

**USO DE BIOINGENIERÍA EN SUELOS QUE HAN SIDO AFECTADOS POR  
PROCESOS EROSIVOS EN CANTERAS EN LOS CERROS ORIENTALES DE LA  
CIUDAD DE BOGOTÁ EN EL SECTOR DE USAQUÉN**

**FRANK GIOVANNI RAMIREZ CELIS**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO  
MAGISTER EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

**DIRECTOR**

**JUAN CARLOS MONTOYA SALAZAR**

**Ph.D**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES**

**MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

**MANIZALES CALDAS COLOMBIA**

**2019**

**NOTA DE ACEPTACION**

\_\_\_\_\_ **APROBADA**

---

---

---

---

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**DEDICATORIA**

A Dios por darme la oportunidad de vivir, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi amada esposa María Teresa Sarabia de quien recibí su voz de aliento, comprensión y apoyo, quien con su paciencia inteligencia y palabras positivas me motivaron día a día para salir adelante con este proyecto de estudio, gracias por ser mi fuente de mi inspiración, Te Amo Mucho sin ti a mi lado esto no hubiese sido posible.

A mis padres Gladys y Eduardo, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me han apoyado en cada etapa de mi vida. Padres gracias por estar siempre en sus bendiciones los llevo en mi corazón.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia y a amigos por su apoyo y cariño permanente en este largo proceso.

A la Universidad de Manizales a sus Directivos y profesores por la organización del programa de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente por haberme brindado esta gran oportunidad y enriquecerme en conocimientos.

Al Doctor JHON FREDY BETANCURT Ph.D. Director de la línea de Biosistemas Integrados Por su colaboración y apoyo.

Al Doctor JUAN CARLOS MONTOYA SALAZAR Ph.D, por su asesoría, orientaciones, su crítica constructiva y paciencia contribuyeron para la realización del trabajo investigativo.

A todas las personas que conocí en el camino y que me colaboraron con sus conocimientos y experiencia para el desarrollo investigativo.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCION .....	3
1. GENERALIDADES .....	5
1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	5
2. JUSTIFICACION .....	10
3. OBJETIVOS .....	11
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	11
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	11
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:.....	11
4.1. Hipótesis o Supuestos.....	11
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
6. MARCO TEORICO. ....	18
6.1. Antecedentes de la Bioingeniería. ....	18
6.1.1. La construcción sostenible .....	19
6.2. Definiciones y conceptos generales.....	20
6.2.1. Definición de Bioingeniería de suelos: .....	20
6.2.2. Impacto Ambiental.....	21
6.2.3. Tipos de contaminación ambiental relacionados a la construcción civil. ....	22
6.2.4. Contaminación del agua.....	22
6.2.5. Contaminación del aire. ....	23

6.2.6.	Contaminación del suelo.....	23
6.3.	El suelo.....	24
6.4.	La erosión.....	24
6.5.	Erosión Superficial de los Suelos.....	25
6.6.	Tipos de Erosión.....	25
6.6.1.	La erosión por el viento.....	25
6.6.2.	Erosión por Gotas de Lluvia.....	25
6.6.3.	Erosión Laminar. La erosión.....	26
6.6.4.	Erosión en Masas (Deslizamientos).....	26
6.7.	Agentes que Intervienen en la Erosión.....	27
6.7.1.	Lluvia.....	27
6.7.2.	Intensidad de la Lluvia.....	27
6.7.3.	Frecuencia de Lluvia.....	27
6.7.4.	Grado de Pendiente.....	28
6.8.	Funciones de las técnicas de Bioingeniería.....	29
6.9.2.	Técnicas de Revegetalización.....	33
6.9.3.	Sistemas de apoyo y soporte.....	36
6.9.4.	El medio ambiente y los impactos ambientales.....	40
	¿Cuándo una obra de ingeniería produce un impacto ambiental?.....	40
6.9.5.	Los impactos en las obras civiles.....	41
6.9.6.	Problemas de ingeniería que pueden repararse con el uso de técnicas de ingeniería.....	43
6.9.7.	Materiales usados por la Bioingeniería.....	43

6.9.8.	Principales técnicas y métodos.....	44
6.9.9.	Consideraciones que se deben tener para proyectos y trabajos de Bioingeniería.....	45
6.9.10.	Análisis de problemas de erosión de suelos e inestabilidad de taludes en donde se pueden aplicar soluciones de bioingeniería en cualquier sector vial.....	47
6.9.11.	La influencia de la vegetación en los taludes.....	49
6.9.12.	Riesgo de desestabilización de taludes. ....	50
6.9.13.	Desestructuración y compactación de suelos.....	50
6.9.14.	Legislación.....	51
6.9.15.	Normatividad vigente para los Cerros Orientales de Bogotá D.C .....	52
6.9.16.	Marco Legal Ambiental. ....	53
7.	METODOLOGIA.....	64
7.1.	Descripción de la unidad de análisis .....	64
7.2.	Unidad de trabajo .....	66
7.3.	Tipo de investigación .....	67
7.4.	Técnicas e instrumentos .....	68
7.4.1.	Instrumentos.....	68
8.	RESULTADOS Y DISCUSION .....	69
8.1.	Identificación de información.....	71
8.2.	Análisis de Datos.....	79
8.2.1.	Adecuación morfológica y estabilización geotécnica .....	82
8.2.2.	Descripción desarrollo de las etapas: .....	83
8.2.3.	Obras Complementarias .....	84

8.2.4.	Manejo de aguas de escorrentía y de control de erosión.....	86
8.2.5.	Movimiento de tierras y materiales.....	92
8.2.6.	Revegetalización .....	93
8.2.7.	Ventajas de la bioingeniería comparadas con las estructuras de ingeniería civil.	98
8.2.8.	¿Y cuáles son sus desventajas? .....	99
8.2.9.	Resultados de la bioingeniería. ....	99
8.2.10.	Problemas ante la falta de implementación de obras de bioingeniería. ....	101
8.2.11.	Limitaciones en las obras de bioingeniería. ....	102
9.	CONCLUSIONES .....	105
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	107

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Problemas de erosión bioingeniería aplicados en vías.....	48
Tabla 2	Condiciones y características de algunas Canteras ubicadas en la localidad de Usaquéen.....	71
Tabla 3	Condiciones de canteras ante la secretaria Distrital de Planeación .....	74
Tabla 4	Diseño de las zanjas de coronación perimetrales a proponer.....	87
Tabla 5	Obras Hidráulicas Cunetas en berma a proponer.....	89
Tabla 6	Manejo de obras de Drenaje escorrentía elaboradas hasta el 2018.....	90
Tabla 7	Cantidad de obras de escorrentía elaboradas al 2018 .....	91
Tabla 8	Movimiento de tierras Volumen Total de Material promedio .....	92
Tabla 9	Estado general actividades de recuperación en la Cantera al 2018.....	97
Tabla 10	Ventajas y Desventajas .....	99



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Zonificación de la degradación de los suelos área continental de Colombia .....	8
Figura 2 Zonificación Geotécnica De Bogotá D.C. ....	9
Figura 3 Ubicación de los cerros Orientales Localidad de Usaquén .....	66
Figura 4 Ubicación Cantera El Cedro San Carlos en la localidad de Usaquén en Bogotá D.C .....	67
Figura 5 Diseño Metodológico.....	70
Figura 6 Situación de las canteras en los Cerros orientales de Bogotá D.C ante la Secretaria de distrital de ambiente .....	75
Figura 7 Número de Hectáreas de suelo degradado o contaminado intervenido .....	77
Figura 8 Diagrama de impactos ambientales .....	81
Figura 9 Esquema aplicación de Bioingeniería como medio de mitigación de impactos ambientales.....	104

## LISTA DE IMAGENES

Imagen 1 Cantera El Cedro de San Carlos.....	80
Imagen 2 Adecuación morfológica estabilización de taludes y bermas .....	82
Imagen 3 Afectación terrazas por recuperar .....	84
Imagen 4 Presencia de Socavación por inestabilidad en los taludes de corte .....	86
Imagen 5 Cunetas de coronación en concreto.....	92
Imagen 6 Disipadores de energía .....	92
Imagen 7 Revegetalización actual de la cantera .....	94
Imagen 8 Conformación de bermas de los taludes.....	94
Imagen 9 Trituradora de material.....	96
Imagen 10 Explotación de material.....	96

**LISTA DE GRAFICOS**

Grafico 1 Avance en las obras de escorrentía .....	91
Grafico 2 Distribución de material calculado en la cantera .....	93
Grafico 3 Nivel de avance de las actividades hasta la recuperación total.....	97

## RESUMEN

La explotación de la minería urbana contribuye al desarrollo económico de un país, generando grandes expectativas entre los diferentes actores involucrados en el medio como son constructores, comunidades, entes de planeación y autoridades ambientales, cada uno cumpliendo un papel fundamental para el logro de la meta enunciada, pero la falta de seguimiento y control frente al uso del suelo y sus medidas ambientales permitió la explotación irracional, poniendo en riesgo a los habitantes del área indirecta de la extracción, ocasionado así un deterioro ambiental en la ciudad. Una de estas zonas de mayor extracción de materiales es en Usaqué, localidad al norte de la ciudad de Bogotá D.C que ha presentado en los últimos 40 años una configuración como zona de avance y expansión urbanística expuesta a la construcción de inmuebles para uso residencial y comercial ocasionando factores de deterioro frente al uso del suelo contribuyendo así a la generación de procesos erosivos e impactos ambientales en los ecosistemas sobre los Cerros Orientales de la capital, la necesidad de este el alto desarrollo produjo la generación de canteras a cielo abierto de donde son extraídos los materiales para la construcción. Esta actividad es tan intensa, que hoy en día es considerada la intervención con mayor impacto social y físico marcando todo el sistema montañoso de la capital.

La importancia de esta investigación radica en que se permita establecer lineamientos para la caracterización de posibles impactos ambientales en el uso de suelos por procesos erosivos en cuanto a la explotación se refiere y qué medidas se puedan establecer una vez se identifiquen las causas mediante el uso de bioingeniería para enfrentar dicho problema.

Palabras clave: Procesos erosivos, impactos ambientales, Bioingeniería, minería urbana, canteras, suelos

## ABSTRACT

The exploitation of urban mining contributes to the economic development of a country, generating great expectations among the different actors involved in the environment such as builders, communities, planning entities and environmental authorities, each fulfilling a fundamental role for the achievement of the goal enunciated, but the lack of monitoring and control against land use and its environmental measures allowed irrational exploitation, putting at risk the inhabitants of the indirect area of extraction, thus causing an environmental deterioration in the city. One of these areas of greater extraction of materials is in Usaquén, a town north of the city of Bogotá DC that has presented in the last 40 years a configuration as an area of urban development and expansion exposed to the construction of buildings for residential and commercial use causing deterioration factors in front of the use of the soil contributing to the generation of erosive processes and environmental impacts in the ecosystems on the Eastern Hills of the capital, the need for this high development produced the generation of open pit quarries from where they are extracted the materials for construction. This activity is so intense that today it is considered the intervention with the greatest social and physical impact, marking the entire mountainous system of the capital.

The importance of this research is that it allows establishing guidelines for the characterization of possible environmental impacts in the use of soils by erosion processes in terms of exploitation and what measures can be established once the causes are identified through the use of bioengineering to face this problem.

Key words: Erosive processes, environmental impacts, Bioengineering, urban mining, quarries, soils

## INTRODUCCION

En la ciudad de Bogotá se ha venido evidenciado cómo el recurso del suelo ha sufrido un deterioro gradual, generado principalmente por la intervención antrópica el cual ha contribuido al desarrollo de diferentes fenómenos de erosión, sumado a eventos negativos como el cambio climático, contaminación y sobrepoblación supone un impacto negativo en el ambiente.

Una de las problemáticas que ha sufrido la ciudad de Bogotá fue la minería urbana, la extracción de material de canteras el cambio en el uso del suelo que durante años sirvió para el crecimiento y desarrollo de infraestructura en la ciudad, hoy en día ha dejado sus cicatrices caso en especial es el que se encuentra ubicado al costado oriental del sector de Usaqué en la carrera séptima (entre las calles 127 y 180). La explotación de canteras, la deforestación creciente, los procesos de urbanización formal e informal, la falta de control y seguimiento ha ocasionado un gran impacto y deterioro en los ecosistemas ubicados en esta zona principalmente la generación de procesos de erosión. Ante esta situación ya no sólo se deben considerar aspectos físicos naturales, sino que el concepto de desarrollo sustentable debe trasladarse con un equilibrio entre los factores económicos, sociales, ambientales, físicos y naturales. En vista de esta problemática ambiental fenómenos, que avanzan en forma acelerada a nivel local, debido al mal uso del suelo la ausencia de prácticas preventivas de conservación de estos recursos, y el poco conocimiento de la comunidad a medidas sencillas para su protección se deben buscar soluciones de recuperación de cobertura vegetal del suelo con el fin de implementar medidas de control y mitigación a impactos negativos que a futuro conllevan al desarrollo de procesos de erosión, mecanismos que sean en lo posible lo más natural posible y que no induzcan a nuevos impactos ambientales.

Son muchas las prácticas para mitigar los efectos erosivos, cabe destacar: las siembras en curvas de nivel, terrazas individuales, cobertura vegetación, barreras muertas y barreras vivas. Todas ellas, conducen a contrarrestar la escorrentía del agua en los terrenos

desnudos, promover la infiltración de la misma, almacenarla y permitir que los excesos recarguen los acuíferos del suelo (Mendoza, 2001).

Es así que se debe pensar en programas de bioingeniería los cuales deben ser considerados para la recuperación de ambientes naturales mediante la utilización de técnicas de restauración del paisaje, principalmente con especies vegetales que se adapten a las condiciones agroecológicas de la zona, que aceleren la recuperación del ecosistema original, con el firme propósito de disminuir los impactos al espacio circundante, de ahí es que surge parte del objetivo general de la investigación la determinación y uso de la bioingeniería como agente de mitigación en el impacto ambiental de la minería urbana en los cerros orientales de Bogotá.

Lamentablemente el manejo y conservación de suelos orientados al desarrollo de proyectos de infraestructura civil con llevan a enfrentar graves y acelerados procesos actuales en la degradación de suelos en los Cerros Orientales, y este se ha visto limitado por la falta de conocimiento de la normatividad vigente frente al uso y manejo de los suelos explotados, la falta de políticas, tecnologías y estrategias adecuadas para un desarrollo rural y agrícola sostenible a largo plazo en la ciudad y en todo el país.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El crecimiento y desarrollo de la infraestructura civil en Colombia ha generado cambios y transformaciones del paisaje ocasionado efectos negativos sobre los elementos naturales y ambientales. A pesar del diverso conjunto de condiciones ambientales derivadas del desarrollo de un proyecto, se identifican diferentes impactos ambientales, una de estos es la erosión problema que se ha entendido no como un proceso de formación del paisaje, sino mejor como el resultado de la intervención antrópica de un territorio específico, con diferentes finalidades y con el paso del tiempo ha adquirido una magnitud tal, que hoy día se le considera como uno de los principales problemas ambientales a nivel global.

Lamentablemente el manejo y conservación de suelos orientados al desarrollo de proyectos de infraestructura civil enfrentan graves y acelerados procesos actuales de degradación de suelos en Colombia, y este se ha visto limitado por la falta de conocimiento de la normatividad vigente frente al uso y manejo de los suelos explotados, la falta de políticas, tecnologías y estrategias adecuadas para un desarrollo sostenible a largo plazo en el país (Figura 1).

De acuerdo a un estudio realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para analizar el estado actual de los suelos del país. El documento “*Suelos y tierras de Colombia*” no solo hace un diagnóstico de cómo se encuentra este importante componente de la geografía, sino que compila valiosa información recabada durante más de 75 años por el Instituto. Durante este estudio se identificó que la situación de los suelos es dramática y catastrófica. Actualmente, el 40% del suelo del país ya tiene algún grado de erosión, mientras que un 15% está afectado por la sobrecarga de ganado. Otro de los hallazgos es que en el 2014, la tasa de deforestación alcanzó el 16%, una cifra histórica. Por su parte, la Procuraduría General de la Nación señaló, en el 2015, que el 61% de los municipios de

Colombia tiene alguna actividad minera y, de ese porcentaje, el 25% corresponde a minería ilegal. El IGAC toma el año 1967 como referencia y compara el mapa de bosques de esa época con el mapa de cobertura del 2012 y establece que el país, en 45 años, ha perdido casi 2,5 millones de hectáreas de bosque. (Bustamante, 2016)

Los principales factores, en su orden, han favorecido la deforestación durante las últimas décadas es la ausencia de autoridades ambientales, de corporaciones autónomas regionales y la manera como, por ejemplo, los alcaldes y directores de planeación territorial no protegen la concentración de bosques, permitiendo que se construyan obras de infraestructura allí. Incluso, factores como la minería ilegal y los cultivos ilícitos están siendo elementos perjudiciales para que la cobertura boscosa empiece a perderse en el país. Quizá la guerra en los últimos 50 años ha impedido también que el Estado pueda intervenir en esas áreas con mayor rigor.

