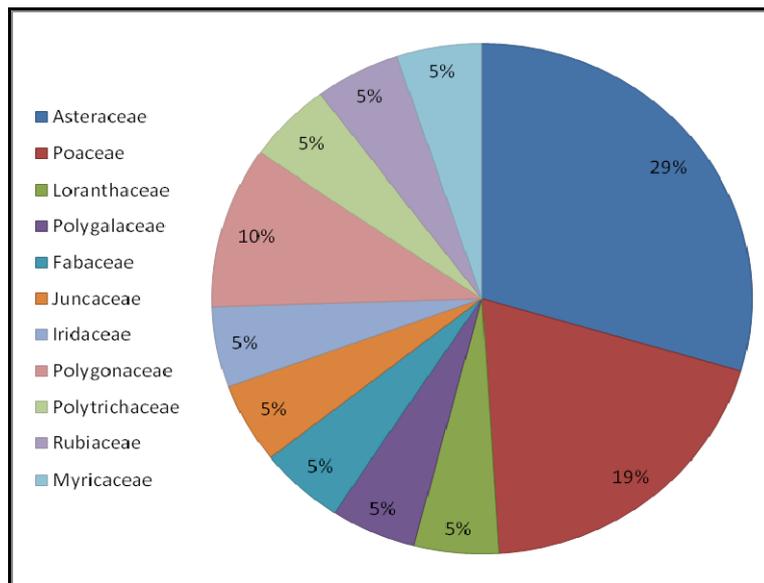


Figura N°9. Porcentaje de especies por familias.

7.2. Estructura de la vegetación

Se diferenciaron tres estratos en los tratamientos: rasante (0 -30 cm), herbáceo (31 – 1,50 cm) y arbustivo (1,51 – 5m) (Rangel & Lozano 1986).

El estrato arbustivo presentó mayor porcentaje de cobertura en los tratamientos 3 (38%) y 2 (31%) (Figura N° 10). La especie que alcanzó el mayor porcentaje de cobertura en este estrato fue *Baccharis latifolia* con el 35% (Figura N° 12 y 13).

En el estrato herbáceo los porcentajes de cobertura en los tratamientos fueron parecidos al control que obtuvo el menor valor con un 10% (Figura N° 10). La especie *Holcus lanatus* presentó mayor porcentaje con un valor de 33% (Figura N° 11 y 12).

Finalmente, el estrato rasante logró mayor porcentaje de cobertura en el tratamiento 2 (45%) y el menor en el tratamiento 3 (10%) (Figura N° 10). Las especies más representativas para el estrato rasante fueron *Holcus lanatus* (11%), *Pennisetum clandestinum* (2%) y *Taraxacum officinale* (3%) (Figuras N°11, 12 y 13).

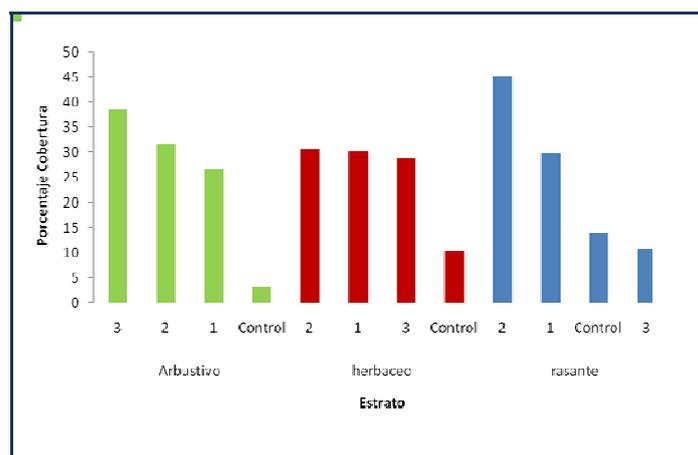


Figura N°10. Porcentaje de cobertura por estrato registrada en cada tratamiento

Para el tratamiento 3 la especie *Pennisetum clandestinum* logró el mayor porcentaje de cobertura en el estrato herbáceo y la especie *Taraxacum officinale* para el estrato rasante (Figura N°11). Por último en el control se observó que la especie *Stipa ichu* obtuvo el mayor porcentaje de cobertura en el estrato herbáceo con (13%) y la especie *Hypochaeris radicata* en el estrato rasante con 2% de cobertura (Figura N°12).

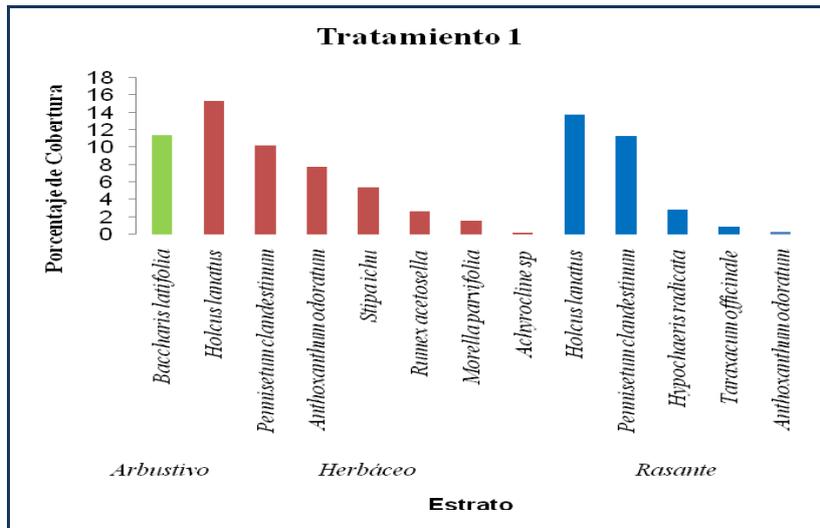


Figura N°11. Porcentaje de cobertura de las especies por estrato en el tratamiento 1

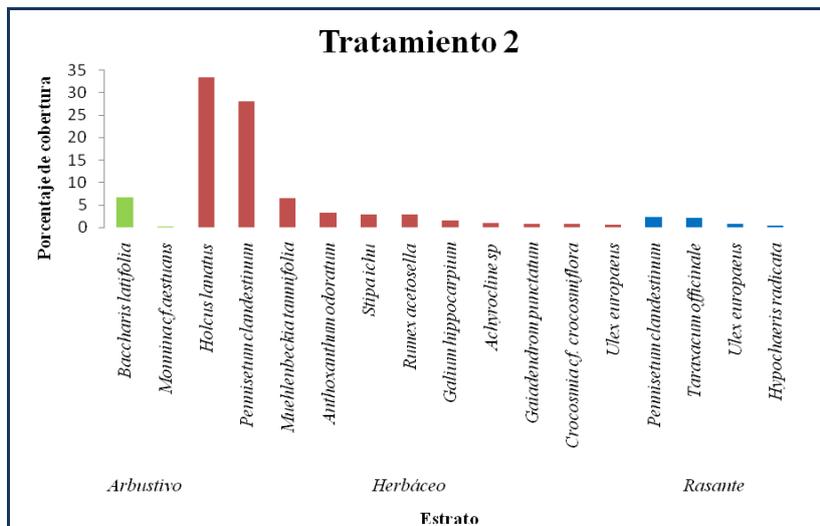


Figura N°12. Porcentaje de cobertura de las especies por estrato en el tratamiento 2

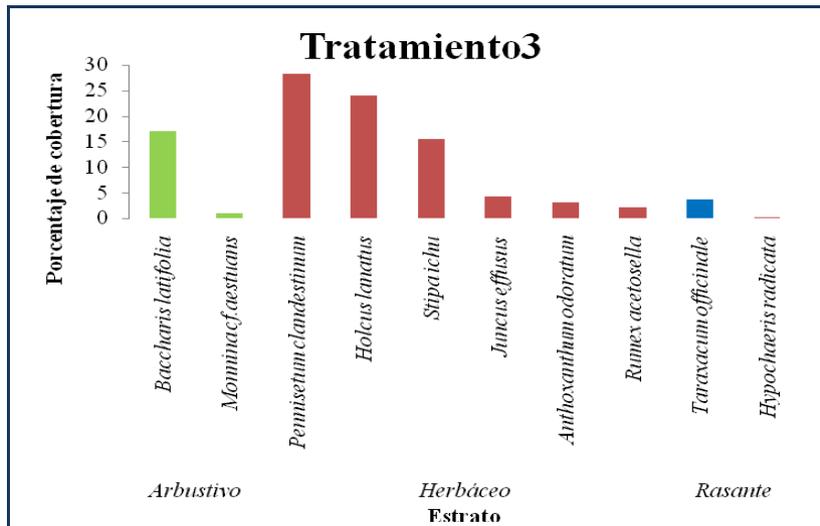


Figura N° 13. Porcentaje de cobertura de las especies por estrato en el tratamiento 3

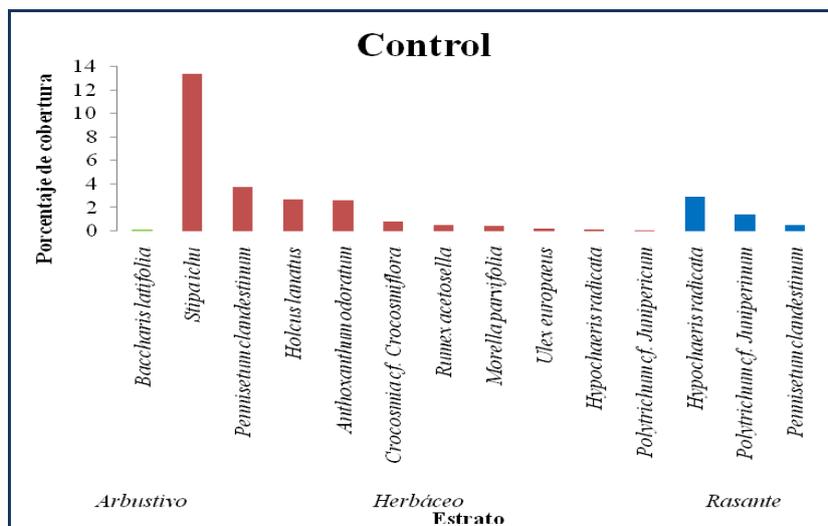


Figura N°14. Porcentaje de cobertura de las especies por estrato en el control

7.3. Distribución de Alturas

La distribución de valores de altura diferenció dos clases para el control, tres clases para el tratamiento 1 y cuatro clases para los tratamientos 2 y 3 (Figura N° 15 A, B, C y D). En general se observó una tendencia a presentar mayor abundancia de especies en la primera clase (altura entre 0 – 0,45 m).

El tratamiento 2 concentró el mayor número de especies en la primera clase con nueve especies, seguido del control con ocho especies, el tratamiento 1 con seis y el tratamiento 3 con cuatro (Figura N° 15 A, B, C y D).

La segunda clase (altura entre 0,5 – 0,95 m) congregó mayor número de especie en el tratamiento 2 con seis especies, luego está el tratamiento 3 con cuatro especies, seguido del tratamiento 1 con tres especies y en el control con sólo dos especies (Figura N°15 A, B, C y D).

La tercera clase (altura 1 – 1,45 m) obtuvo el menor número de especies en el tratamiento 1 con ninguna especie, en el control con 2 especies, en el tratamiento 2 y 3 con una sola especies y en el tratamiento 1 con ninguna especie (Figura N°15 A, B, C y D).

Por último, la cuarta clase (altura 1,5 – 1, 95 m) agrupó en los tratamientos una sola especie mientras que en el control no se presentó ninguna especie (Figura N°15 A, B, C y D)

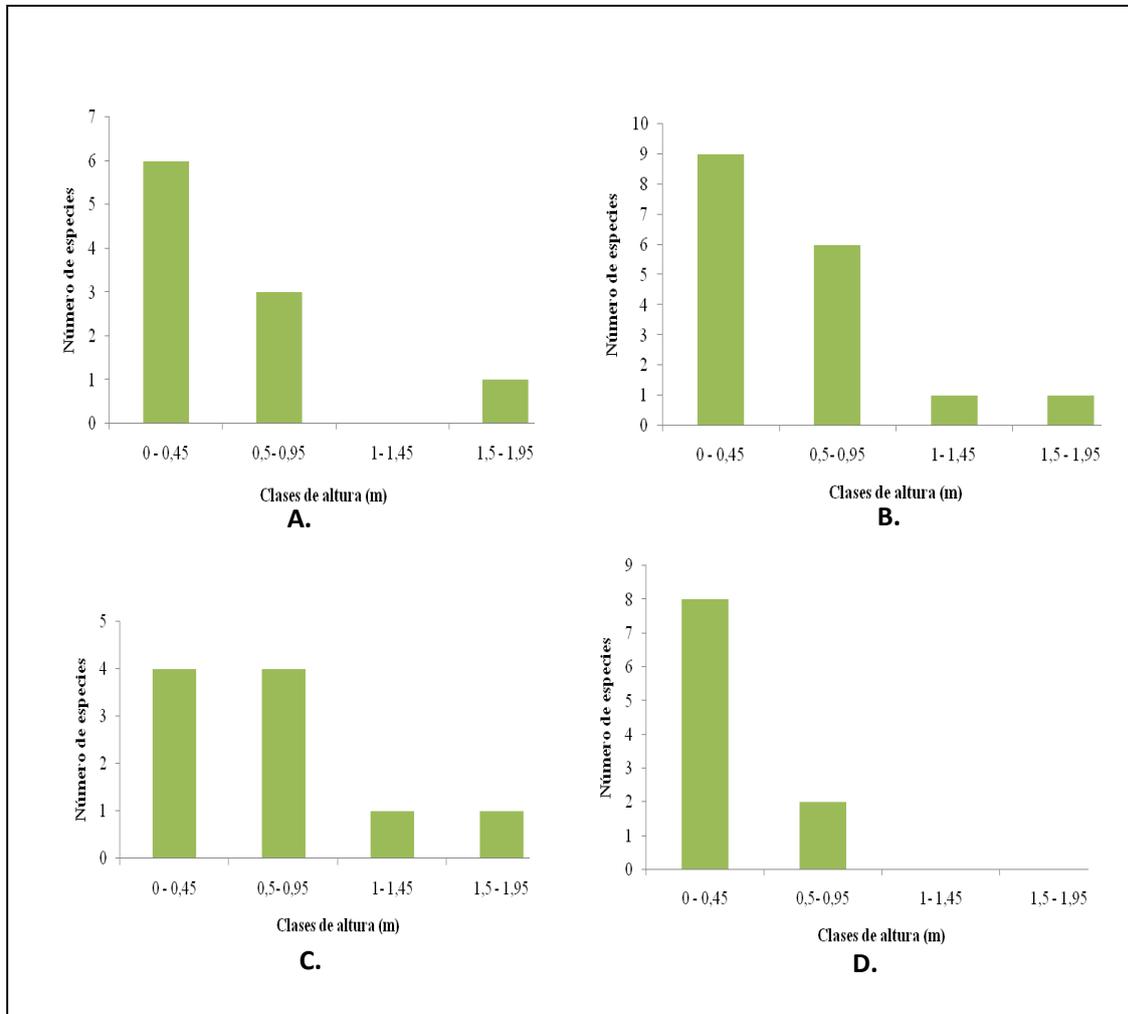


Figura N°15. Distribución por clases de altura en los tratamientos: A) 1, B) 2, C) 3 y D) Control.

7.4. Índices

7.4.1. Riqueza específica

Se encontró que el tratamiento 2 presentó el mayor número de especies con 17 especies, mientras que el tratamiento 1 y 3 obtuvieron los menores valores con diez especies cada uno (Figura N° 16).

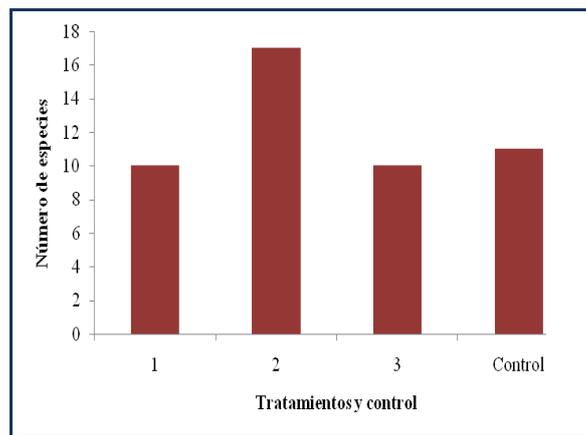


Figura N°16. Variación del número de especies para cada tratamiento

El análisis de varianza para la riqueza específica para cada uno de los tratamientos, se comprobó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos en el muestreo ($P > 0,05$).

7.4.2. Índice de diversidad Shannon-Wiener

Para el índice de Shannon el valor más alto lo alcanzó el tratamiento 2 con 1,897 y el más bajo el control con 1,731 (Tabla N° 3).

Mediante el análisis de varianza de la variable diversidad, se encontró que no hay diferencia significativa entre los tratamientos ($P > 0,05$).

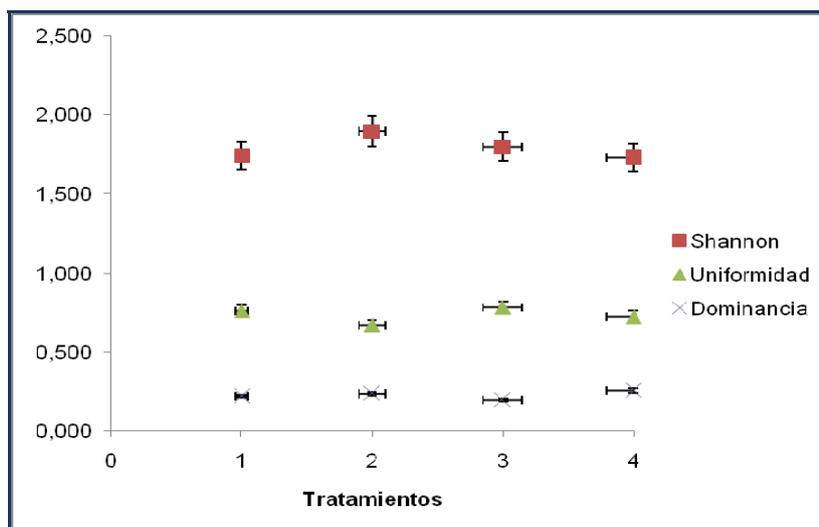


Figura N° 17. Índices de diversidad en los tratamientos y el control

Tabla N°3. Datos de índice de diversidad de cada tratamiento y control.

Tratamiento	Riqueza	Shannon	Pielou	Dominancia
1	10	1,747	0,759	0,223
2	17	1,897	0,670	0,239
3	10	1,799	0,781	0,199
Control	11	1,731	0,722	0,259

7.4.3. Índice de dominancia de Simpson

Los resultados mostraron que los valores de dominancia variaron entre 0,259 en el control y 0,199 en el tratamiento 3 (Tabla N° 3). Según los resultados del análisis de varianza de la variable dominancia, muestra diferencias significativas entre los tratamientos $P=0,4433$ ($P>0,05$).

7.4.4. Índice de Equidad de Pielou

En el estudio los valores de equidad que se obtuvieron fueron similares. El valor más alto lo alcanzó el tratamiento 3 con 0,781 y el más bajo el tratamiento 2 con 0,670 (Tabla N°3).

Según el análisis de varianza, mostró que no hay diferencias significativas entre los tratamientos ya que el $P=0,433$ ($P>0,05$).

7.4.5. Disimilaridad de Bray-Curtis

El índice de disimilaridad se evaluó a partir de la cobertura, presentando diferentes asociaciones en el muestreo. Los tratamientos 1 y 2 presentaron una mayor semejanza (70%) se guido del tratamiento 3, mostrando lo anterior que hay un alto nivel de similitud entre los tratamiento con respecto al control (Figura N°18).

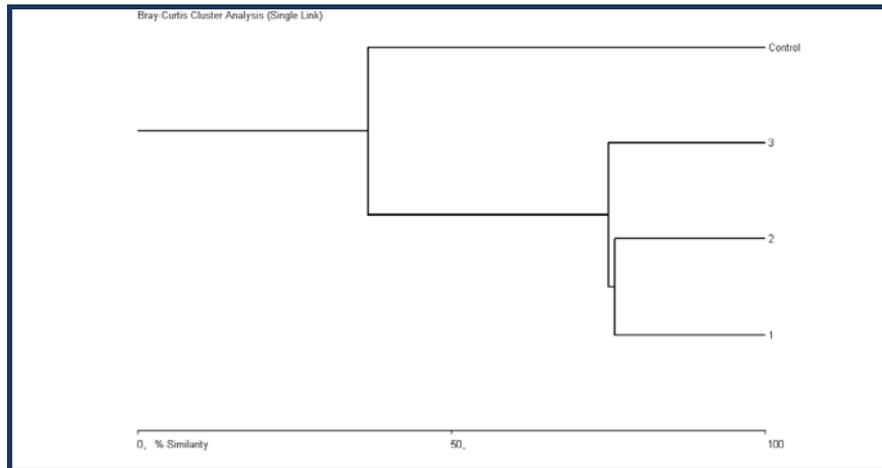


Figura N°18. Dendrograma de Bray-Curtis entre los tratamientos

7.5. Atributos Vitales

Formas de vida

A partir de las especies encontradas en el estudio se evaluó la forma de vida de las especies encontradas en el muestreo encontrando que la mayoría de las especies son hemicriptófitas (70%), seguido de especies Fanerófitas (30%), no hubo presencia de especies caméfitas y geófitas (Figura N° 19).