Como consecuencia a lo anterior específicamente en Bogotá uno de los factores que ha presentado una problemática ha sido el deterioro ambiental sufrido en los cerros orientales ya que estos han sido los partícipes para el desarrollo y evolución de la ciudad debido a la alta construcción de inmuebles de uso residencial e institucional y de la explotación de canteras actividad con mayor impacto social y físico sobre el sistema montañoso de los cerros orientales el cual puede estar ocasionando el desarrollo de zonas de alto riesgo, debido a la forma inadecuada y poco técnica de su explotación, es ahí la importancia de considerar las zonas de estabilidad geotécnicas establecidas en la Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones (figura 2) el cual está establecido en el Decreto 523 de 2010. (Alcaldía de Bogota D.C, 2010)

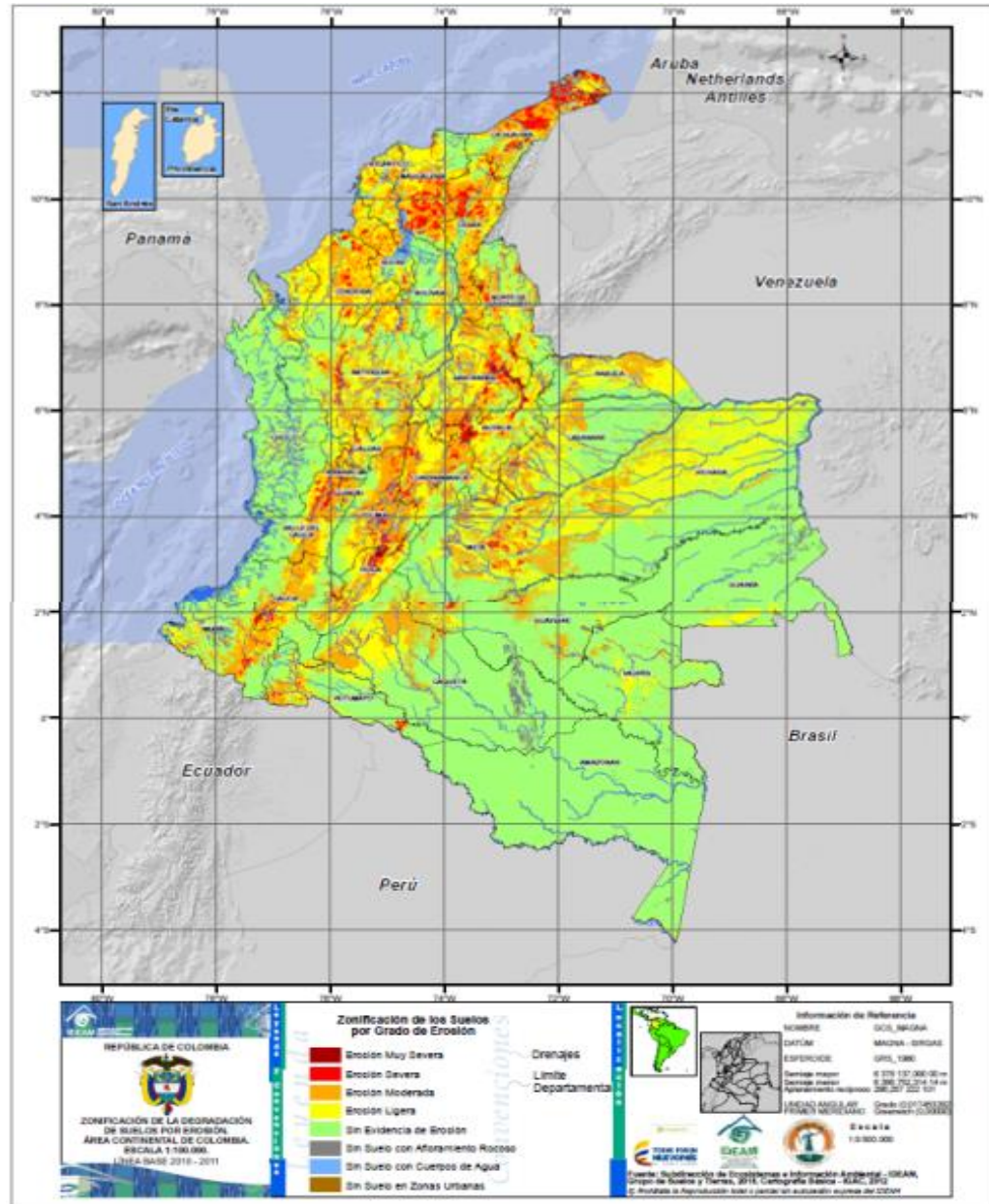
Los materiales de construcción como, arenas, arcillas, recebo y piedras han sido utilizados desde la fundación de la ciudad, lo que ha llevado a que grandes zonas hayan sido explotadas, transformando su topografía y vegetación. Estas actividades causan gran daño paisajístico y ambiental en los cerros y afectan las fuentes de agua, desestabilizan el



terreno, deterioran la cobertura vegetal y contaminan el aire. Así mismo, estos lugares se han constituido en polos de desarrollo de vivienda de estratos bajos, por lo general habitados por personas vinculadas a esta industria, que crecen sin controles algunos sobre áreas consideradas de protección ambiental (ya que se ubican por encima del perímetro urbano y por lo general están cubiertas por bosques nativos). El impacto de estas actividades aumenta debido a la falta de tecnificación de los procesos extractivos y al abandono a que estas zonas se ven sometidas, una vez se suspende esta actividad, se puede convertir en zonas de riesgo por deslizamiento y alto grado de erosión.

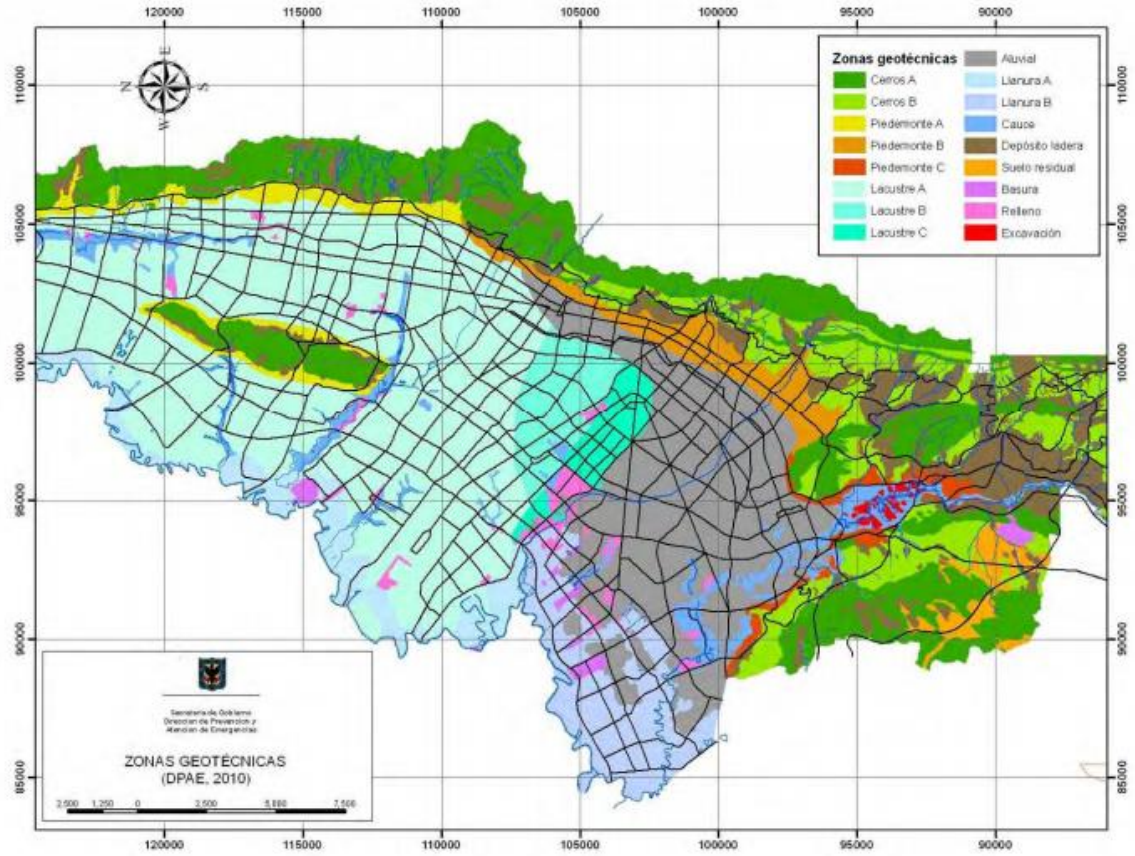
A pesar de la existencia de una normativa para el control y manejo de la industria extractiva, es necesaria su aplicación drástica y revisión de acuerdo a las condiciones actuales. También es necesaria la modernización de esta industria y el control a los desarrollos urbanos que la extracción atrae a estos sectores. Considerando que la extracción de materiales es una necesidad de la ciudad que no se puede simplemente prohibir, es necesario el desarrollo de un plan estratégico para la minería y plan de mitigación para evitar impactos ambientales a futuro.

**Figura 1 Zonificación de la degradación de los suelos área continental de Colombia**



**Fuente:** Zonificación de la degradación de los suelos área continental de Colombia (IDEAM, 2010)

**Figura 2 Zonificación Geotécnica De Bogotá D.C.**



**Fuente:** Zonificación Geotécnica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones (Alcaldía de Bogota D.C, 2010)

## **2. JUSTIFICACION**

La importancia de esta investigación radica en que se permita establecer lineamientos para la caracterización de posibles impactos ambientales en el uso de suelos por procesos erosivos en cuanto a la explotación se refiere y qué medidas se establecen una vez se identifican las causas mediante el uso de bioingeniería para enfrentar este problema.

Además permite la caracterización de los aspectos ambientales impactados por el proyecto y el planteamiento de alternativas efectivas.

La explotación de minería urbana contribuye al desarrollo económico, el cual genera grandes expectativas entre los diferentes representantes involucrados: constructores, comunidades, entes de planeación y autoridades ambientales, cada uno cumple un papel fundamental en el logro de la meta enunciada pero la falta de seguimiento y control permite la explotación irracional por lo cual ponen en riesgo a miles de habitantes de la ciudad ocasionado deterioro ambiental.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1.OBJETIVO GENERAL**

Determinar el uso de la bioingeniería como agente de mitigación en el impacto ambiental de la minería urbana en los cerros orientales de Bogotá.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Definir y caracterizar los problemas causados por la degradación del suelo debido a la minería urbana.
- Evaluar la efectividad de la reglamentación desde la bioingeniería para mitigar el impacto ambiental de la minería urbana en los cerros orientales de Bogotá
- Formular alternativas mediante el uso de la bioingeniería para mitigar el impacto ambiental de la minería urbana en los cerros orientales de Bogotá.

#### **4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:**

¿Cómo sería la aplicación de la bioingeniería como agente de mitigación en el impacto ambiental de la minería urbana en los cerros orientales de Bogotá?

##### **4.1. Hipótesis o Supuestos**

Bogotá cuenta, en su área urbana, con actividades de extracción de material para la construcción localizadas en los Cerros Orientales. Esto se debe a las características geológicas de esta zona, compuesta por rocas sedimentarias como parte de las formaciones Guadalupe y Guaduas. Estas rocas son utilizadas como material de extracción para recebo, arena de peña, arcilla, piedras ornamentales y conglomerados. Es por esta razón, que Bogotá dispone de diversas canteras localizadas tanto al norte como al sur de la ciudad

(minería urbana), lo que ha generado no solo consecuencias sobre el entorno, sino también ha desencadenado escenarios de conflictos ambientales de diferente naturaleza. Esto llama la atención, ya que permite reflexionar sobre la forma como se está llevando a cabo la zonificación de los lugares de extracción de materiales en la ciudad a través de los planes de ordenamiento nacional y local. Lo anterior lleva a analizar la manera como se evalúa la oferta ambiental, la productividad, las amenazas y los conflictos presentes en los territorios por el uso permanente de los recursos, y su relación con la formulación de políticas de conservación y de buen uso del territorio.

Una de estas zonas de extracción de materiales es Usaquén. Esta localidad se ha venido configurando como una zona de avance urbanístico y ha estado expuesta a la construcción ocasionando factores del deterioro ambiental de la zona de esta localidad ubicada sobre los Cerros Orientales de la capital, derivando así la alta construcción de inmuebles para uso residencial y comercial, así como de la generación de canteras de donde son extraídos los materiales para la construcción. Esta última actividad es tan intensa, que hoy en día es considerada la intervención que mayor impacto social y físico generado en el sistema montañoso de la ciudad.

La bioingeniería ha demostrado ser eficaz para controlar la erosión del suelo y los movimientos superficiales del subsuelo. Una estructura de bioingeniería es a menudo más eficaz con relación al costo que una estructura inerte por sí sola, debido a que:

- Si se establece y maneja bien, la vegetación tiende a fortalecerse con el tiempo, mientras que una estructura inerte se va debilitando con el tiempo, lo que hace que la bioingeniería tenga una mayor atracción.
- La bioingeniería utiliza materiales locales como vegetación y rocas; no depende de insumos importados ni de gastos en divisas.
- La bioingeniería es compatible con el medio ambiente.

- En áreas donde el paisaje tiene un alto valor escénico, visualmente es más aceptable que las estructuras de concreto.
- La bioingeniería requiere el uso de mano de obra intensiva por consiguiente, ofrece oportunidades de empleo estacional a las comunidades locales y a los pequeños contratistas con conocimientos de agricultura y construcción rural.

Muchas de las especies que se utilizan en la bioingeniería pueden beneficiar a las comunidades locales al proveerlas de leña, forraje, fruta y materiales para fabricar artesanías.

## 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento urbano, la sobrepoblación y la explotación de recursos naturales como son los materiales de construcción juegan un papel muy importante en la industria de la construcción en Colombia pues son materia prima en la producción de mortero y concretos, bases y sub bases, rellenos en vías de todos los niveles de tráfico, así como agregados para asfalto y en general en todo tipo de obra civil contribuye al desarrollo de las grandes ciudades por ello la minería urbana es uno de los sectores económicos más contaminantes e impactantes en el mundo, no sólo por sus métodos de extracción que cada vez son más agresivos por conseguir mayores ganancias en menor tiempo, sino también por las consecuencias de corto, mediano y largo plazo que afectan los recursos como son el agua, suelo y aire, condenando la vida de las especies naturales y las comunidades en las que se presentan este tipo de intervenciones, a continuación se presentan los siguientes problemas:

- La falta de medidas para establecer un diagnóstico de control y mitigación no es suficiente la presentación que se hace es mediante estudios de evaluación de impacto ambiental (EIA) el cual representa la problemática del caso en cuestión decisiones que se hacen sobre proyectos, obras o actividades que requieren licencia ambiental en específico.
- El desarrollo tecnológico transforma cada vez más los ecosistemas naturales en sistemas artificiales y amenaza con romper la biodiversidad. Se deben prever los futuros impactos ambientales negativos y positivos de acciones antrópicas permitiendo seleccionar alternativas con los objetivos propuestos. La aplicación no es tan solo para grandes proyectos de alta inversión, sino también para actividades de desarrollo los cuales involucren planes y programas de ordenamiento territorial.



- Mala planificación, uso y manejo de los suelos y aguas superficiales sub superficiales, obras de infraestructura mal localizadas y a la deforestación indiscriminada, principalmente. Los procesos de erosión avanzan cada año debido a que han sido confrontados de forma tradicional y no integra.
- El impacto de un proyecto depende de sus características propias, del entorno donde se desarrolla, de las condiciones climáticas durante la obra, del tipo de tecnología empleada para la construcción, etc.
- Sobrecostos en épocas de invierno cuando se declaran urgencias y se ejecutan las obras de mitigación o de reparación y control, generalmente sin los estudios previos correspondientes y en forma improvisada. Se generan así sobrecostos en soluciones parciales, en las limitaciones por las precipitaciones pluviales, por los caudales, quebradas y ríos y por los bajos rendimientos al realizar las obras durante la temporada invernal.
- Falta de información, conocimiento e implementación de obras de bioingeniería es uno de los aspectos más negativos que se puede tener en el país el cual conlleva al aumento de erosión.