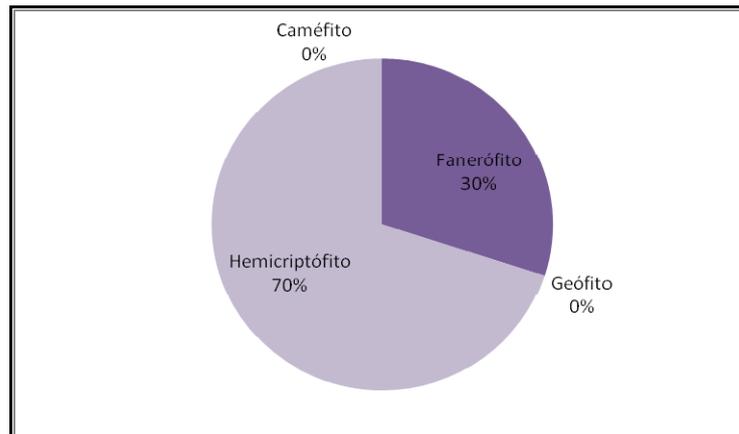


Figura 19. Distribución de las especies por forma de vida según Raunkieren en el área estudiada.

Ciclo de Vida

En cuanto al ciclo de vida de las especies encontradas se observó que la mayoría son perennes (95%) y el 5% son anuales (Figura N° 20). La especie *Bidens cf. rubrifolia* fue la única especie con ciclo de vida anual (Tabla N°4).

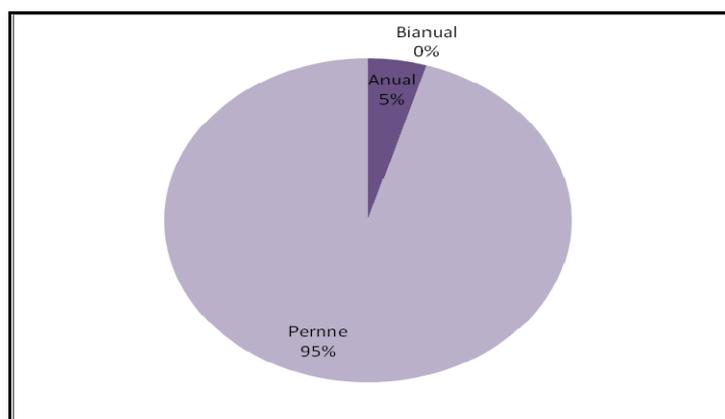


Figura N°20. Distribución de las especies por ciclo de vida según Luken en el área estudiada.

Método de dispersión

Por otro lado, el método de dispersión que más se presentó entre las especies fue la anemocoría con (54%), seguido de la zoocoría con el 32%, Hidrocoría con el 11% y faltó una familia por confirmar (Pc 3%) (Figura N° 21).

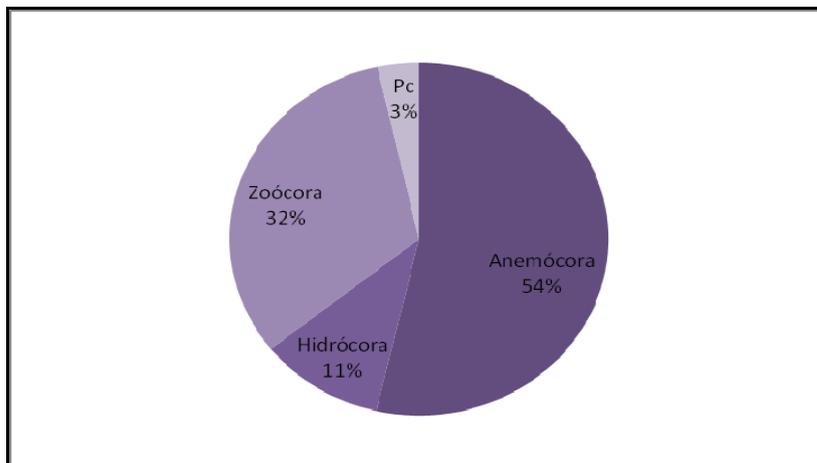


Figura N°21. Distribución de las especies por métodos de dispersión en el área de estudio.

Invasibilidad.

En cuanto a la invansivilidad, se observó que la mayoría de las especies encontradas en el estudio son exóticas invasoras con (71%), el otro 29% son de las especies nativas encontradas, no hubo presencia de especies exóticas naturalizadas (Figura N° 22).

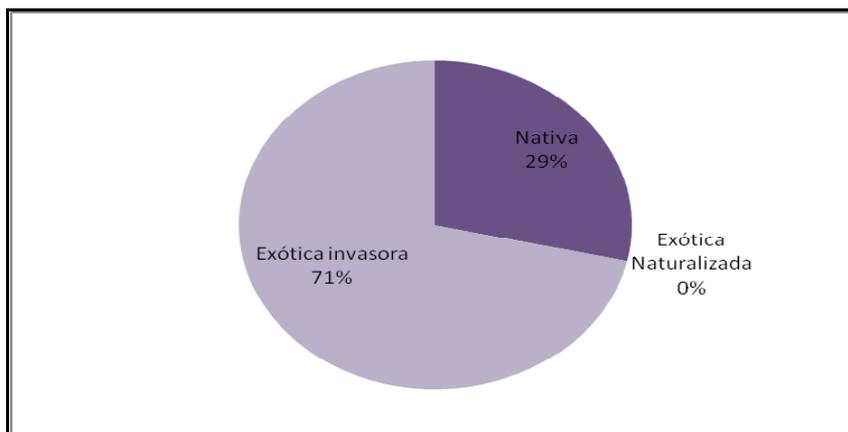


Figura N°22. Distribución de las especies por su invasibilidad en el área de estudio

Tabla N° 4. Síntesis de los atributos vitales de las especies encontradas en los tratamientos y el control.

Especie	CICLO DE VIDA			MODO DE DISPERSIÓN			INVASIBILIDAD			FORMA DE VIDA			
	Anual	Bianual	Perenne	Anemócora	Hidrócora	Zoócora	Nativa	Exótica naturalizada	Exótica invasora	Caméfito	Fanerófito	Geófito	Hemicriptófito
<i>Hypochaeris radicata</i>			X	X				X					X
<i>Baccharis latifolia</i>			X	X			X				X		
<i>Taraxacum officinalis</i>			X	X					X				X
<i>Achyrocline cf. satureioides</i>			X	X			X						X
<i>Achyrocline sp</i>			X	X			X						X
<i>Achyrocline sp</i>			X	X			X						X
<i>Bidens aff. rubrifolia</i>	X					X		X					X
<i>Ulex europaeus</i>			X	X	X				X		X		
<i>Juncus effusus</i>			X	X			X						X
<i>Crocosmia cf. crocosmiflora</i>			X	pc	pc	pc		X					X
<i>Monnina cf. aestuans</i>			X			X	X				X		
<i>Morella parvifolia</i>			X			X	X				X		
<i>Gaiadendron punctatum</i>			X			X	X				X		
<i>Anthoxanthum odoratum</i>			X	X		X			X				X
<i>Stipa ichu</i>			X	X			X						X
<i>Holcus lanatus</i>			X	X		X			X				X
<i>Pennisetum clandestinum</i>			X	X		X			X				X
<i>Rumex acetosella</i>			X	X	X	X		X					X
<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i>			X			X	X				X		
<i>Polytrichum cf. junipericum</i>			X	X	X		X						X
<i>Galium hippocarpium</i>			X	X			X						X

Fuente: Arias & Barrera 2007.

7.6. Variables Fisicoquímica del suelo

Se realizó el análisis de las diferentes variables registradas en los resultados generados en los tratamientos T1, T2, T3 y Control a dos profundidades de 0 a 15cm y de 15 a 30cm, el cual se realizó una comparación entre los tratamientos y el control.

7.6.1. Comportamiento de las Variables Físicas del suelo

En las muestras obtenidas por el único muestreo que se realizó en el estudio se analizó el porcentaje de la arena, del limo y de la arcilla presente en el tratamiento T1, T2, T3 y el control en las dos profundidades obtenidas (Figura N° 23).

Se observó que para la profundidad de 0 -15cm el control presento mayor porcentaje de arena el cual no hubo aplicación de biosólido, seguido del T3, T2 Y T1, mientras que en la profundidad de 15-30 cm el T1 presento mayor porcentaje de arena, seguido del control, T3 y T2 con el menor porcentaje.

En cuanto al porcentaje de arcilla se observó que el valor del control fue igual para las dos profundidades 10%, el valor más bajo lo presento el tratamiento 1 obteniendo 8,7% para la profundidad de 0-15cm y de 9,3% para la profundidad de 15-30cm.

Para el porcentaje de limo en la profundidad de 0-15cm el tratamiento 1 presento el mayor valor con 8,7% y para la profundidad de 15-30cm el tratamiento 2 presento el mayor valor con 9,3%. El valor más bajo para la profundidad 0-15cm fue el control con 4, 6% y para la profundidad de 15-30cm fue el tratamiento 3 con 7,3.

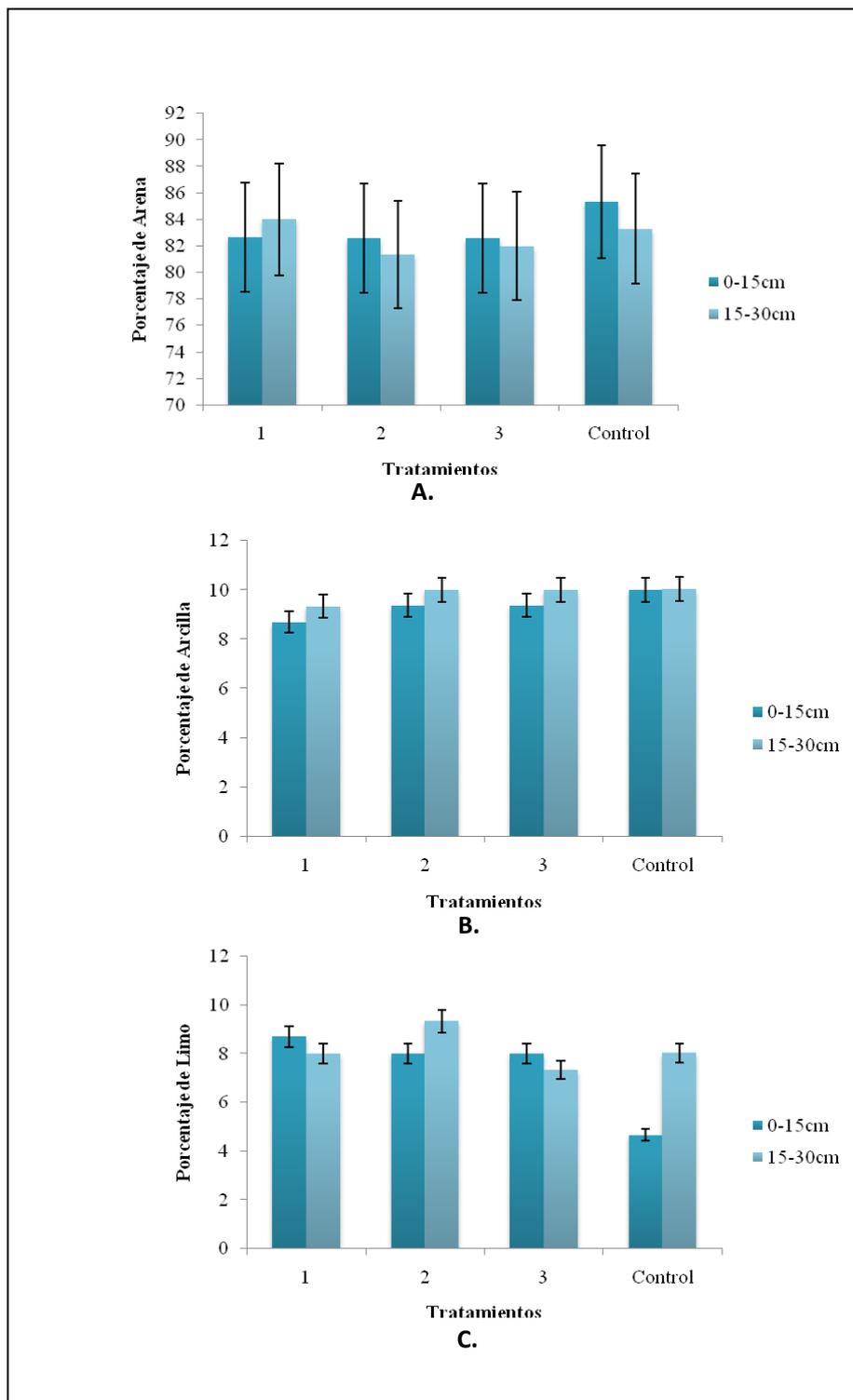


Figura N°23. Comportamiento de la variable física del suelo A. Porcentaje de arena B. Porcentaje de arcilla C. Porcentaje de limo.

7.6.2. Comportamiento de la variable pH en los tratamientos

Se observó en la profundidad de 0-15 cm que el pH es muy similar entre los tratamientos presentando un pH básico mientras que el Control presentó un pH ácido. Para la profundidad de 15-30 cm presentó una tendencia muy similar a la primera profundidad donde el control presenta un pH ácido a comparación de los tres tratamientos (Figura N°24).

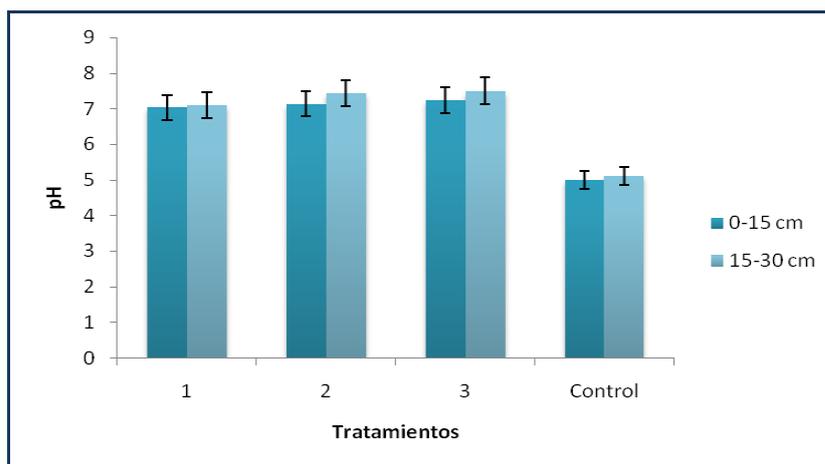


Figura N°24. Comportamiento de la variable pH en los tratamientos y el control.

Según la calificación de pH del Instituto Geográfico Agustín Codazzi del 2007, el control presentó para las dos profundidades un pH muy fuertemente ácido (5,05), mientras que los tratamientos 1 y 2 presentaron un pH neutro y el tratamiento 3 mostró un pH ligeramente alcalino (Tabla N°5).

Tabla N°5. Valores de pH en cada uno de los tratamientos

Tratamientos	T1	T2	T3	Control
pH	7,1	7,3	7,4	5,0
	4,6-5,0 Extremadamente ácido	5,6 -6,0 Medianamente ácido	6,6 - 7,3 neutro	7,4 -7,8 ligeramente alcalino

7.6.3. Comportamiento de la variable de carbono Orgánico en los tratamientos

Según los resultados del muestreo realizado para la profundidad de 0 -15 cm se evidenció un mayor contenido de carbono orgánico en el T2, T3, T1 y Control los cuales muestran una gran diferencia con respecto a la profundidad de 15 -30 cm donde se observó que el T2 presento mayor concentración de carbono orgánico seguido del T3, T1 y el Control (Figura N°25). Esto nos muestra que el carbono orgánico es mayor su porcentaje en la superficie con respecto a los resultados de la profundidad.

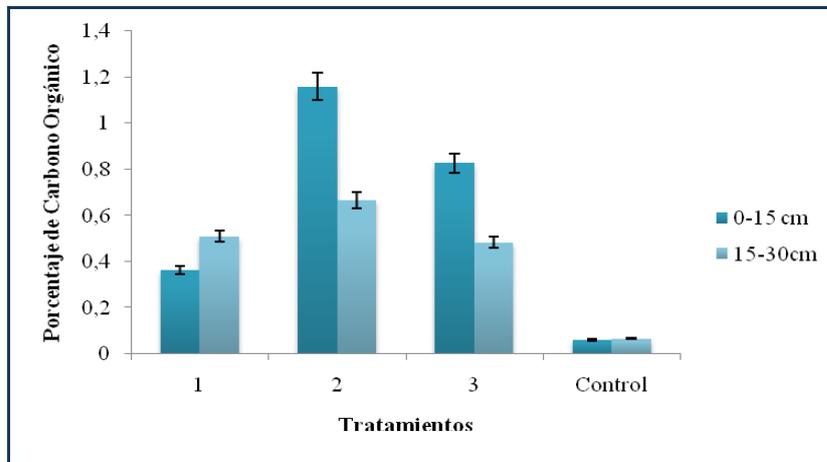


Figura N°25. Comportamiento de la variable de carbono orgánico en los tratamientos y control.

El promedio de los datos registrados para esta variable en ambas profundidades mostraron que el tratamiento 2 evidenció un valor mayor 0,93% y el control obtuvo el menor valor con 0,063% (Tabla N°6).

Tabla N°6. Variación del Porcentaje de Carbono Orgánico en cada uno de los tratamientos.

Tratamientos	T1	T2	T3	Control
% CO	0,43666667	0,93333333	0,655	0,06333333

7.6.4. Comportamiento de la variable Nitrógeno (N) en los tratamientos

Según los resultados del muestreo, para la profundidad de 0 -15cm, mostró que el T2 presento mayor porcentaje con respecto a los otros tratamientos, el control presento menor porcentaje de nitrógeno total en el muestreo (Figura N°26).

Por otro lado, para la profundidad de 15 -30 cm se observo que el T2 presentó mayor porcentaje de nitrógeno total seguido de el T3 y T1, el control presentó menor proporción de nitrógeno total. Esto nos muestra que a menor profundidad mayor porcentaje de nitrógeno total.

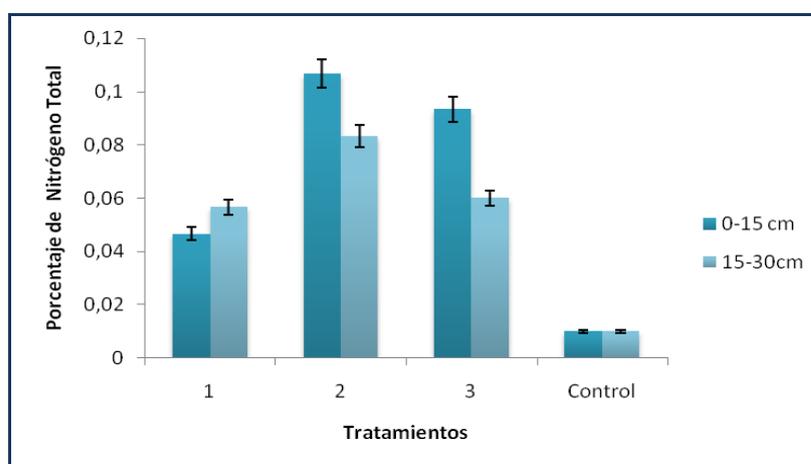


Figura N°26. Comportamiento de la variable Nitrógeno en los tratamiento y el control.

El promedio de los datos registrados para esta variable en ambas profundidades mostraron que todos los datos de los tratamiento y el control presentaron porcentaje de nitrógeno total bajo según con la clasificación del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Tabla N°7).

Tabla N°7. Variación del Porcentaje Total del Nitrógeno en cada una de los tratamientos.