Es importante aclarar que el tema del medio ambiente en Colombia se encuentra en desarrollo por esto es importante enfocarnos más en el estudio del impacto ocasionado por la minería urbana para poder darnos cuenta de las dimensiones del problema para hacer posible la interrelación de las sociedades con el medio ambiente, tratando de formular respuestas para el manejo de este tema. También se presentan diversas variables que son necesarias para el entendimiento que debe tener el estudio del impacto ambiental, diagnóstico ambiental de alternativas, licencias ambientales entre otros.

**Pregunta:** *¿Cómo sería la aplicación de la bioingeniería como agente de mitigación en el impacto ambiental de la minería urbana en los cerros orientales de Bogotá?*

La bioingeniería proporciona soluciones eficaces en términos de costo a muchas de las preocupaciones medioambientales conexas al desarrollo de la infraestructura y a la creciente erosión del suelo. Debe pensarse como una habilidad que los ingenieros pueden emplear para aumentar la efectividad de su trabajo.

Durante siglos se han practicado y registrado prácticas en las que se usa la vegetación como un medio para mejorar y proteger la tierra. Sin embargo, este nunca ha sido un uso sostenido, y con la explotación de los recursos, la llegada del concreto y los siempre ambiciosos proyectos de ingeniería, las prácticas se han perdido o se pasan por alto. En los últimos años, la exigencia de una ingeniería ambientalmente sólida y eficaz en términos de costo, ha dado un nuevo impulso a la bioingeniería.

La aplicación de la Bioingeniería ha contribuido a desarrollar nuevas técnicas, usando normalmente como base material vegetal, que permitan acelerar la restauración ecológica y paisajística de áreas gravemente degradadas. Aunque es un concepto nuevo, el uso de materiales vegetales para reducir la erosión en ingeniería civil viene practicándose desde la antigüedad, el uso de estas técnicas se recomienda cuando los procesos naturales, o el manejo de estos, no son suficientes para asegurar la estabilización, y posterior restauración de las obras.

Las medidas o técnicas son numerosas y variadas, pero las empleadas en zonas degradadas de obras de infraestructuras lineales presentan cinco objetivos fundamentales los cuales son: a) restituir la capacidad de la zona alterada para retener el agua y el suelo; b) integrarlas visualmente; c) facilitar la colonización y establecimiento de la vegetación, d) reducir los costes de mantenimiento; y e) aumentar la seguridad vial.

Por tanto, a través de la bioingeniería se consigue lo siguiente: a) evitar la erosión donde es imposible establecer una cubierta vegetal suficiente, b) incrementar la fertilidad del suelo para fomentar una mayor cobertura y producción vegetal, c) facilitar la llegada y establecimiento de nuevas especies, normalmente herbáceas en donde la colonización natural se ve dificultada y d) introducir y establecer especies de árboles y arbustos para acelerar la sucesión secundaria, reduciendo así los costes de mantenimiento. (Muñoz, 2016)

## **6. MARCO TEORICO.**

### **6.1. Antecedentes de la Bioingeniería.**

La bioingeniería es utilizada en el campo de obras civiles, especialmente en la consolidación de taludes, riberas y para el control de la erosión. Principalmente se emplea con la utilización de plantas superiores como material de construcción y reconstrucción, ya sean aplicados solos o combinados con otros materiales.

Las técnicas de Ingeniería Biológica para estabilización de suelos se remontan desde la época medieval, en la que los únicos elementos constructivos que existían eran las piedras y la madera. La contención de deslizamientos, caminos y terrenos erosionados por arroyos, aludes y cárcavas se efectuaba con estos materiales y su combinación con plantas vivas. A finales del siglo XVIII, se tiene constancia de las primeras obras publicadas en relación a estas técnicas por lo cual se permitió establecer el origen en la Europa Alpina, particularmente en Austria y Suiza. La aparición de nuevas técnicas y materiales, sobre todo el hormigón, hizo que las técnicas de Ingeniería Biológica quedaran relegadas al ámbito rural y forestal de la zona centroeuropea perdiendo relevancia a favor de estas últimas. En la década de los años 30 del siglo XX, Europa Occidental sufrió una de sus crisis económicas más graves. Esto permitió que muchas de las técnicas de bioingeniería se rescataran debido a su bajo coste. En 1936, se creó en Alemania un centro oficial para investigación en Ingeniería Biológica. En una época de fuerte recesión, los deslizamientos, la erosión de los torrentes, las avalanchas y los aludes necesitaban técnicas artesanales baratas, con materiales disponibles in situ, de manera inmediata y a un coste mínimo. A partir de 1980 en los países centroeuropeos, gracias a los progresos de las ciencias naturales y al conocimiento de las bases biotécnicas, se realizaron unas sustanciales mejoras en los métodos, con elección de materiales vivos más adecuados. Con ello, estas

técnicas se volvieron más eficientes y se han desarrollado nuevos métodos de mayor eficacia. Hoy en día existe una variedad de métodos que pueden solucionar la mayoría de los problemas de afianzamiento de taludes y riberas que puedan presentarse (Sangalli y Valenzuela, 2016).

Sangalli y Valenzuela (2016) manifiestan que la ingeniería biológica es una rama de la ingeniería en la que las plantas vivas se utilizan como elemento constructivo, conjuntamente o no con material inerte (material leñoso, piedras, hormigón, mallas metálicas, geotextiles o productos sintéticos). Proviene del término alemán ‘Ingenieurbiologie’ y en castellano se traduce como Ingeniería Biológicas Bioingeniería La definición dada por Hugo Schiechl (1992), principal experto en la materia el cual es la siguiente: “La bioingeniería es una disciplina constructiva que persigue objetivos técnicos, ecológicos, estéticos y económicos, utilizando sobre todo materiales vivos como semillas, plantas, partes de plantas y comunidades vegetales. Estos objetivos se consiguen aprovechando los múltiples rendimientos de las plantas y utilizando técnicas constructivas de bajo impacto ambiental”.

#### **6.1.1. La construcción sostenible**

En la década de 1980, surgió un nuevo concepto llamado el “Desarrollo Sostenible”, que hoy en día es una de las bases de la política socioeconómica. Nace con la finalidad de garantizar la continuidad del desarrollo económico y social, pero sin agotar los recursos naturales y proteger el medio ambiente. (De Vincentiis G. 2012)

(Ramirez A. , 2009) Manifiesta que las nuevas prácticas de construcción sostenibles deberán reducir al mínimo el impacto ambiental, controlar los residuos generados, prevenir la contaminación y utilizar los recursos naturales de forma eficiente, sin olvidar los aspectos socioeconómicos y culturales. Es la manera en que la industria de la construcción debe actuar para conseguir los logros del desarrollo sostenible.

Los proyectos sostenibles deben combinar la experiencia de la arquitectura, la ingeniería y la construcción, adquirida a lo largo de los siglos, junto con los nuevos enfoques, con el fin de que generaciones futuras puedan satisfacer sus necesidades.

Con el fin de satisfacer las necesidades y el desarrollo de un proyecto es de gran importancia la conformación de un grupo interdisciplinario formado por un equipo de expertos como son diseñadores, ingenieros, científicos y analistas de costes los cuales crearán diseños de calidad comprometidos con la reducción del impacto ambiental y con las políticas de conservación de los recursos naturales (Rodríguez, Fernández, 2010).

Este equipo de profesionales deberá hacer un estudio completo sobre los siguientes aspectos que afectarán al diseño de un proyecto:

- ✓ Los efectos sobre el medioambiente.
- ✓ Los efectos sobre la calidad del aire.
- ✓ La contaminación del suelo y su subsanación.
- ✓ La conservación de los recursos hídricos y su reciclado.
- ✓ La gestión y la prevención de emisión de residuos.
- ✓ La selección de productos y materiales para la construcción, según los requerimientos medioambientales
- ✓ La atenuación de los niveles de ruidos.

La construcción sostenible constituye una manera de satisfacer las necesidades de vivienda e infraestructura de la sociedad actual sin comprometer el futuro de próximas generaciones.

## **6.2. Definiciones y conceptos generales**

### **6.2.1. Definición de Bioingeniería de suelos:**

(Salazar U, 2018) lo define como la inclusión de pastos, arbustos, árboles y otros tipos de vegetación en el diseño de ingeniería para mejorar y proteger laderas, terraplenes y estructuras de los problemas relacionados con la erosión y otros tipos de derrumbes superficiales en laderas. Las obras de bioingeniería se basan en la combinación de

materiales inertes y elementos vegetales vivos propios de cada región que favorecen la recuperación de los suelos, propician el anclaje del terreno y finalmente contribuyen con el embellecimiento del paisaje.

La bioingeniería de suelos persigue los objetivos tecnológicos y los diseños ecológicos económicos, los cuales pretende alcanzar, mediante el uso de materiales vivos, como son:

- ✓ Semillas.
- ✓ Plantas.
- ✓ Parte de las legumbres.
- ✓ Comunidades vegetales.

Los mismos son empleados en construcciones casi naturales. La Bioingeniería de suelos puede ser un sustituto para la ingeniería de obras clásicas, aunque el último, en la mayoría de los casos se trata de un método significativo y necesario de completar. Su aplicación se indica en todos los ámbitos de suelo y de la ingeniería hidráulica, especialmente para la pendiente y la estabilización de taludes y control de la erosión.

De acuerdo a (Rivera H. 2016,) el principal problema en la degradación de los suelos es la erosión a continuación se presentan los principales conceptos del por qué se debe aplicar bioingeniería.

### **6.2.2. Impacto Ambiental**

El impacto ambiental lo podemos clasificar según su naturaleza, positivos o negativos, totales o parciales y temporales o permanentes. En la actualidad nos enfrentamos a un verdadero impacto ambiental clasificándose en Directo o Indirecto, muchas de las acciones que realizamos provocan problemas ambientales en la construcción de las distintas etapas constructivas.

- Producción de construcciones.
- Concepción de la inversión y diseño

- Investigaciones de suelo.
- Ejecución de la obra o Abandono del sitio de la obra.
- Extracción de materia prima y producción de materiales de construcción.
- Servicio de abastecimiento y transporte.
- Etapa de operación y explotación.

### **6.2.3. Tipos de contaminación ambiental relacionados a la construcción civil.**

Según (Yauri Y, 2014) Los tipos de contaminación más importantes son los que afectan a los recursos naturales básicos: el aire, los suelos y el agua. Algunas de las alteraciones medioambientales más graves relacionadas con los fenómenos de contaminación son los escapes radiactivos, el smog, el efecto invernadero, la lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono, la eutrofización de las aguas o las mareas negras. Existen diferentes tipos de contaminación que dependen de determinados factores y que afectan distintamente a cada ambiente.

Los principales tipos de contaminación son:

- ✓ Contaminación del agua
- ✓ Contaminación del aire
- ✓ Contaminación del suelo

### **6.2.4. Contaminación del agua.**

El agua resultante de las obras de construcción tiene un alto contenido de partículas minerales suspendidas, y en ocasiones, puede estar mezclada con restos de cemento, concreto u otras sustancias, lo que aumenta de forma importante su alcalinidad. Estos materiales provocan taponamientos en los conductos en alcantarillados, generan contaminación en los cuerpos de agua que actúan como sus receptores o, en caso de llegar a las redes de aguas residuales, causan problemas en las plantas de tratamiento.



De acuerdo a (Yauri Y, 2014) manifiesta que en las obras de construcción el agua debe manejarse considerando los siguientes criterios de manejo:

- Reducir el consumo.
- Prevenir la contaminación.
- Recolectar separadamente aguas grises, aguas residuales, aguas de escorrentía.
- Reciclar aguas grises.
- Tratar las aguas grises antes de su descarga para retirar grasas y/o sedimentos.
- Verter las aguas residuales domésticas a las redes de alcantarillado o tratarlas en pozos sépticos.

#### **6.2.5. Contaminación del aire.**

La construcción con sus diversas etapas: Demoliciones, Excavaciones, Obra Gruesa, Terminaciones, Obras Exteriores, puede generar diferentes tipos de emisiones a la atmósfera, por lo tanto, debe sumarse a los esfuerzos para su control.

El aire que respiramos está compuesto por 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, 0.093% de argón y una porción de vapor de agua, cuando hablamos de contaminación del aire, nos referimos a la alteración de esta composición, producida por causas naturales o provocadas por el hombre, las primeras no se pueden evitar, pero las segundas, es nuestra obligación evitarlas (Yauri Y, 2014). Las fuentes que provocan la contaminación del aire se clasifican en fijas que son toda instalación establecida en un sólo lugar que tenga como finalidad desarrollar operaciones y procesos industriales, comerciales y fuentes móviles, que son todo equipo o maquinaria no fijos, con motores de combustión y similares que con motivo de su operación generan emisiones contaminantes a la atmósfera.

#### **6.2.6. Contaminación del suelo**

Los principales agentes potenciales de contaminación de suelos son los metales pesados (especialmente Pb) y los vertidos accidentales de aceites y combustibles. Es más grave, pero menos frecuente, la contaminación de los suelos por accidentes con cargas peligrosas.

El riesgo de derrames y contaminación de suelos debe ser prevenido por el Contratista adoptando una serie de cuidados y procedimientos en las operaciones con aceites, combustibles y materiales peligrosos, abarcando el almacenamiento, transporte, abastecimiento de maquinaria y vehículos, manejo de residuos, etc.

Este impacto es negativo, localizado si el terreno es impermeable, o muy extenso si el terreno es permeable y se alcanza la napa freática, de larga duración y reversible a largo plazo (Yauri Y, 2014).

### **6.3. El suelo**

De acuerdo a Millar (1982) define suelo como la parte superficial de la corteza terrestre, conformada por minerales y partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento el agua y procesos de desintegración orgánica. Este es un bien natural finito y componente fundamental del ambiente, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y micro-organismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones y prestando servicios ecosistémicos vitales para la sociedad y el planeta (ANLA. 2015).

### **6.4. La erosión**

De acuerdo a Suarez (1989) La erosión es el desgaste o denudación de suelos y rocas que producen distintos procesos en la superficie de la Tierra. También se describe como un fenómeno natural y forma parte de la dinámica de la superficie de la tierra; el ciclo erosivo es el principal agente del modelado y ejerce su acción de forma permanente en la práctica totalidad de la superficie de los continentes y a lo largo de todas las eras geológicas. Sin embargo, se convierte en un problema cuando aparece con intensidades inusuales, o afecta en áreas anormalmente amplias de terreno. En este sentido, es un efecto directo de determinadas acciones que implican la transformación de los componentes del paisaje pero a la vez es causa otras transformaciones negativas de la superficie terrestre. La primera y

más evidente es la pérdida del suelo, originada por arrastre de los componentes ello conlleva una gran dificultad o incluso una imposibilidad de la supervivencia de la vegetación en condiciones de aridez desapareciendo la protección de la superficie del suelo. Paralelamente, la modificación de la cobertura vegetal repercute en los procesos de edafogénesis, que quedan ralentizados. Con ello se cierra el círculo que conduce a la desertización (Suarez, 1989)

### **6.5. Erosión Superficial de los Suelos.**

Según Suarez 1980 “La erosión es el resultado de la acción de las fuerzas de fricción del agua o el viento, proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento (Lopez J. 2001). Esto implica la existencia de los elementos que participan el proceso en el cual el suelo sería el elemento pasivo y el agua y viento serían elementos activos en movimiento, por otra parte la vegetación actúa como un regulador de las relaciones entre ambos elementos.

### **6.6. Tipos de Erosión.**

**6.6.1. La erosión por el viento.** Ocurre cuando los suelos sin vegetación son expuestos a altas velocidades del viento. “Cuando la velocidad del viento genera una fuerza tractiva superior a las fuerzas gravitacionales y cohesivas de las partículas de suelo, el viento desprende las partículas y las transporta en suspensión. Las partículas de menor tamaño (0.1 a 0.5 mm) son movidas por el viento en una forma de saltos o brincos. Las partículas gruesas se mueven rodando y las finas son transportadas en suspensión” (Rivera H. 2016,)

**6.6.2. Erosión por Gotas de Lluvia.** La erosión por golpeo de la lluvia ocurre por el impacto de las gotas de agua sobre una superficie desprotegida, el cual produce el desprendimiento y remoción de capas delgadas de suelo. Este impacto rompe las estructuras del suelo y lo separan en partículas relativamente pequeñas. Estas partículas son

luego transportadas por la escorrentía. Al caer una gota de lluvia levanta partículas de suelo y las reparte en un área de aproximadamente un metro cuadrado. Parte de la lluvia se infiltra y parte fluye por la superficie. En un suelo sin protección vegetal se calculan hasta cincuenta metros cúbicos de suelos removidos por hectárea en una lluvia fuerte de una hora de duración. La Erosión es una función de poder erosiónate del agua y de la erosionabilidad del suelo. La erosión causada por la lluvia está determinada por la cantidad, intensidad y duración de la misma cuando la intensidad y cantidad de lluvias de alta erosión será más rápida. (Suarez, 1989, pág. 60)

**6.6.3. Erosión Laminar.** La erosión laminar consiste en el desprendimiento y transporte en capas bien definidas superficiales de suelo por acción de la escorrentía difusa (Suarez, 1989, pág. 60). El suelo va perdiendo casi en forma imperceptible. Este tipo de erosión es muy común en los suelos residuales y en las zonas recientemente deforestadas. La acción de las gotas de lluvia altera el suelo superficial. El agua parcialmente se infiltra y se acumula sobre la superficie del terreno formándose una capa delgada de agua con flujos de 2 a 3 milímetros de espesor. El flujo laminar tiene poco poder erosivo pero por partes se convierte en turbulento, aumentando en forma importante la capacidad de erosión. Las áreas de cultivos no permanentes son extraordinariamente susceptibles a la erosión laminar al igual que los suelos sin vegetación u los sujetos a sobre pastoreo de ganado. (Suarez, 1989, pág. 60)

**6.6.4. Erosión en Masas (Deslizamientos).** “Incluyen los fenómenos de desprendimiento transporte y deposición de grandes masas de suelo por acción de la fuerza del agua en movimiento. En el desprendimiento y transporte de las masas actúan las fuerzas de gravedad y la fuerza del agua. (Suarez, 1989, pág. 78)

## **6.7. Agentes que Intervienen en la Erosión.**

**6.7.1. Lluvia.** o precipitación se considera como la principal fuente de agua sobre el terreno; su intensidad y frecuencia depende del volumen de flujo que se desliza en capas uniformes.

**6.7.2. Intensidad de la Lluvia.** Es un factor primordial del fenómeno, ya que la velocidad de penetración del agua en el suelo es frecuentemente insuficiente cuando esta cae con gran intensidad llega al suelo en una elevada cantidad de agua en un periodo corto de tiempo, el cual produce rápidamente una escorrentía, a lo que se deduce la importancia de la intensidad de la lluvia que el total de la misma. La relación más importante entre las características de la precipitación y de los suelos que condicionan la aparición de escurrimiento, es aquella existente entre la necesidad de lluvia y la rapidez de infiltración del suelo, tal que: el escurrimiento es igual intensidad de lluvia menos la velocidad de infiltración.

Si la intensidad de la precipitación es inferior a la capacidad de infiltración, no tendrá lugar la escorrentía, y la tasa de infiltración será igual a la intensidad de la lluvia; por otra parte, si la intensidad de la precipitación excede la capacidad de infiltración, la tasa de infiltración igualara la capacidad de infiltración u el excedente de la precipitación formara escurrimiento superficial. En general puede afirmarse que mientras la Velocidad de infiltración es mayor a la intensidad lluvia no habrá escurrimiento que produzca erosión, observándose que las lluvias de intensidad moderada producen erosión cuando el suelo ya se encuentra saturado (Lopez, 2001, pág. 20)

**6.7.3. Frecuencia de Lluvia.** La erosión del suelo debido a la recepción de la lluvia podría estar determinada por las condiciones meteorológicas previas: de tal forma, dos eventos de lluvia que sucedan sin haberse secado el suelo puede llevar a que la segunda lluvia infiltre,

o lo haga mínimamente, y gran parte de la lluvia escurra. “La frecuencia de las lluvias es crítica de acuerdo a las condiciones de terrenos, así cuando los intervalos entre lluvias son cortos el contenido de humedad del suelo es alto al comenzar aquellas, y por lo tanto, aumenta la posibilidad de que se origine escorrentía aun con eventos de baja intensidad; lo contrario ocurriría en caso de tenerse periodos largos (Suarez, 1989, pág. 66)

**6.7.4. Grado de Pendiente.** “Regula la velocidad de circulación del agua sobre la superficie de forma casi exclusiva (Suarez, 1989, pág. 57)

#### **6.7.5. Escorrentía**

La escorrentía hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo. El agua lluvia se infiltra en el suelo hasta que alcanza la capacidad limite; en esta caso el agua queda depositada en la superficie si el terreno es llano, si existe pendiente, circula formando una lámina o regueros que se reúnen sucesivamente dando origen así a la escorrentía superficial.

La escorrentía superficial es una de las principales causas de erosión a nivel mundial. Suele ser particularmente dañina en suelos poco permeables, como los arcillosos, y en zonas con una cubierta vegetal escasa

La proporción de agua que sigue cada uno de estos caminos depende de factores como el clima, el tipo de roca o la pendiente del terreno. De modo similar, en lugares en los que hay abundantes materiales sueltos o muy porosos, es muy alto el porcentaje de agua que se infiltra. (Suarez, 1989, pág. 22)

## 6.8. Funciones de las técnicas de Bioingeniería.

La bioingeniería se clasifica en tres funciones las cuales son:

- a) **Funciones técnicas:** Se refieren a la protección y estabilización del suelo mediante el sistema radical, la importancia de esta función radica de las siguientes condiciones:
- ✓ Protección de la superficie del suelo contra la erosión debido al viento, las precipitaciones, el hielo y las corrientes de agua.
  - ✓ Protección contra la caída de piedras
  - ✓ Eliminación y absorción de fuerzas mecánicas nocivas - Disminución de la velocidad de la corriente en las riberas.
  - ✓ Agregación y estabilización superficial y/o profunda del suelo
  - ✓ Drenajes.
  - ✓ Protección contra el viento
  - ✓ Favorecer la acumulación de nieve, arenas y arrastres de material
  - ✓ Aumento de la rugosidad del terreno, creando así una defensa contra aludes (Ecured, 2015).
- b) **Funciones ecológicas** Las funciones ecológicas cada vez están ganando más importancia, teniendo en cuenta que estas escasamente se pueden alcanzar por parte de la ingeniería clásica y determinan lo siguiente:
- ✓ Mejora del balance hídrico por un aumento de la interceptación, mejora capacidad de retención de agua del suelo y mejora del consumo de agua por las plantas
  - ✓ El desarrollo de asociaciones vegetales más estables pertenecientes a las series de vegetación de la zona, en especial el empleo de especies autóctonas que contribuyen a acelerar la recuperación del ecosistema original.
  - ✓ Drenaje del suelo.
  - ✓ Protección contra el viento
  - ✓ Protección contra emisiones

- ✓ Disgregación mecánica del suelo por las raíces de las plantas
- ✓ Compensación de las condiciones de temperatura en la sub-aérea y en el suelo
- ✓ Sombreado y mejora de la cantidad de nutrientes en el suelo y así aumento de la fertilidad de suelos pobres.
- ✓ Protección contra el ruido.
- ✓ Aumento de la productividad en áreas agrarias.
- ✓ Restauración de cicatrices en el paisaje causadas por episodios catastróficos o por las actividades humanas (minería, obra pública, escombreras de inertes, escombreras mineras, vertederos de residuos industriales y urbanos.
- ✓ Integración de obras y construcciones en el paisaje.
- ✓ Pantalla visual para la ocultación de diferentes infraestructuras de fuerte impacto visual.
- ✓ Enriquecimiento de los paisajes mediante la creación de focos visuales y nuevas estructuras, formas y colores en la vegetación (Ecured, 2015).

c) **Funciones estéticas:** Son las encaminados a la mejora del paisaje, siendo algunos de estos objetivos los siguientes:

- ✓ Restauración de cicatrices en el paisaje causadas por episodios catastróficos o por las actividades humanas (minería, obra pública, escombreras de inertes, escombreras mineras, vertederos de residuos industriales y urbanos.
- ✓ Integración de obras y construcciones en el paisaje
- ✓ Pantalla visual para la ocultación de diferentes infraestructuras de fuerte impacto visual
- ✓ Enriquecimiento de los paisajes mediante la creación de focos visuales y nuevas estructuras, formas y colores en la vegetación (Ecured, 2015).

## 6.9. Técnicas de Bioingeniería

Son muchas las técnicas disponibles para el control de la erosión, pudiendo utilizarse por sí solas, o en combinación con la introducción de especies herbáceas y leñosas, o junto con otras técnicas de bioingeniería para incrementar el éxito de la restauración. Cabe destacar la



necesidad de diferenciar los conceptos de estabilización y protección de taludes frente a la erosión superficial. La mayoría de sistemas descritos en este trabajo persiguen mitigar procesos erosivos que pueden derivar en inestabilidad, pero deben ser utilizados en taludes estables (Muñoz.M, 2016). A continuación, se presentan las medidas más utilizadas, con recomendaciones específicas sobre su aplicación

### **6.9.1. Preparación del área trabajos iniciales.**

- **Diseño geométrico de los taludes:** Durante la ejecución de la obra deben tenerse en cuenta medidas para minimizar el impacto de la obra sobre la vegetación y la resistencia del talud a la erosión. Esto es, reducir al máximo las pendientes de los taludes y la destrucción de la vegetación circundante. Pero en muchas ocasiones, y a pesar de estos esfuerzos, las características de determinados taludes (pendientes muy pronunciadas, estructura rocosa, etc.) hacen necesario aplicar técnicas especiales para evitar procesos erosivos y problemas de estabilidad. (Muñoz.M, 2016)
- **Manejo de la tierra vegetal.** Las limitaciones abióticas pueden ser suplidas mediante la aplicación en los taludes, fertilizantes, enmiendas orgánicas o tierra vegetal. Entre las diferentes medidas existentes, la adición de tierra vegetal presenta la ventaja añadida de ser capaz de autoregenerar el espacio degradado. En efecto, la tierra vegetal cumple la doble función de mitigar las malas condiciones abióticas del suelo por su mayor contenido en materia orgánica y microorganismos y aportar semillas al talud mediante el banco natural de semillas contenido en el suelo. Muchas veces no es necesario aportar tierras nuevas, sino saber gestionar la tierra vegetal de la capa superficial extraída, almacenada y mantenida durante la fase un proyecto y posteriormente extendida. (Muñoz.M, 2016)
- **Preparación de suelo Saneo, roce, microterrazas o arado del terreno:** Antes de iniciar los trabajos de revegetación es necesario sanear y rozar las superficies para

facilita el trabajo y mejorar el éxito del mismo. Para taludes con fuertes pendientes y/o materiales compactos se aconseja la creación de pequeños surcos o microterrazas en curvas de nivel, la profundidad de los mismos puede ser de 5 a 10 cm y la separación horizontal de 30 a 50 cm. De esta forma, se consigue un doble propósito, por una parte se evita el arrastre de sedimentos finos al disminuir la velocidad de escurrimiento de agua, el material removido, al estar suelto sirve de base para la germinación de las semillas que se siembren o que de forma espontánea lleguen al lugar. Para el caso de terrenos sin pendientes, es conveniente realizar un arado superficial que permita el éxito de la siembra de semillas que se realice (Muñoz.M, 2016).

- **Mejora y fertilización del suelo.** Con frecuencia, las zonas degradadas son poco fértiles, debido a que a veces, se extrae la capa de tierra vegetal, hasta el punto de dificultar la colonización vegetal natural o promovida a través de hidrosiembras y plantaciones. Por ello, el incremento de la fertilidad del suelo mediante enmiendas orgánicas y fertilizantes inorgánicos es recomendable (Muñoz.M, 2016).
  
- **Los fertilizantes inorgánicos** utilizados más frecuentemente son de liberación lenta. Estos son sencillos de aplicar, aportan las dosis necesarias de nutrientes particularmente importantes para el desarrollo vegetal. Estos fertilizantes, sin embargo, son fácilmente lavables, por lo que deberían ser incorporados en el sustrato, para evitar la pérdida por escorrentía y viento (Muñoz.M, 2016).
  
- **Las enmiendas orgánicas** tienen la ventaja de que, además de aportar nutrientes básicos para las plantas, incrementan la cantidad de materia orgánica del suelo y, con ello, mejoran otras propiedades físico-químicas del sustrato; incrementan la capacidad de retención de agua del suelo, de particular importancia en medios mediterráneos, aunque esto dependerá del tipo de enmienda orgánica y el clima donde se aplica.

Otra ventaja del uso de estas enmiendas es que permite la reutilización de restos orgánicos (residuos urbanos, residuos de la agricultura y ganadería y lodos de depuradora). Las enmiendas orgánicas deben ser mezcladas con la capa superficial del sustrato original; de esta forma evitaremos problemas de erosión y de pérdida o lavado de la misma. En determinados casos, las enmiendas pueden variar las características químicas del suelo como acidez o alcalinidad, que son una barrera para el normal establecimiento y desarrollo de las plantas, las enmiendas actúan modificando el Ph del suelo (Muñoz.M, 2016).

## **6.9.2. Técnicas de Revegetalización.**

**6.9.2.1 Hidrosiembra:** La introducción de especies herbáceas es una de las técnicas más populares para la restauración de taludes de infraestructuras debido a su potencial capacidad para proteger el suelo a corto plazo. El objetivo principal de estas técnicas es aumentar rápidamente la cubierta vegetal a través de la siembra de especies vegetales de rápido crecimiento, que deben dar paso más adelante a especies perennes y leñosas, típicas de etapas sucesionales más avanzadas. En el caso de superficies sin pendiente, se puede aplicar la hidrosiembra o bien una siembra directa previo gradeo y posterior tapado de la semilla. Esta técnica consiste en la proyección sobre el terreno de una mezcla en agua de semillas, fertilizantes y sustancias adherentes o estabilizantes. Es una técnica que se realiza con medios mecánicos especializados, dotados de equipos de bombeo. Estos trabajos muestran las siguientes ventajas:

- ✓ La vegetación se establece un 20-25% más rápido que otras alternativas de siembra manual. Consigue fijar las semillas a taludes de pendientes moderadas gracias a los estabilizantes usados.
- ✓ Las fibras vegetales que acompaña la hidrosiembra genera condiciones favorables para una rápida germinación, debido a que es capaz de almacenar humedad y proteger a la semilla.

- ✓ Se pueden alcanzar taludes difícilmente accesibles para otras técnicas.
- ✓ Es una técnica que permite un gran rendimiento y que tiene costos bajos (Muñoz.M, 2016).

**6.9.2.2 Establecimiento de plantas:** La implantación de especies arbustivas y leñosas tiene gran interés en la restauración ecológica, ya que las mismas tienen la capacidad de acelerar la sucesión vegetal (iniciada por las especies herbáceas), suele necesitar poco mantenimiento, mejoran la integración al paisaje y garantizan algunas funciones asociadas a las plantas herbáceas. Los métodos de establecimiento de la vegetación son muy diferentes, dependiendo si requieren de apoyo de sistemas para establecerse. Es fundamental, para el éxito de la restauración ecológica el uso de especies que se adapten a las condiciones edafoclimáticas de la zona, de tal forma que se garantice la sustentabilidad de las plantas en el lugar, minimizando los costos de mantenimiento, cuyo mayor gasto suele recaer en el riego. En este sentido, es recomendable el uso de especies nativas de la zona, que tengan capacidad de enraizamiento para que cumplan con la función de estabilidad superficial de las zonas alteradas donde se implantan (Muñoz.M, 2016).

Las especies arbóreas y arbustivas permiten estabilizar el terreno hasta un máximo de 2 m de profundidad aproximadamente, para ello, las plantas deben ser capaces de emitir raíces adventicias, de modo que puedan originar un entramado que permita la fijación y estabilización del terreno. Estas técnicas son complejas de calcular en sus parámetros mecánicos, por lo que es recomendable cierta experiencia para que cumplan su objetivo de forma satisfactoria (Muñoz.M, 2016).

- ✓ **Plantación directa:** Consiste en la plantación de especies arbustivas y arbóreas cultivadas en vivero o bien trasplantadas, para el caso de especies de alto interés. El proyecto debe definir las especies, tamaño de las mismas, presentación de la raíz, densidad de plantación, distribución de las especies, etc. Los marcos de plantación en taludes usuales son al tresbolillo y se trata de realizar mezclas de especies que recreen

de la mejor forma posible los ecosistemas naturales. En cuanto al tamaño de planta, es importante saber que mientras más joven es una planta su capacidad de adaptación y tasa de supervivencia es más alta, ahora bien, es normal usar en aquellas zonas más urbanas especies arbóreas de mayor tamaño (Muñoz.M, 2016).