Tratamientos	T1	T2	T3	Control
% NT	0,05166667	0,095	0,07666667	0,01
IGAC <0,25 = Bajo 0,26-0,5 = Medio >0,5 =Alto				

7.6.5. Comportamiento de la variable Potasio en los tratamientos

Según los resultados del muestreo, para la profundidad de 0 -15cm, el tratamiento T2 presento mayor proporción de potasio pero no hubo gran diferencia con el tratamiento T1, el tratamiento T3 y el control presentaron menor proporción de potasio en el muestreo (Figura N°27).

Por otro lado, para la profundidad de 15 -30 cm se observo que el T1 presentó mayor proporción de potasio seguido del T3 y T2, el control presento menor proporción de potasio.

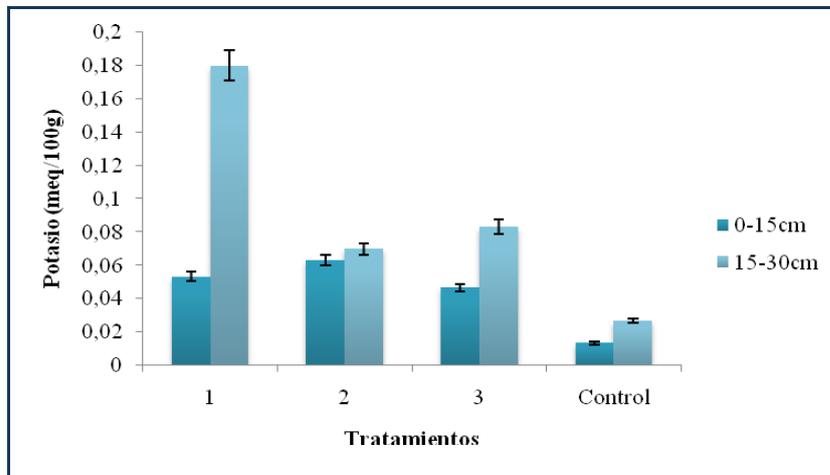


Figura N°27. Comportamiento de la variable Potasio en los tratamientos y el control.

El promedio de los datos registrados para esta variable en ambas profundidades mostraron bajos niveles de potasio según el IGAC siendo los datos menores de 0,15 meq/100g para todos los tratamientos y el control. Para la profundidad de 15-30 se presentó en el tratamiento 1 el valor más alto en comparación de los otros tratamientos (0,18 meq/100g) estando dentro del rango medio de la clasificación del IGAC). (Tabla N°8).

Tabla N°8. Variación del Potasio en cada uno de los tratamientos

Tratamientos	T1	T2	T3	Control
K (meq/100g)	0,11666667	0,06666667	0,065	0,02
<0,15=Bajo 0,15 – 3,5=Medio >3,5=Alto				

7.6.6. Comportamiento de la variable Fósforo en los tratamientos

En el análisis del muestreo que se realizó para la profundidad de 0-15cm se evidenció que el tratamiento T2 presentó la mayor cantidad de fósforo, seguido de T3 y T1, el control presentó la menor proporción de fósforo. Para la profundidad 15-30cm, se observó que el tratamiento T2 presentó la mayor cantidad de fósforo, seguido del tratamiento T3, T1 y el control (Figura N°28).

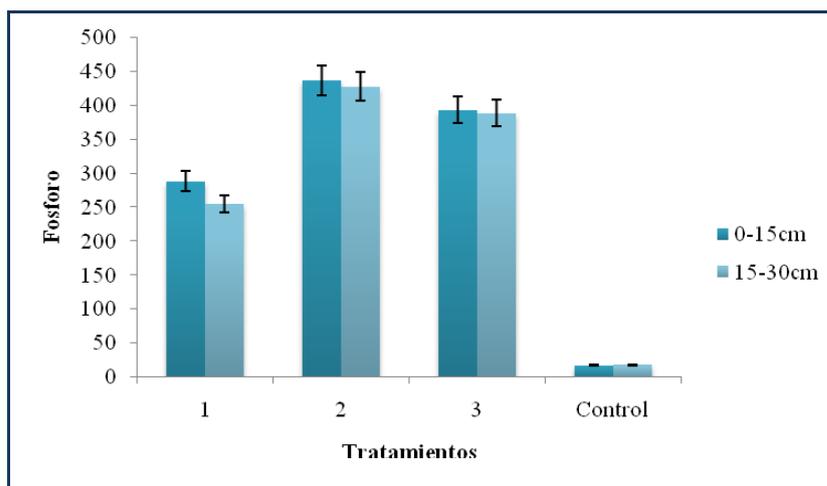


Figura N°28. Comportamiento de la variable Fósforo en los tratamientos y el control.

En cuanto al fósforo se observó que los tratamientos presentan alto contenido de fósforo presente en el suelo mientras que el control presentó un nivel medio de fósforo según el IGAC (Tabla N° 9)

Tabla N°9. Variación del Fósforo en cada uno de los tratamientos.

Tratamientos	T1	T2	T3	Control
P	272,083333	432,55	391,2	17,5666667
< 15 = Bajo 15-40=Medio >40= Alto				

7.6.7. Cambios de la variable Capacidad de Intercambio Cationico

Para la profundidad de 0-15cm se evidenció que el tratamiento T2 presentó la mayor capacidad de intercambio Catiónico, seguido de T3 y T1. El control presento el menor capacidad de intercambio catiónico (Figura N°29).

Para la profundidad 15-30cm, el tratamiento 2 registro mayor capacidad de intercambio catiónico, seguido de T3 y T1 y el control con la menor capacidad de Intercambio Catiónico.

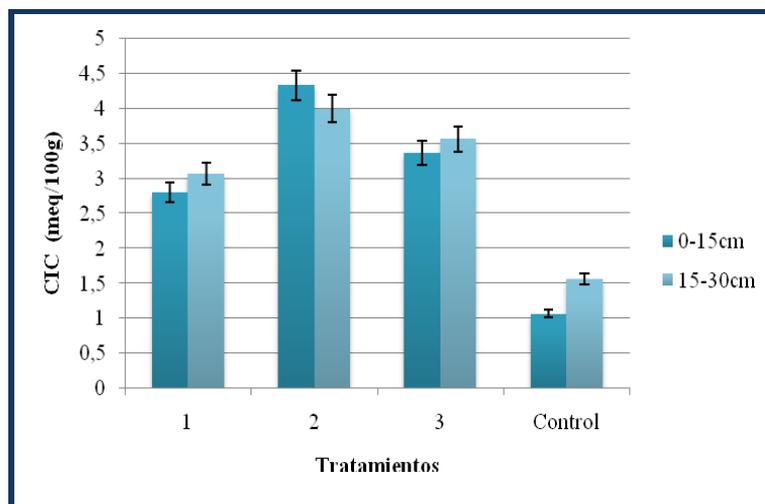


Figura N°29. Cambios de la variable Capacidad de Intercambio Cationico en los tratamiento y el control.

De acuerdo con la clasificación del IGAC los tratamientos y el control presentaron baja Capacidad de Intercambio Catiónico (Tabla N°10).

Tabla N°10. Variación de la capacidad de intercambio Catiónico en cada uno de los tratamientos

Tratamientos	T1	T2	T3	Control
CIC (meg/100g)	2,93333333	4,16666667	3,46666667	1,31666667
<10=Bajo 10-20=Medio >20=Alto				

8. Discusión

La composición florística presentó mayor presencia de las familias *Asteraceae*, *Poaceae* y *Polygonaceae* en los diferentes tratamientos y el control.

La familia *Asteraceae* es de las más numerosas en especies dicotiledóneas e igualmente diversas en bioforma, encontrándose hierbas arrosetadas; hierbas erguidas, bejucos, subarbuscos, arbustos y árboles de porte mediano (Sánchez, *et al* 2007). A nivel de especie para el estrato arbustivo *Baccharis latifolia* se presentó en los tres tratamientos y el control, esta especie se considera pionera y aparentemente tiene efecto positivo sobre el reclutamiento de propágulos de especies nativas (Castillo & Montoya), ya que ofrece unas condiciones propicias para la llegada de otras especies, permitiendo ampliar la diversidad. Estos arbustos con el tiempo dejan un conjunto de residuos vegetales (hojas y ramas), que están en diferentes etapas de descomposición y se acumula tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Rosell 1999) en Martínez *et al* 2008, formando materia orgánica en el suelo. A partir de la materia orgánica se produce el carbono orgánico el cual interacciona con las arcillas del suelo mejorando la actividad biológica, la estructura, la aireación y la penetración radicular (Cássia 2003; IGAC 2007;). Se puede decir que *Baccharis latifolia* es una especie colonizadora que se encarga de transformar el sustrato para la llegada de nuevas especies herbáceas y arbustivas que contribuyen a la formación del suelo y así contribuir a la formación de una comunidad especial de matorral bajo (Cortés *et al* 1999).

La familia *Poaceae* fue la segunda más representativa del estudio y a nivel de especie se encontró que *Holcus lanatus* y *Pennisetum clandestinum* se presentaron en los tres tratamientos y en el control. Además en el tratamiento 1 donde hubo menor aplicación de biosólidos, presentó mayor abundancia de las especies: *Holcus lanatus*, *Pennisetum clandestinum*, *Anthoxanthum odoratum*, *Stipa ichu*. Algunos investigadores han encontrado que la fertilización con nitrógeno y fósforo favorecen el establecimiento de los pastos y desfavorecen el establecimiento de algunas hierbas (Rorison, 1971; Doerr & Redente 1983), además Moreno (2004) observó que los suelos fertilizados con lodos de depuración inciden negativamente sobre la diversidad y favorece la abundancia de algunas especies como en el caso de la *Poaceae*. Para el presente estudio se observó que donde se aplicó el biosólido hubo presencia principalmente de los pastos y con el análisis químico del suelo hubo un incremento del nitrógeno y el fósforo. En el estudio de Vietor

y colaboradores (2010), observaron que los efectos integrados del biosólido en las propiedades del suelo mejoran la calidad y el crecimiento del pasto.

Teniendo en cuenta los resultados de la estructura de la vegetación se observó que el porcentaje de cobertura del estrato herbáceo presenta valores semejantes en los tres tratamientos y en cuanto a la altura, la clase que más predominó fue (0-0,45 m y 0,5-0,95m). Según Cortés (2003), los individuos que no superan la altura de 1,5m se conocen como matorrales bajos, donde se distinguen dos estratos, el rasantes y herbáceos siendo el segundo el más dominante, llegando a tener coberturas del 100%.