- ✓ **Estaquillados:** Se realiza mediante el uso de porciones de ramas verdes hincadas en el suelo. Las ramas, de varios años, deben tener una longitud media de 50-100 cm y un diámetro de 2-8 cm. Deben estar afiladas por un extremo y se deben insertar profundamente para dejarlas cerca de horizontes edáficos con suficiente humedad durante el verano, dejando solo 5-10 cm en la superficie. Esta técnica permite de forma rápida la implantación de un gran número de plantas y es muy usual en proyectos de infraestructuras que afectan a sistemas hídricos. Los estaquillados se adaptan muy bien a la instalación de vegetación en escolleras, por permitir una instalación posterior a la construcción de la escollera, asegurando, de este modo, su revegetación sin necesidad de intervenciones (Muñoz.M, 2016).
  
- ✓ **Sistemas mixtos:** Son aquellos sistemas que usan mezclas de especies vegetales vivas con material inerte y son especialmente utilizados en infraestructuras que afectan a sistemas hídricos. Existen varias técnicas, entre ellas, la empalizada trenzada viva, utilizada en la protección de orillas fluviales y en la estructuración y consolidación de taludes. Consiste en la realización de un trenzado de ramas vivas de sauce u otra especie con poder de enraizamiento, que se anclan al suelo mediante estacas y piquetas. En taludes hay diversos modos de instalación, siendo los principales, las empalizadas en diagonal y las empalizadas horizontales sencillas.  
Se puede usar la cobertura de ramaje, para aumentar la cubrición y favorecer la consolidación de orillas de ríos donde se registra torrencialidad y velocidades muy elevadas. Consiste en recubrir el talud con una capa de ramas de varios metros de longitud, disponiendo el extremo más grueso bajo el nivel del agua y la parte ramificada en la zona superior de los taludes (Muñoz.M, 2016).

Si se pretende estabilizar desde la base, se puede usar el *lecho de ramajes*, que es un sistema clásico y muy eficaz de consolidación de taludes y pendientes. Tiene la ventaja de asegurar inmediatamente una estructuración de la pendiente hasta una profundidad de 1,5 m aproximadamente. Puede ser realizado mediante ramas de plantas susceptibles de crecer o en combinación con plantas enraizadas criadas en vivero. Es apto para taludes de suelo desnudo y puede integrarse en muros armados de agromantos (Muñoz.M, 2016).

### **6.9.3. Sistemas de apoyo y soporte**

**6.9.3.1. Agromantos o Geomantos:** Son productos compuestos en su mayoría por mallas y fibras naturales (fibra de coco, yute, paja, esparto) o sintéticas (polipropileno). Se emplean para control de la erosión y mejora de suelo. Sirven para frenar la erosión laminar sobre taludes, rellenar regueros y como revestimiento de muros. Estas mantas favorecen la formación de suelo mediante la retención de finos en escorrentías y el aporte de materia orgánica al suelo tras su descomposición (Muñoz.M, 2016).

Controlan la evaporación, regulando la temperatura y aumentando la infiltración de agua de lluvia en el suelo. Se emplean para dar coherencia a las partículas de suelo, fijando, a su vez, la vegetación espontánea o hidrosemada sobre el mismo. Se usan para evitar la erosión laminar alta, y la formación de cunetas y cárcavas, restauración de márgenes de ríos o taludes con pendientes de entre 25-45°. Deben ser permeables a los elementos finos del suelo y a la recepción de semillas aportada o dispersada de manera natural.

Dada la adaptabilidad del agromanto a las irregularidades del terreno se puede forrar el contorno de las cárcavas y barranqueras, y con el apoyo de encadenados de piedra o fajinados vegetales o artificiales (biorrollos) para dar solución a restauraciones de cabeceras de cuenca y encauzamientos, de gran aplicación en el control de avenidas. Es fundamental

elegir el tipo de manta adecuado, pues a los limitantes comentados anteriormente, se debe añadir el riesgo de que se degrade con excesiva rapidez, arrastrando los sólidos acumulados y la vegetación existente. Si estas mantas se refuerzan con mallas sintéticas de gran duración, se pueden utilizar incluso sobre taludes muy verticales.

**6.9.3.2. Redes o mallas de fibra vegetal o sintética:** Al igual que los agromantos productos compuestos de fibras (coco, yute o polipropileno), pero que por definición sus elementos constitutivos (hilos) son porcentualmente menores que sus huecos, por lo que se emplean como elementos de refuerzo en aplicaciones geotécnicas y de restauración de la vegetación, ya que entre la luz de malla se originarán pequeños diques de contención de las microcárcavas del talud. Están indicadas para desmontes o terrenos de granulometría gruesa que quedan retenidos entre sus huecos, facilitando a la vez el paso de la vegetación nacida o sembrada sobre él. En particular, las redes orgánicas de coco tienen una gran adaptabilidad y flexibilidad, generando buenos resultados en desmontes de margas, arcillas, etc., poco pedregosos. Como todos los soportes, estas redes pueden ser instaladas fuera de épocas de siembra, de forma que se inicie la protección superficial de los taludes antes del establecimiento vegetal (Muñoz.M, 2016).

**6.9.3.3. Geomalla tridimensional:** La geomalla volumétrica es un sistema tridimensional formado por distintas mallas termosoldadas, con componentes tratados para resistir radiaciones ultravioleta, y que conserva sus características mecánicas durante al menos siete años. Permiten trabajar con pendientes de más de 40° y son muy eficaces en el control de erosión gracias a la retención de finos. Las mallas volumétricas se utilizan en taludes, sobre todo de desmonte, donde no se pueda realizar una aportación de tierra vegetal adecuada para crear suelo, en taludes con material pedregoso, terrenos arcillosos, etc.

También se usan en sistemas fluviales, encauzamiento de barrancos, protección de cauces con riesgo de avenidas, en combinación con otros tratamientos de bioingeniería, como los lechos de ramaje vivo, biorrollos, estaquillados, etc. El espesor mínimo que deben tener

estas mallas es de 20 mm, y la apertura de malla mínima debe ser  $\leq 10$  mm. Sobre estas mallas se realiza una proyección de sustrato posterior, compuesta habitualmente por turba, fibra de coco, fibra de madera, estabilizante, fertilizantes orgánicos y semillas de plantas adaptadas a las condiciones del sitio.

Esta proyección permite la germinación y desarrollo de las plantas en el periodo más crítico de establecimiento, favoreciendo el desarrollo del sistema radicular en el interior del talud y creando un entramado integral de raíces suelo-geomalla que muestra una elevada resistencia a la tracción. Son útiles en aquellas situaciones en las que otros tipos de sistemas orgánicos no funcionan debido a que se degradan y pierden sus propiedades. Además, se puede utilizar en sistemas combinados para la estabilización de taludes, conjuntamente con mallas de triple torsión, redes de cable, etc. (Muñoz.M, 2016).

**6.9.3.4. Sistemas de confinamiento celular:** Geoceldas, está estructurado por tiras de polietileno de alta densidad, texturizadas y perforadas para aumentar la rugosidad y facilitar el drenaje, termosoldadas a una distancia determinada para la formación de alvéolos que permite retener distintos tipos de materiales. Este sistema puede albergar espesores de tierra vegetal de entre 5 y 20 cm, dependiendo de la anchura de las cintas, permitiendo realizar plantaciones y siembras en su seno. Su principal inconveniente es que solo se puede emplear en pendientes de hasta  $35^\circ$ , ya que su relleno va a estar supeditado a la cohesión y al ángulo de rozamiento interno del suelo. Es muy utilizado en canalizaciones y encauzamiento de barrancos, donde las pendientes son suaves (Muñoz.M, 2016).

**6.9.3.5. Biorrollos o fajinas:** Los biorrollos son estructuras cilíndricas que se suelen fabricar a base de fibras naturales de forma industrial y son colocados en curvas de nivel y en zanjas poco profundas. Se elaboran a base de fibras, generalmente naturales (coco, esparto o paja), envueltas en mallas o redes de coco o de polipropileno. Tienen la ventaja de su maleabilidad, que les permite adaptarse a las irregularidades del terreno como



cárcavas. La capacidad para retener finos y semillas arrastradas es muy alta y su instalación muy sencilla.

Respecto a las fajinas, estas son elaboradas en el terreno, usando materiales locales. Para ello, se suelen emplear tallos de ramas leñosas con gran capacidad de enraizamiento, que deben ser flexibles, largas, rectas y con yemas de crecimiento activas, se disponen paralelas al perfil del talud y se entierran superficialmente. El uso de estas fajinas vivas solo tiene sentido en lugares donde la humedad del suelo permite el enraizamiento. En situaciones de sequía o escasa disponibilidad de material, se pueden emplear restos de poda de árboles cercanos (Muñoz.M, 2016).

Estos tratamientos dan buenos resultados a medio-largo plazo, siendo necesaria la aplicación de otras técnicas (hidrosiembras, agromantos, etc.) para reducir la erosión a más corto plazo, al objeto de completar el tratamiento recubriendo el espacio existente entre fajinas.

**6.9.3.6. Sistemas de apoyo de obra civil:** Se trata del uso de materiales típicos de obra civil tradicional, usados de forma combinada con materiales descritos anteriormente. En muchas ocasiones, las técnicas descritas hasta ahora no son suficientes para garantizar la estabilidad y seguridad de una solución. En este caso, el uso de sistemas de apoyo como mallas de triple torsión, red de cable, cable de refuerzo y pernos de anclajes puede ser factible. Esta combinación se emplea cuando una técnica individual no es capaz de solucionar todos los problemas de erosión y estabilización por sí misma. Gracias a sus características, permite reunir las condiciones adecuadas para una posterior revegetación e integración visual del talud, sustituyendo técnicas más agresivas, como muros, escolleras o gunitados (Muñoz.M, 2016).

En otros casos, se usan muros de pie, que son elementos estructurales de la obra necesarios para lograr la estabilidad de los taludes. Permiten disminuir la pendiente de los taludes hasta alcanzar el equilibrio, disminuyendo la velocidad de escorrentía del agua de lluvia, y

facilitando la restauración vegetal. Estos muros pueden ser ejecutados a base de gaviones metálicos, de mampostería, de escolleras, de tierra reforzada (muros verdes) o de estructuras de madera.

#### **6.9.4. El medio ambiente y los impactos ambientales.**

El término «medio ambiente» no tiene un significado intrínseco definido, por el contrario, su uso abarca todo un abanico de significados alternativos, utilizándose como sinónimo, parcial o total, de muy diversos conceptos relacionados con el “ecosistema”. (Armiñana y Serón, 2002)

Mientras que la humanidad ha tendido siempre a supuestos antropocéntricos, el medio ambiente suele entenderse en la actualidad como algo externo al hombre y del que este no forma parte, siendo fácil concluir de ello que toda actuación humana es ajena al mismo (medio ambiente “natural” frente a medio ambiente “artificial”), y por tanto negativa. El término “impacto”, en el lenguaje común, hace referencia tanto a consecuencias positivas como negativas; por el contrario el “impacto ambiental” se utiliza casi exclusivamente para designar efectos perniciosos. La verdad es que la historia, y sobre todo la historia reciente, nos enseña que en la mayoría de los casos así ha sido. Frente al “impacto ambiental”, de este modo considerado, se ha opuesto el de “conservación”, término que, con su alta componente estática, encierra una oposición al concepto de la naturaleza, evolutiva y dinámica. Muchas de las catástrofes ecológicas “artificiales” provocadas por el hombre se han producido a lo largo de la historia del planeta de un modo “natural” (desaparición de especies en el proceso evolutivo, cambios climáticos por erupciones volcánicas, etc.). Una de las principales diferencias estriba en la velocidad que la actuación humana imprime a esos procesos y las consecuencias multiplicativas que conlleva.

#### **¿Cuándo una obra de ingeniería produce un impacto ambiental?**

Toda obra de ingeniería sea mínima o a gran escala produce un impacto ambiental. El hombre en su afán de progreso se ha preocupado por el confort y la modernización de su

infraestructura, sin pensar en el grave daño que esto causa a su medio ambiente. Sin embargo, los proyectos pueden salir adelante tratando de minimizar los efectos negativos producidos durante su desarrollo u operación.

Las grandes representaciones de la Ingeniería mundial, fracasan cuando de desarrollo sostenible se trata a esto se debe por las siguientes consecuencias.

1. Cuando produce efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, el agua y el aire.
2. Cuando presentan un riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de los efluentes, emisiones o residuos.
3. Cuando es necesario un reasentamiento de comunidades humanas, o alteraciones significativas de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos.
4. Cuando existen poblaciones, recursos y áreas protegidas susceptibles de ser afectadas, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.
5. Cuando existe una alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.
6. Cuando se produce una alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

#### **6.9.5. Los impactos en las obras civiles.**

Toda actividad humana requiere, en mayor o menor medida, de obras civiles. Los impactos de estas infraestructuras tendrán toda la diversidad de características expuestas anteriormente, pero será muy importante discernir los impactos en función del momento del “ciclo vital” (dentro del proceso proyecto-construcción) de la infraestructura en el que se producen, pudiendo considerarse tres fases (Armiñana y Serón, 2002):

- a) Proyecto y definición

- b) Elección, obtención y/o proceso y método como elemento fabricación de las materias para la realización.
- c) Proceso y método de construcción o implantación.
- d) Como elemento implantado proceso de explotación.

En la primera fase (qué y con qué se va a construir) quedarán definidos los parámetros que gobernarán parte de los impactos que se generen en el resto de las fases (fundamentalmente el impacto como “elemento implantado” en la naturaleza). En esta primera fase hay que distinguir claramente, dentro del proyecto y definición de la infraestructura, la elección de los materiales con que se realizará, cuya fabricación o proceso de obtención puede generar impactos que no deben considerarse ajenos a la infraestructura. En otros casos un proyecto más “adecuado ecológicamente” que otro puede basarse en impactos de partida no deseables. Por ejemplo, en la construcción de un muro, dejando aparte los posibles impactos como barrera biológica, etc, se buscará que el impacto visual sea el mínimo; esto se consigue con los denominados “muros verdes” frente a los clásicos de hormigón; el muro verde se “integra” totalmente en la naturaleza pero, para su construcción, se utilizan productos geosintéticos que pueden estar formados por compuestos no reversibles y tener procesos de fabricación altamente contaminantes. La ventaja del muro verde frente al de hormigón puede verse reducida si se comparan los potenciales contaminantes de la fabricación e implantación en la naturaleza de los geosintéticos y del hormigón. (Armiñana y Serón, 2002)

En la segunda fase (cómo se va a construir) pueden producirse en muchas ocasiones los mayores niveles de impacto negativo. Los métodos utilizados, generalmente ajenos a las infraestructuras, pueden quedar al margen de la “fiscalización” a la que se va someter (estudios de impacto ambiental, etc.).

A la última fase (qué presencia material tiene lo que se ha construido y cómo funciona) es a la que más atención suele prestarse, aunque no siempre justificadamente. Es muy importante diferenciar entre las infraestructuras pasivas e infraestructuras activas. Las

primeras (por ejemplo un viaducto o un muro) corresponden a infraestructuras que en su uso no tienen un intercambio con el medio natural y producen solo impactos visuales cuando se ha realizado una cuidadosa planificación de la primera y segunda fase, existiendo siempre métodos para disminuir e incluso eliminar los impactos físicos de la fase final (barreras biológicas, ruidos, etc.). Las infraestructuras activas son aquellas que presentan intercambios de entrada y salida con la naturaleza, y el impacto puede ser variable según su modo de funcionamiento. (Por ejemplo una estación depuradora). Desde luego, en la mayoría de los casos, no existen unas características claras que puedan delimitar que una infraestructura es de un tipo u otro, e incluso algunas, con un marcado carácter estático, pueden provocar cambios enormes en el medio ambiente (por ejemplo, una presa). Todos estos aspectos así sean para una obra de gran importancia como una mínima deben estudiarse y desarrollarse, en los correspondientes Estudio de Impacto Ambiental dentro del Proyecto de Ingeniería Civil (Armiñana y Serón, 2002).