A pesar de tener mayor porcentaje de cobertura del estrato herbáceo y rasante en los distintos tratamientos se observó la presencia de dos especies arbustivas, *Baccharis latifolia* y *Monnina* cf. *aestuans* con alturas de 1-1,45m y 1,5-1,95m, ubicadas de forma dispersa, siendo este un indicador del estado sucesional de los tratamientos. En el caso de Cortés (2003), comenta que los estados sucesionales más avanzados los matorrales bajos son muy densos, mientras que en las etapas iniciales de colonización se ven arbustos dispersos sobre herbazales y pastizales. La densidad de estos matorrales varía de acuerdo con la calidad del sustrato en el cual se establecen, como en el caso de los matorrales bajos los cuales se presentan en la zona baja sobre suelos muy delgados pero también se establecen sobre suelos bastante profundos (Cortés *et al* 1999). En el estudio se observó varios arbustos de *Baccharis latifolia* dispersos en los diferentes tratamientos por lo cual coincide con lo que dice Cortés, hay que tener en cuenta que con el tiempo el biosólido se ha procesado desapareciendo y formado un suelo muy delgado.

Para las especies de la familia Poaceae encontradas en el muestreo presentaron similitudes con respecto a la polinización y su principal dispersión que es por el viento (anemócora) y presentan bancos de semillas persistentes (Grime *et al* 1988; Holm *et al* 1977). Hay que tener en cuenta que las especies *Holcus lanatus*, *Anthoxanthum odoratum*, *Pennisetum clandestinum*, *Stipa ichu* también pueden presentar dispersión de semillas realizado por animales (zoócoria) (Crowder 1960; 1988; Holm *et al*, 1977) (Tabla N°9).

Dentro de la familia Asteraceae, la especie *Hypochaeris radicata* se caracteriza por ser frecuentada por insectos y su polinización se realiza por ellos o por ellas mismas (Grime *et al.*, 1988; Hinojosa & Cruz 2008), por otro lado la especie *Achyrocline* cf *satureioides*, arrriban por

medio de la lluvia de semillas, gracias a su mecanismo de dispersión (Anemócora) (Corporación Suna Hisca), esto se refiere a la cantidad y diversidad de especies de semillas que cae por unidad de tiempo y superficie en una localidad determinada (Martínez, M & García, 2007) .

El método de dispersión de la familia Asteraceae y Poaceae les permite establecerse en sitios abiertos y en zonas de regeneración temprana, sin importar el grado de alteración, ya que en primera medida las estrategias de dispersión anemócora (Asteráceae y Poaceae) y zoócora y anemócora para Polygonaceae les permite llegar a áreas más alejadas de las plantas parentales (Vargas 2002).

La especie *Rumex acetosella* de la familia Polygonaceae es una hierba polinizada y dispersada por el viento, aunque también tiene dispersión por zoócora (Grime *et al* 1988; Holm *et al* 1977); además presenta banco de semillas persistente (Grime *et al* 1988). La especie *Ulex europaeus* de la familia Fabaceae es dispersada por autocoria, hidrocora y por el hombre (Holm *et al* & Ríos 2001) además la persistencia del banco de semillas es de sus principales características (Grime *et al* 1988; Holm *et a*, Ríos, 2001) y por último la especie *Baccharis latifolia* de la familia Asteraceae presenta dispersión por anemócora (Salamanca & Camargo, 2002).

La mayoría de las especies con dispersión zoócora producen semillas recalcitrantes que germinan rápidamente, en tanto que la mayoría de las especies anemócoras suelen tener semillas ortodoxas que permanecen viables en el suelo por tiempos más prolongados (Martínez & García 2007).

En cuanto a las formas de vida, Raunkier propone un sistema de clasificación para las plantas basándose en la posición y el grado de protección y renovación de los yemas quien son responsables de la transformación de los cuerpos aéreos de las plantas (Batalh & Martins 2004). En el presente estudio se observó que la mayoría de las especies hacen parte de la clase hemicriptófitas (70%), estas se caracterizan por presentar yemas ubicadas justo a nivel del suelo. Según Arias & Barrera (2007), muestran en sus resultados que puede existir una asociación de las formas de vida y el estado sucesional del área, dando como ejemplo, los hemicriptófitos que presentan yemas sobre la superficie del suelo que están protegidas por el follaje de la misma planta siendo este una adaptación en sustratos poco profundos, donde sus semillas germinan a ras del suelo, estas hierbas presentan raíces muy cortas y delgadas que pueden regenerarse sin

mayores requerimientos y en el menor tiempo posible, siendo estas características de especies pioneras en sucesión primaria.

Finalmente el factor que cobra gran importancia en la explicación del desarrollo de las especies en el estudio, es el sustrato. Se puede decir que el sustrato y la vegetación están fuertemente relacionados debido a que cuando se altera un factor de este complejo también cambian los otros y se establece un nuevo equilibrio (Daubenmire 1979).

El pH es una variable importante en el estudio ya que regula la disponibilidad de nutrientes para las plantas, controlando la clase y tipo de actividad microbiológica y por lo tanto la mineralización de la materia orgánica. Según Guacaneme y Barrera (2007), la aplicación de biosólidos al sustrato permite un incremento del pH, del fósforo y calcio siendo este una contribución del biosólido como enmienda orgánica en la recuperación de suelos disturbados por la actividad minera.

Los niveles de pH presentes en los tratamientos están relacionados con los valores de neutro para el tratamiento 2 (7,3) y para el tratamiento 1 (7,1) y un pH ligeramente alcalino para el tratamiento 3 (7,4) para las dos profundidades. Estos mismos resultados se asemejaron al estudio de Guacaneme y Barrera en el 2007, donde el nivel de pH tendió a disminuir en todos los tratamientos con biosólidos, donde se atribuye a que el efecto estabilizador de los carbonatos desaparece, a causa de su agotamiento por efecto de la lixiviación.

Cuando el suelo presenta un pH ácido como en el caso del control (5,0) para las dos profundidades (0-15 y 15-30) este generalmente está asociado a la presencia del aluminio, limitando el crecimiento y desarrollo de la mayoría de las plantas al formar complejos con el ión fosfato disminuyendo la disponibilidad del nutriente, además inhibe la división celular e impide la absorción del potasio (K) (IGAC 2007). Esto se ve claramente en el nivel de potasio presente en el control donde se observó la menor cantidad de este a comparación de los demás tratamientos.

El potasio es uno de los elementos que con más frecuencia se encuentra en el suelo en cantidades insuficientes y puede limitar el crecimiento de las plantas ya que interviene en diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos como en el caso de la síntesis de proteínas y en el transporte

de los fotoasimilados que ejerce una acción indirecta sobre la actividad fotosintética (Terron & rojo 1992).

Los bajos niveles de potasio se vieron reflejados en el control debido a que presentó menor porcentaje de cobertura en todos los estratos a diferencia de los otros tratamientos, pero fue el segundo que presentó mayor número de especies con 11 especies.

En los resultados obtenidos para el nitrógeno total fueron bajos ($<0,25$) en los tratamientos y control según la clasificación del IGAC. En el tratamiento 2, en la profundidad de 0-15 cm presentó mayor porcentaje de nitrógeno total siendo este de 0,095 y el control fue el que presentó menor porcentaje de nitrógeno total siendo este de 0,01, presentando resultados semejantes a Guacaneme y Barrera 2007. Según el estudio de Silveira y colaboradores (2009) el nitrógeno total fue un indicador sensible por la perturbación en las bajas profundidades, pero de igual forma se puede ver reflejado en el crecimiento de la vegetación. Los resultados obtenidos por Vietor y colaboradores (2010), mostraron que los efectos reportados del compost permiten un mejoramiento en cuanto al color, el contenido de nitrógeno foliar y su crecimiento, esto se lo atribuyen al nitrógeno y a otros nutrientes aplicados sobre el suelo en gran cantidad.

Según Martínez y colaboradores (2008) se podría explicar el aumento del pH por la liberación por mineralización de las bases de cambio contenida en los compuestos orgánicos y por el contenido inicial de nitrógeno. El nitrógeno contenido en los materiales vegetales originales provocaría un aumento inicial de pH asociado a formación de NH_4 que consume protones. La posterior nitrificación del NH_4 en NO_3 resultaría en una disminución del pH debido a la liberación de protones a la solución del suelo.

De acuerdo a los niveles de fósforo propuestos por el IGAC se observó que los tratamientos presentan un alto contenido de fósforo en el suelo (>40), siendo el tratamiento 2 el de mayor cantidad de fósforo para las dos profundidades con 432,55 ppm y tendiendo a ser el control el de menor cantidad de fósforo con un total de 17,56 ppm.

Aunque el contenido de fósforo total en el suelo sea alto, no siempre las condiciones físico-químicas pueden hacerlo aprovechable, como por ejemplo en suelos con pH inferior a 5,6 (ácido),

el fósforo es fijado por compuestos de hierro y aluminio como en el caso del control. Mientras que en aquellos con pH superior a 7,9 (alcalinos) el proceso de insolubilidad lo efectúan los carbonatos de calcio, principalmente. Esto quiere decir que la disponibilidad del fósforo se encuentra en pH neutros como en el caso del tratamiento 1 y 2 (IGAC 2007).

El fósforo es de gran importancia ya que favorece la fotosíntesis de las plantas, germinación de las semillas y emisión de las raíces. El fósforo disponible en el suelo proviene de la descomposición de la materia orgánica y de la meteorización química de los minerales fosfatados presentes en los materiales parentados (IGAC 2007).

El tratamiento 2 en la profundidad de 0-15cm fue el que presento mayor porcentaje de carbono orgánico 0,93% y el control presento el menor porcentaje de carbono orgánico 0.063%. También se observo que en las profundidades de 0-15cm superaban el porcentaje de carbono orgánico a comparación de la profundidad de 15-30cm menos el tratamiento 1 el cual revelo que la profundidad de 15-30cm fue de mayor porcentaje de carbono orgánico. Este tratamiento está relacionado con los resultados de Guacaneme y Barrera 2007, ya que la profundidad de 15-30cm presento mayor porcentaje de carbono orgánico, debido al proceso de mineralización, translocación y lixiviación (Pota & López 1993).

Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono orgánico que ingresa al suelo es frágil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable (Fao, 2001). Cuando el suelo presenta carbono orgánico este favorece la agregación del suelo y consecuentemente interviene en la distribución del espacio poroso del suelo, afectando diversas propiedades físicas, como humedad aprovechable, capacidad de aire y movimiento de agua y gases del suelo. El carbono interviene en las propiedades químicas del suelo, aumentando la capacidad de Intercambio Catiónico y la capacidad tampón sobre la reacción del suelo (Martínez *et al* 2008).

En los resultados obtenidos para la Capacidad de Intercambio Catiónico fueron bajos (<10) en los tratamiento y control según la clasificación del IGAC. En el tratamiento 2, en la profundidad de 0-15 cm presentó mayor Capacidad de Intercambio Catiónico siendo este de 4,16 meg/100g y el control fue el que presento menor Capacidad de Intercambio Catiónico siendo este de 1,31 meg/100g. La Capacidad de Intercambio Catiónico es una propiedad del suelo estrechamente

vinculada a su fertilidad, depende de los coloides inorgánicos como las arcillas y del contenido de materia orgánica presente en el suelo. La mayoría de los suelos tienen una carga permanente y otra carga que varía con el pH (Krull *et al* 2004).

Se considera que la capacidad de Intercambio Catiónico permanente proviene de la fracción arcilla, mientras que la Capacidad de Intercambio Catiónico variable depende de las sustancias húmicas.

9. Conclusiones

- El tratamiento que produjo una mejor respuesta de la vegetación en términos de cobertura, fue el Tratamiento 2 que consistió en cuatro partes de estéril por una de biosólido, además obtuvo mayor diversidad y riqueza específica.
- Según las proporciones aplicadas, el biosólido aporta grandes cantidades de macronutrientes importantes para la vegetación como el fósforo, nitrógeno, Carbono orgánico, potasio y neutralizando el pH, que se evidencia más en el tratamiento dos (T2). Por lo tanto, el aumento de estos nutrientes y del pH pueden ser las contribuciones más significativas del biosólido como enmienda orgánica en la recuperación de suelos degradados por la actividad minera.
- Los resultados mostraron indicios de los beneficios que los biosólidos generan a la vegetación, en áreas disturbadas.

ANEXOS

ANEXO 1. Formato para toma de datos de vegetación rasante y herbácea

Formato para vegetación rasante y herbácea						
Proyecto:						
Fecha:			Colectores:			
Bloques	Trata- miento	Cuadrante	Morfotipo	Altura total	Porcentaje cobertura	Características generales.

ANEXO 2. Formato para toma de datos de vegetación arbustiva.

Formato para vegetación arbustiva						
Proyecto:						
Fecha:			Colectores:			
Tratam iento	Morfotipo	Altura total	Diámetro mayor	Diámetro menor	CAP	Características generales.

ANEXO 3. Fotografías de las especies vegetales encontradas en el estudio.



Morfotipo N° 1. *Anthoxanthum odoratum*



Morfotipo N° 2. *Stipa ichu*



Morfotipo N°3. *Holcus lanatus*



Morfotipo N°4. *Hypochaeris radicata*



Morfotipo N°5. *Rumex acetosella*



Morfotipo N°6. *Baccharis latifolia*



Morfotipo N°7. *Crocosmia* cf. *crocosmiiflora*



Morfotipo N°8. *Ulex europaeus*



Morfotipo N°9. *Morella parvifolia*



Morfotipo 10. *Polytrichum cf. junipericum*



Morfotipo N°11. *Galium hippocarpium*



Morfotipo N°12. *Pennisetum clandestinum*



Morfotipo N°13. *Taraxacum officinalis*



Morfotipo N°14. *Achyrocline* cf. *satureioides*



Morfotipo N°15. *Achyrocline* sp.



Morfotipo N°16. *Monnina* cf. *aestuans*



Morfotipo N°17. *Achyrocline* sp.



Morfotipo N°18. *Muehlenbeckia tamnifolia*



Morfotipo N°19. *Bidens aff. rubrifolia*



Morfotipo N°20. *Gaiadendron punctatum*



Morfotipo N°21. *Juncus effusus*

Referencia Bibliográfica

- Andrés P.2009. Minería y planificación del territorio: un juego de escalas, en: Barrera, J.I., Contreras, S; Ochoa, A; Perilla, S; Garzón, N & Rondón, D (eds.). 2009. Restauración Ecológica de áreas Degradadas por Minería a Cielo Abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. 2007. Aula Ambiental de Soratama, en la tierra del sol. Secretaria Distrital de Ambiente. Primera Edición. Bogotá, D.C. Colombia.
- Alarcón, H; Gómez, A & Grisales, A.1975. Manual de conservación de suelos de ladera. Centro Nacional de Investigación de Café Cenicafé. Chinchina. Caldas. Páginas 267.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. D.C. 2006. Los Cerros Orientales de Bogotá D.C. Patrimonio cultural y ambiental del Distrito Capital, La región y el país. Plan de Manejo Ambiental Audiencia CAR. Pp 3.
- Alcañiz, M.; Ortiz, O.; Comellas, L.; Pujolá, M. & Serra, E. 1998. Utilización de lodos de depuración en la rehabilitación de suelos de canteras. Ingeopres (59):28-34.
- Arbelo, C.; Rodríguez Rodríguez, A.; Guerra, J. & Mora, J. 2002. Calidad del suelo y sucesión vegetal en andosoles forestales de las Islas Canarias. Edafología. Vol.9 (1). Pp. 31-38.pp.
- Arias, M & Barrera, J.2007.Carcterización florística y estructura de la vegetación vascular en áreas con diferente condición de abandono en la cantera Soratama, Localidad de Usaquén, Bogotá. Revista universitas Scientiarum. Pontificia Universidad Javeriana. Edición especial II, Vol. 12.Pp. 25-45.
- Ayala, F.; Fernandez, L.; Lopez, C.; Aramburu, M.; Escribano, M.. Mataix, C. & Toledo, M. 1989. Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. Instituto Tecnológico Geominero de España. Segunda Edición. Madrid, España. Pp. 332.

- Barrera, J. & Valdés, C. 2007. Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. Revista Universitas Scientiarum. Edición especial II. Vol. 12, 11-24.
- Braun-Blanquet.1979. Fitosociología. Base para el estudio de las comunidades vegetales.Mdríd, Blume Ediciones. 820pp.
- Batalha, M & Martins, F. 2004. Floristic, frequency, and vegetation life-form spectra of a cerrado site. Braz. J. Biol, 64(2): 203-209.
- Bradshaw, A. 1997. Restoration of mined lands-using natural processes. Ecological Engineering. 8:255-269.
- Cássia R.2003. Phytosociological studies on natural establishment of vegetation in an unreclaimed Limestone mining. Brzilian archives of biology and technology an international journal. Vol, 46. N°2. Pp259-269.
- Castillo, P & Montoya, S. Diseño de experiencias piloto como estrategias de restauraciónecológica en potreros abandonados e invadidos por retamo espinoso (*Ulex europaeus*), en la subcuenca media y alta del río Teusacá, Cerros Orientales de Bogotá D. C, Colombia. Departamento técnico administrativo de medio ambiente – DAMA
- Connell, J. & Slatyer, R.. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. The American Naturalist. 111(982): 1119-1144.
- Correa, A. 2000. La explotación racional de canteras y su incidencia en el Medio Ambiente. II. CER. Restauración de Ecosistemas alterados por la explotación minera. Bogotá. Pp13.
- CORPORACION SUNA HISCA. Parque ecológico distrital de montaña Entrenuves. Tomo I. Componente Biofísico. Vegetación. [En línea].
http://ambientebogota.gov.co/sda/libreria/pdf/ecosistemas/areas_protegidas/en_a11.pdf. [Consulta Mayo 19 de 2010].

- Cortés S. 2003. Estructura de la vegetación arbórea y arbustiva en el costado oriental de la Serranía de Chía (Cundinamarca, Colombia). *Caldasia* 25(1) 2003: 119-137.
- Código de Minas. 2010. Diario Oficial 47.618, ley 1318 de 2010 por la cual se modifica la ley 685 de 2001 Código de minas. Congreso de Colombia.
- Crowder L.V. 1960. Gramíneas y leguminosas forrajeras en Colombia. Ministerio de Agricultura de Colombia. Oficina de Investigaciones especiales. Boletín técnico No. 8. Bogotá. Pp: 110.
- Conrad W. 1962. Weeds. The Macmillan Company. Second Edition. Pp: 560
- Cuevas, J; Seguel, O; Ellies, A & Dorner, J.2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. *R.C.S Suelo Nutr. Veg.* 6(2). Pp 1 -12.
- Clements, F. 1916. Plant succession: An analysis of the development of vegetation. Carnegie Institute Publication N° 242. Washington.
- Chapin III, F. 1983. Patterns of nutrient absorption and use by plants from natural and man-modified environments. Section 4. In: *Disturbance and ecosystems*. H. A. Mooney & M. Gordon 175-185 pp.
- Curry J. 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils. Cap.3. Pp37-64. In: Edwards C. *Earthworm Ecology*. St. Lucie Press. USA.
- Decnher, A & Diazgranados, M. 2007. Composición y estructura de la vegetación boscosa de la cuenca baja del Río San Salvador, Vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. *Revista Universitas Scientiarum*. Vol. 12 N°2, Pp.99-124.
- Denslow, J.S. 1985. Disturbance-mediated coexistence of species. In: *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. P.S. While & S.T.A. Pickett. 307-317Pp.
- Delgado, A & Mejia, M. 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): 331-368.
- Elliot, H & Dempsey, B. 1991. Agronomic effects of land application of water treatment sludges. En: Giraldo, O & Lozano, A.2006.
- Eriksson, O. & Jakobsson, A. 1998. Abundance, distribution and life histories of grassland plants: A comparative study of 86 species. *The journal of ecology*. 86(6): 922 – 933.
- Fontúrbel, F.; Richard, E. & García, G. 2006. Diversidad de flora fanerógama y aspectos ecobiológicos de la unidad vegetal de Aygachi-Cumana-Bahía Cohana, lago Titikaka (La Paz, Bolivia). *Ciencia abierta internacional*. Vol.30. Universidad de Chile.
- Forman, R.T.T. & Gordon, M. 1986. *Land-scape ecology*. Jhon Wiley, New York. 619pp.
- Gleason, H. 1926. The individualist concept of plant association. *Bulletin of torrey Botanical*. 53: 7-26.
- Glenn-Lewin, D. & Van Der Maarel, E. 1992. Patterns and processes of vegetation dynamics. En: *Plant succession theory and prediction. Population and community biology. Series 11*. Chapman and Hall. London-New York- Tokyo – Melbourne- Madras. 11-59.
- Grime, J.P. 1979. *Plant strategies and vegetation processes*. Wiley, Chichester. Pp.222.
- Grime J. 1989. Estrategias de adaptación de las plantas y procesos que controlan la vegetación. Editorial Limusa, S.A. México, D.F. Pp 291
- Giraldo, O. & Lozano, A.2006. Efecto del secado de los biosólidos de la plantade tratamiento de aguas residuales El Salitre (Bogotá) sobre su contenido de nutrientes, metales pesados y patógenos. *Agronomía Colombiana*24(2):348 -354. Bogotá. Colombia.
- Grime, I..D.; J.G. Hodgson; R., Hunt. 1988. *Comparative plant ecology. A functional approach to common British species*. Urnwln Hyman. London. Pp: 742.