#### **6.9.6. Problemas de ingeniería que pueden repararse con el uso de técnicas de ingeniería.**

En la construcción, rehabilitación y mantenimiento de caminos hay una serie de áreas donde se pueden utilizar los efectos beneficiosos de la vegetación para ayudar a reducir la erosión y mejorar la eficacia de estructuras de ingeniería civil. En muchos casos, el uso de la vegetación puede ser muy eficaz con relación al costo. La vegetación puede ayudar a reparar una pequeña falla antes de que se convierta en un problema mayor que es más costoso de resolver. (S.Navarro, 2008)

#### **6.9.7. Materiales usados por la Bioingeniería**

La Bioingeniería utiliza materiales vegetales e integra materiales específicos de estructuras con vegetación. Los sistemas resultantes y sus componentes tienen ventajas y limitaciones que necesitan ser consideradas antes de seleccionarlos para su uso.

✓ Componentes Vegetales Vivos:

Una correcta elección del material vegetal vivo a utilizar en el ámbito de las obras de bioingeniería constituye la premisa fundamental para el éxito de las intervenciones.

✓ Materiales inertes:

Las estructuras pueden ser construidas a partir de materiales naturales o manufacturados. Los materiales naturales, como tierra, rocas, piedras y madera normalmente cuestan menos, son ecológicamente más compatibles, y son más apropiados para las revegetaciones o para absorber ligeras modificaciones que los materiales manufacturados. Los materiales naturales también pueden ser obtenidos sobre el terreno en el transcurso de la obra sin coste alguno (Sangalli y Valenzuela, 2016)

### **6.9.8. Principales técnicas y métodos**

Las principales técnicas se dividen en 4 grandes grupos:

1. *Técnicas de recubrimiento*: Son técnicas destinadas a evitar la erosión superficial. Dentro de este grupo se distinguen: siembras de diversos tipos, con o sin acolchados; hidrosiembras tanto de especies herbáceas como especies leñosas; empleo de mantas orgánicas en las siembras; traslado de tepes, o de fragmentos de plantas: rizomas y estolones, principalmente; recubrimiento con varas de salicáceas. (Sangalli y Valenzuela, 2016)
2. *Técnicas de estabilización*: Estas técnicas permiten estabilizar el terreno hasta 2 m de profundidad y se basan en la disposición de plantas leñosas obtenidas por reproducción vegetativa y colocada en filas horizontales. Las plantas tienen que tener la capacidad de emitir raíces adventicias de manera que formen un entramado que permita la sujeción del terreno. Dentro de estas técnicas se encuentran: estaquillados de sauces;

lechos de ramaje; sucesión de estacas y fajinas o ribalta viva; trenzados de mimbre; fajinas de ribera; esteras de ramas; empalizadas. (Sangalli y Valenzuela, 2016)

3. **Técnicas mixtas:** A diferencia de las anteriores, estas técnicas conjugan la utilización de elementos vegetales con los materiales tales como madera, acero galvanizado, piedra, hormigón. El material inerte actúa como estabilizador hasta que las plantas sean capaces de realizar esta función. Dentro de estas técnicas se encuentran: entramados de madera; peldaños de leña; enrejados vivos; tierras reforzadas o muros verdes; mallas tridimensionales, geoceldas, etc., gaviones revegetados. (Sangalli y Valenzuela, 2016)
  
4. **Técnicas complementarias:** Junto con las técnicas constructivas propiamente dichas, se deben utilizar otras técnicas que completan y complementan las anteriores pero que no cumplen una finalidad de estabilización o protección frente a la erosión, son por ejemplo la plantación de especies leñosas con el fin de acelerar el desarrollo de la vegetación, la creación de barreras antirruido, los drenajes, las rampas para peces, etc. La combinación de unas o más técnicas permite la obtención de resultados que combinan los aspectos técnicos de estabilización con los paisajísticos y ecológicos. (Sangalli y Valenzuela, 2016)

#### **6.9.9. Consideraciones que se deben tener para proyectos y trabajos de Bioingeniería**

De acuerdo a las condiciones y factores en donde se presente el desarrollo de un proyecto es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones al momento de aplicar obras de bioingeniería:

- a) *Botánica:*

- ✓ Determinación de las especies más acordes según los condicionantes edáficos y climáticos. Árboles y arbustos, preferentemente de la vegetación local. Características botánicas de la especie (tipo de reproducción, hábito de crecimiento, tipo de sistema radical, etc.)
- ✓ Características fisiológicas de la especie (tolerancia a la sequía, tolerancia al encharcamiento, tolerancia a las condiciones edáficas de salinidad, cal, acidez, velocidad de crecimiento, etc.).
- ✓ Características biotécnicas de las especies: Es el conjunto de capacidades técnicas propias de cada especie referentes a la: Facultad de colonizar terrenos degradados (especies pioneras); capacidad de emisión de raíces adventicias; capacidad de enraizamiento de estacas y ramas; resistencia a la tracción mecánica de las raíces y brotes; resistencia a la caída de piedras; capacidad de cobertura de la superficie; capacidad de supervivencia postplantación; resistencia al encharcamiento. (Sangalli y Valenzuela, 2016)

*b) Climática*

Son las características macro climáticas y micro climáticas. Para la valoración del microclima se debe tener en cuenta los siguientes parámetros: Altitud; pluviometría media y distribución; humedad relativa del aire y existencia de niebla; duración, cantidad y situación de los períodos de sequía a lo largo del año; temperaturas medias, máximas y mínimas; exposición al sol o a la sombra; condiciones de iluminación; continentalidad; épocas en que se producen fuertes precipitaciones, granizo, nevadas e inundaciones; viento: fuerza y persistencia; cambios súbitos de temperatura; valor del factor R de la ecuación universal de pérdidas de suelo. (Sangalli y Valenzuela, 2016)

*c) De situación:* Localización y zona climática; orientación.

*d) Edafológica:* Análisis de suelos; características del subsuelo.

*e) Fitosanitaria:* Estado fisiológico del material vegetal; estado patológico del material vegetal.



- f) *Hidrogeológica*: Presencia de procesos activos naturales (erosión, desprendimientos, deslizamientos, etc.).
- g) *Hidrológica*: Nivel de la capa freática; presencia de cursos de agua.
- h) *Medioambiental*: Estudio de impacto ambiental.
- i) *Paisajística*: Análisis del entorno; integración deseada.
- j) *Topográfica*: Pendiente; superficie

#### **6.9.10. Análisis de problemas de erosión de suelos e inestabilidad de taludes en donde se pueden aplicar soluciones de bioingeniería en cualquier sector vial.**

Un aspecto importante del mantenimiento de las vías es la estabilización y mantenimiento de los taludes a orillas de esta. El uso de vegetación por sus propiedades esenciales puede reducir la incidencia de la erosión del suelo y las fallas translacionales en los taludes de menos de 0.3 m de profundidad y proporcionar una solución eficaz en términos de costo para el manejo del derecho de una vía. (S.Navarro, 2008)

*No todas las fallas en las laderas y los problemas de erosión del suelo son aptos para bioingeniería*, (Tabla 1) por ejemplo los deslizamientos de tierra desencadenados por las lluvias son fallas superficiales de los taludes confinadas a materiales no consolidados tales como suelos o mantos rocosos profundamente desgastados, a menudo fracturados y quebradizos. Los deslizamientos por lo general tienen una profundidad de superficie de ruptura de menos de 0.4 m, que es lo suficientemente superficial para que la bioingeniería sea efectiva tanto en la rehabilitación y la prevención de futuros colapsos.

**Tabla 1 Problemas de erosión bioingeniería aplicados en vías**

<p><b>Problemas de erosión de suelo encontrados en el sector vial</b></p> <p><b>Bioingeniería en combinación con obras de ingeniería:</b></p>	<p><b>Técnicas de bioingeniería que pueden ayudar a solucionar los problemas de Erosión</b></p>
<p>Bioingeniería en combinación con obras de ingeniería</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevención de la socavación alrededor de los puntos de descarga del drenaje y en una alcantarilla.</li> <li>• Prevención de la socavación alrededor de las estructuras en la interfaz entre el suelo y la estructura, como en cascadas, muros de retención en mampostería.</li> <li>• Protección contra el bloqueo de los desagües laterales por sedimentación</li> </ul>	<p>Mini presas vivas de control</p> <p>Barreras densas</p> <p>Barrera de piedra con bolón pequeño</p> <p>Siembra de pasto vetiver</p> <p>Siembra de árboles y arbustos</p>
<p><b>Protección del suelo descubierto</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección del suelo no compactado</li> <li>• Protección de los terraplenes compactados</li> <li>• Protección de taludes de corte expuestos en material suave</li> <li>• Protección del pie del talud contra la erosión que lo socava aumentando el porcentaje de pendiente.</li> </ul>	<p>Barreras densas</p> <p>Siembra de pasto vetiver</p> <p>Sampeado con rocas (al pie del talud)</p> <p>Siembra de árboles y arbustos</p> <p>Siembra de bambú en la base de los taludes</p>
<p><b>Rehabilitación y daños</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reparación de grietas y cárcavas</li> </ul>	<p>Mini presas vivas de control</p> <p>Barreras densas</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rehabilitación de canteras y bancos de préstamo de material con taludes estables</li> <li>• Rehabilitación de fallas profundas</li> </ul>	Siembra de grama de vetiver Barrera de zacate para detener la sedimentación Siembra de árboles y arbustos Siembra directa
<p><b>Prevención y mayor estabilidad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevención de fallas translacionales de menos de 0.3 m. de profundidad</li> <li>• Caídas menores de rocas en roca suave quebrada</li> </ul>	Mini presas vivas de control Barreras densas Siembra de grama de vetiver Barrera de zacate para detener la sedimentación Siembra de árboles y arbustos Siembra directa Siembra de grama de vetiver Barrera densa

Fuente: Descripción de problemas establecidos en vías Autor

### 6.9.11. La influencia de la vegetación en los taludes.

La influencia de la vegetación en las condiciones de los taludes puede definirse de dos maneras, p.ej. Influencias hidrológicas y mecánicas:

- **Hidrológicamente**, la vegetación influye sobre la velocidad y el volumen del flujo del agua hacia y sobre una superficie de talud mediante los procesos de intercepción, flujo radicular, evaporación de gotas en las hojas, evapotranspiración e infiltración.
- **Mecánicamente**, la vegetación aumenta la fortaleza y competencia del suelo en el cual está creciendo y por lo tanto contribuye a su estabilidad.

La bioingeniería utiliza los efectos mecánicos e hidrológicos benéficos de una comunidad de plantas para cumplir una función de ingeniería. La vegetación puede aumentar la

resistencia del suelo al agrietamiento, proteger de la erosión laminar una superficie de suelo expuesta y atrapar las partículas de suelo que se deslizan por el talud. Las habilidades de la bioingeniería se encuentran en la movilización de los efectos benéficos de la vegetación en cualquier situación. La vegetación que es seleccionada para las condiciones particulares del lugar, que se establece bien y se siembra con suficiente densidad, puede proporcionar una eficaz protección a la superficie del talud. (S.Navarro, 2008)

#### **6.9.12. Riesgo de desestabilización de taludes.**

En las secciones donde están previstos cortes y rellenos, podrán ocurrir procesos erosivos en la forma de pequeños deslizamientos de tierra, desencadenados en función de la inestabilidad generada por la ausencia de vegetación. Este impacto es adverso, con grandes posibilidades de ocurrencia. Caso ocurra, abarcará el área de intervención. Su magnitud será pequeña debido a la cantidad reducida de taludes de corte. Tenderá a ocurrir inmediatamente después del inicio de las obras de terraplenado, pero podrá ocurrir en cualquier momento durante la construcción y operación de la vía. Tendrá duración temporal en el caso que sean adoptadas las medidas adecuadas, siendo, en este caso, de carácter reversible.

La inestabilización de taludes de corte también puede ocurrir debido al apareamiento de fuentes de agua, proveniente de los niveles freáticos del cerro que fue cortado. Aquí es de gran importancia que el ejecutor deba estar atento a este impacto poco previsible, y caso ocurra, deberá providenciar la instalación de drenes.

#### **6.9.13. Desestructuración y compactación de suelos.**

Las intervenciones de una obra causan la desestructuración directa y/o compactación de los suelos por la construcción de una vía y los movimientos de tierras.

Hay que tener en cuenta no sólo la superficie afectada por las vías, desmontes, terraplenes, sino también las obras auxiliares como son accesos, campamentos, acopios, etc.) y las superficies en que el suelo sufre una compactación por el depósito de material y tránsito de maquinaria pesada.

Las áreas afectadas deben ser recuperadas al final de la obra, mediante los procedimientos de restauración y revegetación establecidos previamente en los Planes Ambientales de la Construcción.

#### **6.9.14. Legislación.**

Antes de la Constitución de 1991, por la falta de normas ambientales, las minas se explotaban en la ilegalidad. Los Bogotanos que tenían un terreno de tierra, además de cultivar, también tenían la oportunidad de extraer minerales.

Fue a partir de la Ley 99 de 1993 que se empezó a regular la extracción de materiales de construcción en la capital. En esta normativa se establece que la Sabana de Bogotá debe protegerse de la extracción de sus recursos, pues esta zona hace parte de los sistemas montañosos de interés ecológico nacional, por lo que corresponde al Ministerio de Ambiente delimitar las zonas compatibles con la minería.

El Ministerio de Ambiente durante los últimos 10 años ha expedido varias normas reglamentando dicha normatividad, la última fue la Resolución 1197 del año 2004. (Minambiente, Resolución 1197 de 2004 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2016). Sin embargo, una sentencia del Consejo de Estado del 2010 le pidió al Minambiente delimitar nuevamente las zonas compatibles para minería. A la fecha no se ha expedido la nueva resolución.

### **6.9.15. Normatividad vigente para los Cerros Orientales de Bogotá D.C**

- Resolución CAR 1766 del 27 de Octubre de 2016: Por medio del cual se adopta el plan de manejo de la Reserva Forestal protectora Bosque oriental de Bogotá y se adoptan otras determinaciones. (CAR, 2016)
- Resolución CAR 1141 del 12 de Abril de 2006: Por la cual se adopta el Plan de Manejo de la Zona de Reserva (CAR, 2006)
- Resolución MAVDT 463 de 2005: Por medio de la cual se redelimita la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, se adopta su zonificación y reglamentación de usos y se establecen las determinantes para el ordenamiento y manejo de los Cerros Orientales de Bogotá. (MAVDT , 2005)
- Decreto Distrital 190 de 2004: Por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003, referentes al POT de BOGOTA. Principalmente los artículos 7, 16, 75, 81, 84 y 399 (Alcaldía de Bogota D.C, 2004)
- Decreto Distrital 56 de 2005: Por el cual se crea el Comité Interinstitucional para la coordinación de la actuación administrativa del Distrito Capital en el manejo de los Cerros Orientales de Bogotá D.C. (Alcaldía de Bogotá D.C, 2005)
- Decreto Distrital 124 de 2007: Por el cual se modifica el Decreto 056 de 2005, en cuanto a la integración del Comité Interinstitucional para la coordinación de la actuación administrativa del Distrito Capital en el manejo de los Cerros Orientales de Bogotá D.C. (Alcaldía de Bogotá D.C, 2007)

- Decreto Distrital 122 de 2006: Por el cual se adoptan medidas de defensa y protección de la Reserva Forestal Protectora "Bosque Oriental de Bogotá" (Alcaldía de Bogotá D.C, 2006)
- Resolución DAMA 1043 del 28 de Abril de 2005: Por medio de la cual se establece una Medida Preventiva, y se toman otras determinaciones en relación con la Reglamentación Adoptada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, para el Área de Reserva Forestal Protectora "Bosque Oriental de Bogotá, D.C. ". (DAMA, 2005)

#### **6.9.16. Marco Legal Ambiental.**

Teniendo en cuenta que las actividades en donde se pueda ejecutar un proyecto de infraestructura y estos pueden afectar cualquiera de los componentes ambientales, es conveniente hacer una relación de toda la normatividad vigente relacionada a los componentes de suelo, agua, aire, vegetación y fauna. Razón por la cual se genera la obligación de observar y hacer cumplir las normas de carácter nacional y regional que regulan y salvaguarda el medio ambiente. Las normas que se citan a continuación contienen la regulación de carácter general para cualquier tipo de impacto ambiental.

- Ley 99 del 22 de diciembre de 1993: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. El título VII de esta ley regula todo lo relacionado con el tema de las licencias ambientales como instrumentos de planificación para el control y protección del medio ambiente. (Minambiente, 1993)
- Ley 134 del 31 de mayo de 1994: Por la cual se dictan normas sobre mecanismos de participación ciudadana. Dentro de los mecanismos de participación ciudadana

regulados por esta Ley se encuentra el de iniciativa legislativa de la comunidad para presentar proyectos legislativos para el control y protección del medio ambiente. (Congreso de Colombia, 1994)

- Decreto 1220 de 2005: Por el cual se reglamentan parcialmente los títulos VII y XII de la Ley 99 de 1993 sobre las licencias ambientales. Este decreto reglamentario de la Ley 99 de 1993 regula de forma más explícita la naturaleza, características y modalidades de las licencias ambientales, así como el procedimiento y términos para su expedición. (Minambiente, 2005)
- Ley 1333 del 21 de julio de 2009 Por el cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones. (Congreso de la Republica, 2009)

**a) Normatividad sobre el recurso del suelo.**

- Decreto Reglamentario 2462 de 1989: Sobre explotación de materiales de construcción. (Minjusticia, 1989)
- Ley 388 de 1997, Artículo 33: Ordenamiento territorial, que reglamenta los usos del suelo (Congreso de Colombia, 1997)
- Decreto 2811 de 1974 parte VII Del suelo agrícola y de los usos no agrícolas de la tierra. (Presidencia de la Republica, 1974)
- Decreto 2655 de 1988 Código de Minas. (ANM, 1990)

**b) Manejo integral de cuerpos de agua**

Para lograr la protección del recurso hídrico cuando se llevan a cabo trabajos para desarrollar proyectos de infraestructura, es necesario observar la siguiente normatividad ya que contiene las medidas adecuadas para proteger este recurso tan importante:



- Decreto 1541 de 1978: Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto, Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973. Este Decreto tiene por finalidad reglamentar las normas relacionadas con el recurso de aguas en todos sus estados, y comprende los siguientes aspectos:
  - 1) El dominio de las aguas, cauces y riberas, y normas que rigen su aprovechamiento sujeto a prioridades, en orden a asegurar el desarrollo humano, económico y social, con arreglo al interés general de la comunidad.
  - 2) La reglamentación de las aguas, ocupación de los cauces y la declaración de reservas de agotamiento, en orden a asegurar su preservación cuantitativa para garantizar la disponibilidad permanente del recurso.
  - 3) Las restricciones y limitaciones al dominio en orden a asegurar el aprovechamiento de las aguas por todos los usuarios.
  - 4) El régimen a que están sometidas ciertas categorías especiales de agua.
  - 5) Las condiciones para la construcción de obras hidráulicas que garanticen la correcta y eficiente utilización del recurso, así como la protección de los demás recursos relacionados con el agua.
  - 6) La conservación de las aguas y sus cauces, en orden a asegurar la preservación cualitativa del recurso y a proteger los demás recursos que dependan de ella.
  - 7) Las cargas pecuniarias en razón del uso del recurso y para asegurar su mantenimiento y conservación, así como el pago de las obras hidráulicas que se construyan en beneficio de los usuarios.
  - 8) Las sanciones y las causales de caducidad a que haya lugar por la infracción de las normas o por el incumplimiento de las obligaciones contraídas por los usuarios.(Ministerio de Agricultura, 1978)
- Ley 9 de 1979: Código nacional sanitario, Por la cual se dictan normas de control sanitario del Medio Ambiente. (Congreso de la Republica, 1979)

- Decreto 1594 de junio de 1984: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el capítulo II del título VI, parte III, libro II y el título III de la parte III, libro I del decreto ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y de residuos líquidos. Se establecen los parámetros para vertimiento en las redes de alcantarillado público cuando haya necesidad de ello dentro de las obras de infraestructura y se establece la prohibición de verter combustibles y aceites a estas redes. Este decreto regula los vertimientos producidos en los campamentos que se utilizan durante la ejecución de las obras. Es necesaria la observación de esta norma con el fin de prevenir que los materiales utilizados al llevar al cabo obras, generen algún tipo de residuo o vertimiento que pueda caer en el alcantarillado público o en alguna fuente de agua. (Presidencia de la Republica, 1984)
- Resolución 2309 del 24 de febrero de 1986: Por la cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del título III de la parte 4 del Libro 1 del Decreto Ley 2811 de 1974 y de los títulos I, III y XI de la Ley 9 de 1979, en cuanto a residuos especiales. Si se llegan a generar residuos de tipo especial en las actividades de construcción es necesario proceder a disponer de estos, especialmente, acatando lo dispuesto por esta resolución. (Minsalud, 1986)
- Ley 373 del 6 de junio de 1997 Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se establece la obligación a cargo de las entidades prestadoras del servicio para que se implemente programas para el aprovechamiento racional de este recurso. (Minambiente, 1997)
- Resolución 273 de 1997: Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). (Minambiente, 1997)

- Decreto 155 de 2004: Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones. (Minambiente, 2004)
- Resolución 2145 de 2005: Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV. (Minambiente, 2005)
- Decreto 1575 del 2007: Por la cual se establece el Sistema para la Protección y control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. (Ministerio de Protección Social, 2007)

**c) Manejo integral de residuos sólidos**

En la mayoría de obras ejecutadas, se producen grandes cantidades de materiales de excavación y de escombros, los cuales afectan al medio ambiente teniendo en cuenta que se interviene espacio público, se genera emisión de material particulado y polvo y se contamina el suelo y agua, razón por la cual se hace necesario la aplicación de las siguientes normas para minimizar estos impactos:

- Resolución 541 del 14 de diciembre de 1994: Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación. En lo pertinente al manejo de escombros, esta Resolución regula el debido cubrimiento de escombros mientras se encuentran en el frente de trabajo, así como las especificaciones de los automotores que los transporten y los permisos que deben acreditar los dueños de los lugares donde se han de disponer definitivamente. (Minambiente, 1994)

- Decreto 948 del 5 de junio de 1995 “Por el cual se reglamentan; parcialmente, la Ley 23 de 1973; los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire”. Modificado por el Decreto 2107 de noviembre 30 de 1995. Este decreto se menciona en este punto, por guardar íntima relación con el tema de escombros si se tiene en cuenta que dentro de su articulado señala la obligación de almacenarlos de tal forma que no se generen partículas al aire. (Minambiente, 1995)
- Ley 685 del 15 de agosto del 2001: Por medio de la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones. El código tiene como objetivo principal fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros; estimular actividades que satisfagan los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y de fortalecimiento económico. (Congreso de Colombia, 2001)
- Decreto número 1713 de 2002 Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994 en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo” Este decreto regula los servicios públicos domiciliarios y dentro de sus disposiciones determina la obligación a cargo de los productores de escombros de encargarse de su disposición adecuadamente. (Presidencia de La Republica, 2002)
- Resolución 1197 de 2004: Esta Resolución determina los lugares donde se pueden llevar a cabo actividades de explotación de material de construcción siempre y cuando tengan permiso ambiental. (Minambiente, 2004)

- Decreto 4741 de 2005: Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión Integral. (Presidencia de La Republica, 2005)
- Ley 1252 de 2008: Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones. (Minambiente, 2008)

**d) Manejo de la vegetación y del paisaje.**

El tratamiento que se le brinda a la vegetación en la ejecución de los proyectos de infraestructura, deben llevarse a cabo cumpliendo con los decretos que se mencionan enseguida:

- Decreto 1715 del 4 de agosto de 1978. Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto – Ley 2811 de 1974, la Ley 1973 y el Decreto – Ley 154 de 1976, en cuanto a la protección del paisaje. Este decreto regula lo relacionado a la protección de los paisajes con el objeto de mantener el componente ambiental mediante la protección de los paisajes naturales. (Minambiente, 1978)
- Decreto 1791 del 4 octubre de 1996: Por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal. Con el objeto de proteger el recurso forestal este Decreto estableció los requisitos para poder llevar a cabo cualquier tipo de aprovechamiento forestal. (Minambiente, 1996)

**e) Manejo de la flora y bosques naturales**

En relación con la flora silvestre y los bosques naturales la legislación vigente es la siguiente:

- Ley 2 de 1959, relacionada con la Reserva Forestal y protección de suelos y agua. (Congreso de Colombia, 1959); Decreto- Ley 2811 del 18 de diciembre de 1974: Por la cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Esta fue la primera norma de injerencia ambiental si se tiene en cuenta que codificó todo lo relacionado con la utilización de los recursos naturales renovables con el objeto de buscar su protección, preservación y manejo para lograr un control eficiente de estos recursos, de tal forma que estableció la obligación de solicitar los permisos ambientales para poder hacer uso de los recursos naturales. Esta ley en su título X establece los modos y procedimientos de participación ciudadana en las actuaciones administrativas que afecten al medio ambiente. (Presidencia de la Republica, 1974)
- Decreto 877 de 1976, relacionado con los usos del recurso forestal y las áreas de reservas forestales. (Ministerio de Agricultura, 1976)
- Decreto 622 de 1977, sobre Parques Nacionales Naturales PNN. (Presidencia de la Republica, 1997)
- Resolución 868 de 1983, relacionada con las tasas de aprovechamiento forestal. (Minambiente, 1983)
- Ley 29 de 1986, la cual regula las áreas de reserva forestal protectora. (Congreso de Colombia, 1986)
- Ley 299 de 1996, mediante la cual se protege la flora colombiana. (Congreso de Colombia, 1996)
- Decreto 1791 de 1996, sobre el régimen de aprovechamiento forestal y acuerdos regionales con este fin. (Minambiente, 1996)

- Documento Conpes 2834 de 1996, el cual define la política de bosques. (Minambiente-DNP, 1996)

**f) Manejo de la fauna**

- Decreto 1608 de 1978 Por el cual se reglamenta el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de protección al medio ambiente y la ley 23 de 1973 en materia de Fauna Silvestre. Art. 30 y 196. (Presidencia de la Republica, 1978)
- Ley 84 de 1989: Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales y se crean unas contravenciones y se regula lo referente a su procedimiento y competencia. (Minambiente, 1989)
- Ley 611 de 2000: Por la cual se dictan normas para el manejo sostenible de especies de Fauna Silvestre y Acuática. (Congreso de la Republica, 2000)

**g) Control de emisiones atmosféricas**

Aunque alguna legislación aplicable para minimizar este impacto ambiental se encuentra inmersa en las normas que regulan las actividades ya mencionadas, a continuación se numeran las demás disposiciones que regulan todo lo relacionado con los contaminantes del aire:

- Decreto 02 del 11 de enero de 1982: Por el cual se reglamentan parcialmente el título I de la Ley 9 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas. Aunque en su gran mayoría este Decreto se encuentra derogado por el Decreto 948 de 1995, aún se encuentran vigentes las normas relacionadas con los métodos de medición de contaminantes del aire. (Ministeri de salud, 1982)

- Resolución 8321 de 1983: Por la cual se dictan normas sobre Protección y conservación de la Audición de la Salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos. (Ministerio de salud, 1983)
- Resolución 1792 del 3 de mayo de 1990: Por la cual se adoptan valores límites permisibles para la exposición ocupacional al ruido. (Ministerios Social, trabajo y salud, 1990)
- Decreto 948 del 5 de junio de 1995: Por el cual se reglamentan parcialmente, la Ley 23 de 1973; los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Esta regulación en la actualidad es la norma más importante para la prevención y control de emisiones contaminantes al aire, sobre todo en lo que tiene que ver con el material particulado, ya que es muy común que se presente dentro de las obras de infraestructura. (Minambiente, 1995)
- Resolución 005 del 9 de enero de 1996 Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones. Esta norma también se presenta en este punto debido a la contaminación producida por los vehículos utilizados durante la ejecución de las obras de infraestructura. (Miinesterios de Ambiente y Transporte, 1996)
- Resolución 909 del 20 de agosto de 1996: Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 005 de 1996 que reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel, y se



definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones. Nuevamente se encuentra la aplicabilidad de esta disposición por la utilización de vehículos en desarrollo de los proyectos de infraestructura. (Ministerios de Transporte y Salud, 1996)

- Resolución número 619 del 7 de julio de 1997 Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas. (Minambiente, 1997)
- Resolución número 627 del 2006: Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y del ruido ambiental. (Ministerio de Ambiente, vivienda, 2006)
- Resolución 910 del 5 de junio del 2008: Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones. (Ministerio de ambiente, vivienda, 2008)

## 7. METODOLOGIA

### 7.1. Descripción de la unidad de análisis

Para la elaboración se desarrolló una investigación exploratorio, interactiva y luego descriptiva, con el ánimo de analizar el tema de investigación, luego se aplicó la investigación descriptiva que permitió identificar cuáles son los factores determinantes que inciden en mayor grado en el problema planteado, de tal manera que brinde una mayor claridad en las acciones a desarrollar. Es fundamental revisar las fuentes de información, sobre todo lo escrito a este tema y de investigaciones anteriormente realizadas que guarden relación con el espacio en donde se enfocara la investigación.

El objeto del estudio es analizar la situación que presenta las canteras y su asocio con el desarrollo a la infraestructura civil en Bogotá y su inadecuada forma de explotación y apropiación de los recursos naturales no renovables en este caso de materiales de construcción y arcillas, ocasionando el deterioro de los ecosistemas y problemas que han afectado el bienestar y la calidad de vida de la población más pobre, excluida y vulnerable de los alrededores de la capital.

Hacia los años 70, varios segmentos de los cerros orientales de Bogotá fueron explotados para extraer materiales de construcción. Lo complicado fue que tales materiales eran extraídos de las canteras de una forma muy artesanal. De ahí el daño medioambiental en los cerros orientales de la capital. (Minambiente, 2013)

La extracción de materiales se concentra tanto en los cerros nororientales en localidades las cuales son: (canteras de Usaquén) como en los suroccidentales (Ciudad Bolívar) y en los de Suba, lo cual indica que sólo el Cerro de la Conejera se encuentra exento de este tipo de actividades; la explotación de estos materiales, con métodos anti técnicos, ha originado un grave deterioro del sistema orográfico creando aumento en los niveles de erosión y zonas de alto riesgo y afectando notoriamente las condiciones ambientales de los sectores aledaños. Con la finalidad de proteger los cerros no sólo del deterioro ambiental causado por la extracción de materiales sino por la urbanización legalizada o no y por las

invasiones, El Concejo de Bogotá mediante los Acuerdos 31 de 1996 y 02 de 1997 (el cual adoptó el Plan de Ordenamiento Físico para la ciudad) estableció las normas de protección de los cerros, dichos acuerdos fueron derogados por el artículo 517 del Decreto Distrital 619 de 2000 en donde se adopta el POT de Bogotá D.C.

Definir las canteras en áreas urbanas, les caracteriza por generar unos costos ambientales y socialmente altos pero a su vez les abre posibilidades que no se presentarían en otras zonas dada la gran demanda de materiales tanto en volumen como en calidades. La explotación de una cantera, al contrario de lo que el común de la gente piensa, es una actividad compleja, si por explotación se entiende esta sería como una explotación racional e integral.

El deterioro ambiental en el Distrito Capital se ha venido incrementando por innumerables factores que derivan de las múltiples actividades que se desarrollan al interior del mismo. Tal es el caso de la explotación de la cantera El Cedro de San Carlos ubicada al norte de Bogotá sector de Usaqué.

Aunque llevan años denunciando la deforestación en el cerro, el exceso de ruido y la polución, a raíz del trabajo en la cantera, está aún sigue funcionando.