- Guacaneme, S & Barrera, J. 2007. Efecto de la aplicación de biosólidos como enmienda orgánica, en la recuperación de un suelo disturbado por actividad extractiva en la cantera de Soratama, Localidad de Usaquén, Bogotá. Revista Universitas Scientiarum. Pontificia Universidad Javeriana. Edición especial, Vol.12. Pp. 85-98.
- 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”. Bogotá. 20 pp.
- Historia Ambiental de Bogotá. Siglo XX. 2005. Elementos históricos para la formulación del medio ambiente urbano. Universidad distrital Francisco José de Caldas. Editorial Nomos. Bogotá.
- Hinojosa, O & Cruz R. 2008. Nota sobre la presencia de *Hypochaeris radicata* L. (Asteraceae: Lactueae) en la flora del Distrito Federal, México. Bol. Soc. Bot. Méx. 82:63-65.
- Holm, L.R.; J. Doll; E Holm; J. Pancho; J. Herberger. 1977. World weeds. Natural histories and distribution. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York. Pp: 1129.
- Jha, A.K. & Singh, S. 1991. Spoil characteristics and vegetation development of an age series of mine spoils in a dry tropical environment. Vegetatio 97:63-76.
- Krull, E; Skjjemstad, J & Baldock, J. 2004. Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Grains Research & Development Corporation report Project N°CSO 00029.
- Luken, J.O. 1990. Directing ecological succession. Department of biological sciences. Northern Kentucky University, USA. Chapman and Hall. Pp. 1- 211.
- Matteucci, S & Colman, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los estados americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. 168p.

- Magurran A. 1988. Ecological diversity and its measurement. First edition. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, U.S.A. Pp.
- Martínez, F; Cuevas, G; Calvo, R & Walter, I. 2003. Biowaste effects and native plants in a semiarid ecosystem. *Journal Environmental Quality* 32: 472- 479.
- Martínez, M & García, X. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. Número 080. Pp. 69-84.
- Martínez, H, Fuentes, J & Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Journal. Soil. Sc. Plant Nutr*: 8(1)2008. Pp. 68-96.
- Matos, A & Bruzón, N. 2003. Flora asociada a un sitio minado recultivado con sustitución de especies. *Centro Agrícola*, año 30, N°.1, enero-marzo.
- Matesanz, S & Valladares, F. Plantas ruderales. Instituto de Recursos Naturales. Centro de Ciencias Medioambientales.
- Ministerio De Medio Ambiente. 1998. Guía Ambiental para actividades del subsector de Materiales de construcción- Canteras Fase de Explotación (GMCE). Biotipo Ltda. Colombia.
- Miki, M; Andrigueti, E & Sobrinho, P. 2001. Tratamento da fase sólido em estações de tratamento de esgotos-In Biossólidos na Agricultura. Primeira edição Sao Paulo. 468pp.
- Miranda B. 2009. Estrategias para la restauración del componente suelo en áreas afectadas por minería, en: Barrera, J; Contreras, S; Ochoa; Perilla, S; Garzón, N & Rondón, D. (eds). 2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por Minería a Cielo Abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. Pp. 161-173.
- Moreno A. 2006. Caracterización florística y estructura de la vegetación vascular microcuena Santa Helena (Vereda el Hatillo), Municipio de Suesca-Cundinamarca. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia. Pp. 89.
- Moreno C. 2000. Métodos para medir la biodiversidad. Manual & tesis SEA. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. Pp 83.

- Moreno. 1999. Patrones de sucesión vegetal sobre depósitos de material residual en minas de gravas en Santafé de Bogotá. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Pp130.
- Mueller-Dombois, D. & Elleberg H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons. USA. 574pp.
- Noble, I. & Slatyer, R.O. 1980. The use of vital attributes to predict sucesional changes in plants communities subject to recurrent disturbance. *Vegetation*. 43: 5 – 21.
- Odum, E. 1987. Fundamentos de ecología. Primera edición en español. Nueva editorial interamericana. 319-333 pp.
- Ochoa. A. 2007. Efecto de la aplicación de biosólidos, sobre el desarrollo de la vegetación en las primeras etapas sucesionales, en la cantera Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá D.C. Convenio 017/2003 DAMA-PUJ. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia. Pp 169.
- Parrotta, J. & Knowles, O. 2001. Restoring tropical forest on lands mined for bauxite: Examples from the Brazilian Amazon. *Ecological Engineering*. Vol.17. Pp. 219-239
- Pacheco, L. & Patiño, M. 2003. Evaluación de la aplicación de biosólidos producidos en la Planta de tratamiento de aguas residuales el Salitre en la revegetación del relleno sanitario Doña Juana. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Ingeniería Civil. Bogotá. 113 pp.
- Peet, R.K. 1992. Community structure and ecosystem function. En: Van der Valk, A. 1992. Establishment, colonization and persistence. En: *Plant Succession theory and prediction*. Population and community biology. Series 11. Chapman and Hall. London. 103-141 pp.
- Pickett, S.T.A. & White, P.S. 1985. The ecology of natural disturbance and pathways of succession. Academic Press Inc. 472pp.
- Porta, J & López, M. 1993. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. Pp. 849.

- Rangel, O. & Velásquez, A. 1997. Métodos de estudio de vegetación. 59 – 87 pp en: Rangel o, Lowy P, Aguilar M. Colombia Diversidad Biótica II. Universidad Nacional de Colombia Bogota – Colombia.
- Ramírez, R.; Velásquez, D. & Acosta, E. 2007. Efecto de la aplicación de biosólidos en el crecimiento de *Jacaranda mimosifolia* (Gualanday) y en las condiciones física y químicas de un suelo degradado. Rev. Fac. Nal. Agr. Vol.60, N° 1. Medellín. Colombia. Pp. 3751-3770.
- Rechcigl J. 1995. Soil amenments and environmental quality. Jack E. Lewis Publishers, CRC Press, Inc. pp.199-232. En: GIRALDO, O & LOZANO, A. 2006.
- Rosenfeld, A; Sweeting, A & Clark, P. 2000. L Ightening The Lode. Aguide to responsible Large-scale Mining. Conservation International. Pp 117.
- Sánchez, L; Gelviz, G & Solano, F. 2007. Plantas con flores de la reserva el Volcán, vereda Alto Grande Pamplona, Norte de Santander. Revista Bistua. Facultad de Ciencias Básicas. Año/Vol.5, número 001. Universidad de Pamplona. Bucaramanga, Colombia. Pp. 27-34
- Salamanca J. & Camargo, B. 2002. Protocolo Distrital de Restauración Ecológica. DAMA. Bogotá. Pp 164-170.
- Saunders, D.A; Hobbs R.J & Margules, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a Review. Conservation Biology. 5(1)18-31.
- Silveira, M; Comerford, N; Reddy, K; Prenger, J & Debusk, W. 2009. Soil properties as indicators of disturbance in forest ecosystems of Georgia, USA. Ecological indicators 9(2009). Science Direct. Pp. 740-747.
- Skousen, J & Clinger. 1993. Sewage sludge land application program in West Virginia. Journal of soil and wáter Conservation 48(2): 145-151.
- Steubing, L; Millán, A; Godoy, R & Alberdi, M. 2001. Monografías, Métodos de ecología vegetal. Publicado por Editorial Universitaria. Capítulo IV. Pág. 159.

- Sperling, M. & Andreoli, C. 2001. Introducción capítulo 1. En Andreoli, C. Lodo de esgotos: tratamiento e disposición final. Belo horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental- UFMG: Companhia de Saneamento do Paraná. 93-96pp.
- Smith, R & Smith, T. 2001. Ecología. Addison Wesley. Madrid. Pp 639. En: Fotúrbel, F, 2006.
- Torres, P.; Madera, C. & Martínez, G. 2008. Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas para aprovechamiento agrícola. Rev. Fac. Nac. Agr. Medellin. 61(1):4432-4444.
- Tilman, D. 1985. Resource competition and community structure. Princeton University Press.
- Topp, K.; Thelen, K. & Kappes, H. 2010. Soil dumping techniques and afforestation drive ground-dwelling beetle assemblages in a 25-year-old- cast mining reclamation area. Ecol,Eng. (2010), doi;10,1016/j.ecoleng.2009.12.011.
- Torres, P.; Madera,A. & Martínez, G. 2008. Estabilización alcalina de biosólidos compostados de Plantas de Tratamiento de aguas residuales domésticas para aprovechamiento agrícola. Rev. Fac. Nal. Agr.61(1): 4432-4444. Medellín, Colombia.
- Torres, C. & Galetto, L. 2008. Importancia de los polinizadores en la reproducción de Asteraceae de Argentina Central. ACTA BOT. Venezuela. 31(2): 473-494.
- Torres, P.; Madera, C. & Silva, J. 2009. Mejoramiento de la calidad de microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticos. Revista EIA, Número 11. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia). Pp. 21-37.
- Tsutiya, M. 2001. Alternativas de disposición final de biosólidos- In Biosólidos na agricultura. Edição Sao Paulo. 468pp.
- Vallejo, M.; Londoño, A.; López, R.; Galeano, G.; Álvarez, E. & Devia, W. 2005. Métodos para estudios ecológicos a largo plazo, el establecimiento de parcelas

permanentes en bosques de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos. Alexander Humboldt. Pp.309.

- Vargas, E. B. 1998. Gestión y Ambiente. Ministerio y Medio Ambiente. Número 1. Colombia. Pp. 17-26.
- Vargas R. 2000. Sucesión-regeneración del Páramo después de quemas. Tesis de grado. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Bogotá. Pp. 147.
- Vickery, M. & Hall, J. 1987. Ecología de plantas tropicales. Pp. 232.