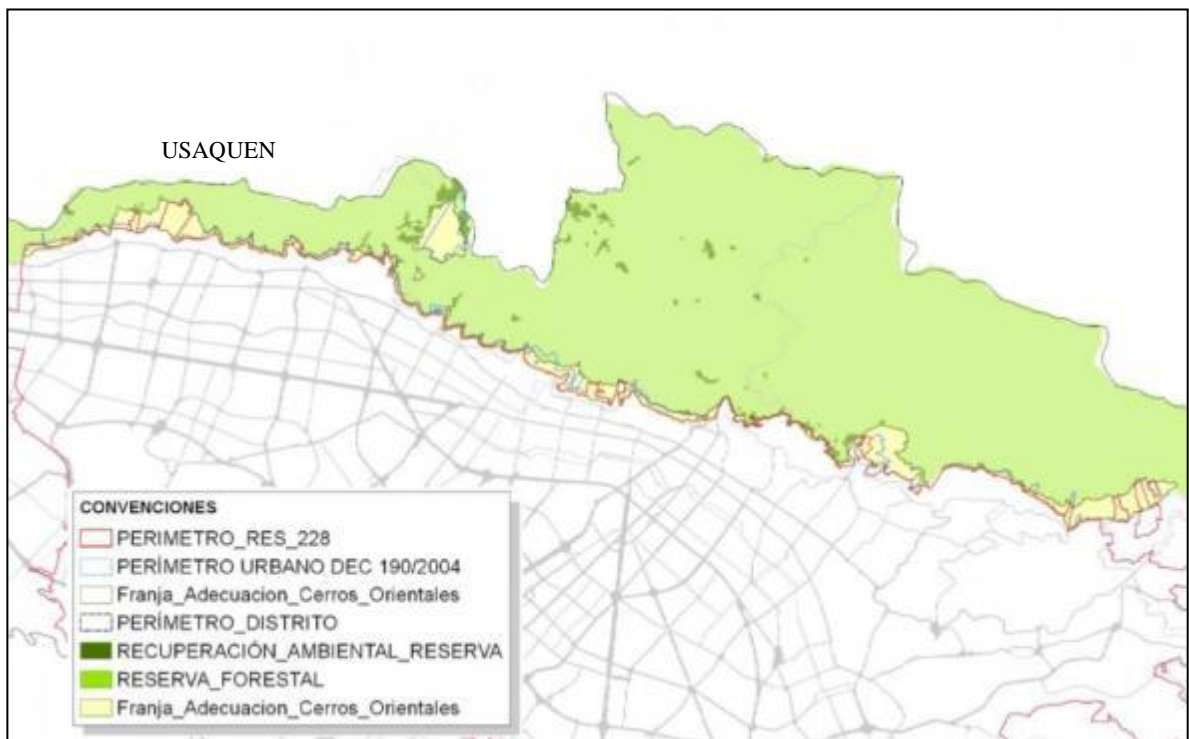
Actualmente las actividades que se ejecutan en la cantera El Cedro San Carlos son cortes "extracción y transformación de materiales de construcción, estabilización de taludes, restauración geomorfológica y ambiental", por tal motivo el área de estudio se enfocará en esta cantera debido al manejo y proceso que ha sido tan complejo para la recuperación ambiental pues la afectación es muy alta, y es importante verificar sus condiciones de estabilización con el fin de determinar cuál obra de bioingeniería es la más adecuada para el control y evitar que se presente la amenaza o el riesgo de deslizamientos en las zonas aledañas ya que en un futuro se contemplara la construcción y desarrollo de edificios ya sea para vivienda o complejo empresarial.

## 7.2. Unidad de trabajo

Suelos en los cerros Orientales de la Ciudad de Bogotá (Figura 3)

Como consecuencia de la explotación minera que desde hace décadas se presenta en los cerros orientales se determinó como punto de investigación la cantera El Cedro San Carlos ubicada al norte de la ciudad de Bogotá entre los límites del área urbana y rural, el cual generó una afectación en la montaña ocasionando inestabilidad del terreno y riesgo en la comunidad de esta zona, hoy en día se encuentra en proceso del plan de restauración y recuperación ambiental.

**Figura 3 Ubicación de los cerros Orientales Localidad de Usaquén**



**Fuente: Plan Ambiental Local de Usaquén 2017 al 2020 (Alcaldía Local de Usaquén, 2017)**

Los Cerros Orientales de Bogotá son elementos importantes de la identidad de los bogotanos debido a que forman una barrera natural que circunda a la ciudad en su costado oriental y significan la principal zona verde y fuente de producción de aire para la

capital. Los cerros orientales comprenden un área aproximada de 13.673 hectáreas, por el cual corresponden a las zonas rurales de las localidades de Usaquén, Chapinero, Santa Fé, San Cristobal y Usme, para este caso de estudio se presenta en una cantera ubicada en la Carrera 7 No. 153-90, Barrios Barrancas Alto, Barranca y Bosque del Pino III, de la localidad de Usaquén calle 153 en donde presenta un área de concesión de 17 ha de intervención (Figura 4).

**Figura 4 Ubicación Cantera El Cedro San Carlos en la localidad de Usaquén en Bogotá D.C**



**Fuente: Google Earth 2018**

### **7.3. Tipo de investigación**

Se empleó un enfoque cualitativo y cuantitativo

- ✓ **Descriptivo:** Porque se describe las diferentes problemáticas que han sido afectadas por el crecimiento y desarrollo de infraestructura civil en Colombia generando cambios y

transformaciones del paisaje el cual esta ocasionado efectos negativos sobre los elementos naturales y ambientales en el país.

- ✓ **Explicativo:** Se explica por qué y se identifican los diferentes impactos ambientales y sus causas, una de estos es la erosión problema que se ha entendido no como un proceso de formación del paisaje, sino mejor como el resultado de la intervención antrópica.
- ✓ **Correlacional:** Se determina el impacto que ha causado el hombre en su expansión y desarrollo y porque está pasando esto fenómeno pero con la búsqueda de nuevas soluciones ambientales los cuales se determinan mediante obras de Bioingeniería.
- ✓ **Histórico Hermenéutica:** De acuerdo a esto se realiza un análisis descriptivo y lo fundamento con la interpretación de un hecho que se está evidenciando en el país de acuerdo a esto se determina con conceptos teóricos ya establecidos y con el aporte de mis conocimientos y experiencia como ingeniero Civil profundizar estos conceptos lo cual me conlleva al análisis Empírico Analítico.

#### **7.4. Técnicas e instrumentos**

##### **7.4.1. Instrumentos**

Bases de datos sistema de información, formulario diseño de preguntas puntuales para determinar el grado de conocimiento de acuerdo a la verificación documental.

Describir mediante el tratamiento de datos a través de gráficos, tablas, cuadros, dibujos diagramas, generado por el análisis de los datos.

Base Cartográfica: Permite la ubicación geográfica de las áreas de estudio y la ubicación de los puntos estratégicos de investigación, los cuales se analizaron en un sistema de información geográfico (SIG) para traslapar imágenes de actividades mineras con el mapa de las unidades geológicas aflorantes, la amenaza geotécnica y sísmica, como también la identificación de asentamientos humanos, vías y drenajes. La base cartográfica que serán tomadas de Ingeominas e Imágenes de Google Earth 2018.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSION

El trabajo de campo permitió realizar un acercamiento al contexto a través del reconocimiento del territorio, así como la revisión de información secundaria relacionada con la temática. En el acercamiento con el área de estudio fue identificado el desarrollo de la actividad minera en la localidad de Usaquén. A partir de esto, se identificaron los conflictos socio- cultural y los relacionados con lo físico-biótico, también los políticos y finalmente los económicos.

Ante esta situación se orientó la investigación más por interés de mostrar en los cerros Orientales de Bogotá la afectación ambiental que se ha presentado por la explotación de materiales de cantera y el alto costo ambiental que se ha presentado por el desarrollo descontrolado de obras de infraestructura de obras civiles, por la falta de una política clara fundamentada, además de todos los problemas que estos implican por la ausencia de actitud política en un gran número de entidades que se ven involucradas en la toma de decisiones al respecto.

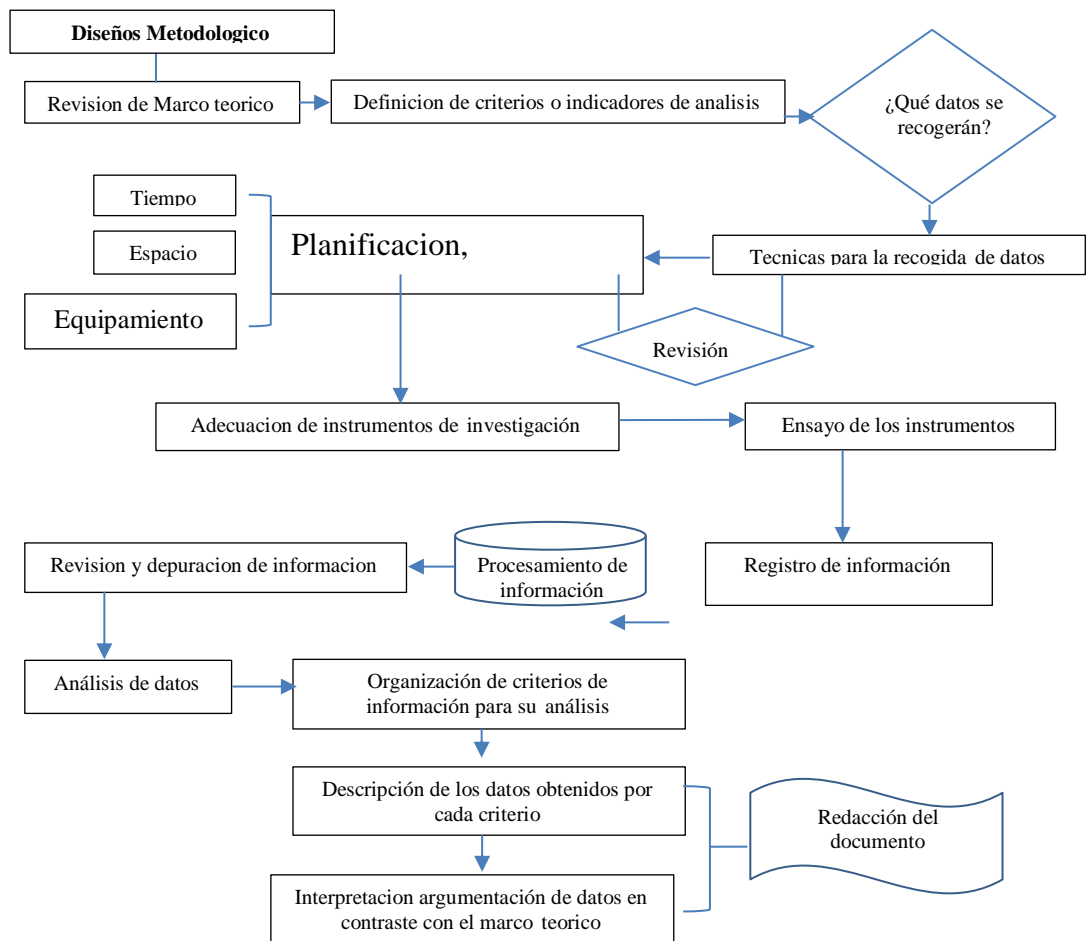
El enmarcar las canteras en áreas urbanas, las caracteriza por generar unos costos ambientales y sociales pero a su vez abre posibilidades que no se presentarían en otras zonas dadas la gran demanda de materiales tanto en volumen como en calidades en la ciudad de Bogotá. La explotación de una cantera, al contrario de lo que el común de la gente piensa, es una actividad compleja, si por explotación se entiende una explotación es racional e integral. Pero, ¿cuál es nuestro caso real?

Para responder al problema y los objetivos de la investigación, se empleó un enfoque metodológico cualitativo y cuantitativo, buscando contribuir a la comprensión de la problemática ambiental y la relación de la población con su medio; se recolectó inicialmente información bibliográfica existente de la zona como informes técnicos y científicos, artículos científicos, libros y presentaciones existentes en las bases de datos de la Secretaria Distrital de Ambiente, CAR como otras fuentes externas. El siguiente paso fue

realizar una salida de campo, donde se realizaron las observaciones directas de las actividades mineras en la Cantera El Cedro San Carlos. Posteriormente se efectuó un reconocimiento de los impactos presentados por este tipo de actividades

En la Figura 5 se presenta la estructuración metodológica de la investigación:

**Figura 5 Diseño Metodológico**



**Fuente: Autor**



### 8.1. Identificación de información

En la Tabla 2 se describe la situación de algunas canteras ubicadas al norte de la ciudad de Bogotá en el sector de Usaquén

**Tabla 2 Condiciones y características de algunas Canteras ubicadas en la localidad de Usaquén**

Nombre fuente	Localización	Acceso	descripción del material	Observaciones
Cantera El Bohío Promotora Reserva de la sierra	Carrera 7 calle 127	Al lado oriental 200m	Estrato de areniscas con intercalaciones de arcillolitas bloques, cantos y gravas areno arcillosas blanco amarillento	El volumen fue mayor a 1.000.000 m <sup>3</sup> . La fuente tenía unos 300m. De ancho y 100 m de alto en el frente de explotación fue explotada con buldozer y se obtenía recebo y piedra para construcción. No era recomendado por ser de carácter arcilloso el material De acuerdo por medio de la resolución 0501 del 16 de marzo de 2007 se efectuó su restauración minera
Corporación Inmobiliaria El Cedro S.A San Carlos	Carrera 7 Calle 153	Hacia el este se toma acceso en regular estado de 500 m. de longitud, con alta pendiente	Areniscas con intercalaciones de arcillolitas. El Material explotado tiene bloques 1.0 x 0.050 m (40%), cantos de 40 x 30m (20%) y gravas areno arcillosas color amarillo claro Volumen estimado: 1x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	La fuente se encuentra localizada en la parte oriental de la carrera 7 y tiene un frente de explotación de unos 100 m de alto y 400 m de largo aproximadamente. El material lo emplean como recebo y piedra media songa. El descapote es de uno 40 cm; el área este cubierta por Eucaliptos. La fuente fue explotada con buldozer retroexcavadora y cargador los bloques son partidos con almádena Recuperación para parte del a

Nombre fuente	Localización	Acceso	descripción del material	Observaciones
				empresa contratista Rex Ingeniería SAS.
Sorotama	Av. 7 Calle 166	De la Av. 7 se toma carreteable hacia el oriente y se avanza 2.200m. hasta donde termina la vía. En este lugar el Sendero gira hacia el sur bordeando el barrio Sorotama por su borde oriental y de este modo seguir hacia el sur ingresando a las canteras de servita y Santa Cecilia	Estratos de areniscas. Se obtienen arenas de grano fino a grueso color amarillo y blanco amarillento. Vol. estimado: $210 \times 10^3$	La fuente levantada pertenece al D.C. de Santafé de Bogotá.  El frente de explotación tiene 35 m. de altura y 150 m. de ancho aproximadamente. El descapote de capa vegetal es de unos 40 cm. En la zona aledaña existen varios sitios, donde aflora el mismo tipo de material, los cuales son explotados normalmente por particulares.
Cantera La Roca	Avenida 7 # 171-98	Se toma carreteable al lado derecho de la vía de 200 m. de longitud y en mal estado.	Estratos de areniscas friables. Bloques. Vol. estimado $>1200 \times 10^3 \text{ m}^3$	La fuente tiene varios frentes de explotación La altura de los frentes es de 30 m. Aproximadamente y el área ocupada por la fuente es bastante grande $600 \cdot 400 \text{ m}^2$ . El descapote es de unos 40 cm. Y hay pastos y arbustos principalmente. La fuente es explotada con dinamita,

Nombre fuente	Localización	Acceso	descripción del material	Observaciones
				triturada manualmente y con molino Emplean cargador para llenar volquetas. El material es similar al encontrado en las areneras "El Codito"
Buenavista	Av. 7 Calle 188	Hacia el oriente de la vía se torna carretera a la Calera se avanza 2.0 Km., luego aliado izquierda y se toma un carreteable de 300 m. de longitud. kilómetro dos de la vía al Guavio,	Estratos de areniscas friables arenas gruesas a finas de Color amarillo rojizo Volumen estimado $365 \times 10^3 \text{ m}^3$	La fuente tiene un frente de explotación de 200 m. de ancho y 35 m. de alto aprox. La fuente fue empleada para la obtención de arenas, Hay arenas de grano grueso a fino. producía 7.000 metros cúbicos de arena mensualmente en su momento El descapote era de 40 cm Cercana a estas fuentes hay varios frentes de explotación como la cantera "Las Aguilas" Cerrada
Cantera La Cabaña	K 8.2 a partir de la Caro hacia Bogotá (carretera central del norte)	Al lado izquierdo de la vía se toma carreteable de 50 m.	Estratos de areniscas muy fracturadas con intercalaciones muy arcillosas. El material extraído y rodado contenía bloques de más de 1 m (15%) y bloques de 30x30 cm (30%) y gravas areno arcillosas color amarillo Volumen estimado $100 \times 10^3 \text{ m}^3$	La fuente tiene un frente de explotación de unos 25 m. de alto y 50 m. de ancho; el patio tiene un área aprox. De 50 • 20 m. Debido a que se vino un derrumbe emplean la gravedad para explotar el material. El descapote es de unos 40 cm. Y consta de eucaliptos. El material está algo contaminado debido a que se ha derrumbado parte de la capa vegetal de la parte superior. Para utilizar el material como sub-base se debe posiblemente reducir su plasticidad. Si utilizando un procedimiento adecuado se logra reducir convenientemente la plasticidad al material, se podría asignar un mejor uso que el considerado, dado su bajo desgaste. Cerrada

En la Tabla 3 de acuerdo a la Secretaria Distrital de Ambiente, (2015) se obtiene la siguiente información:

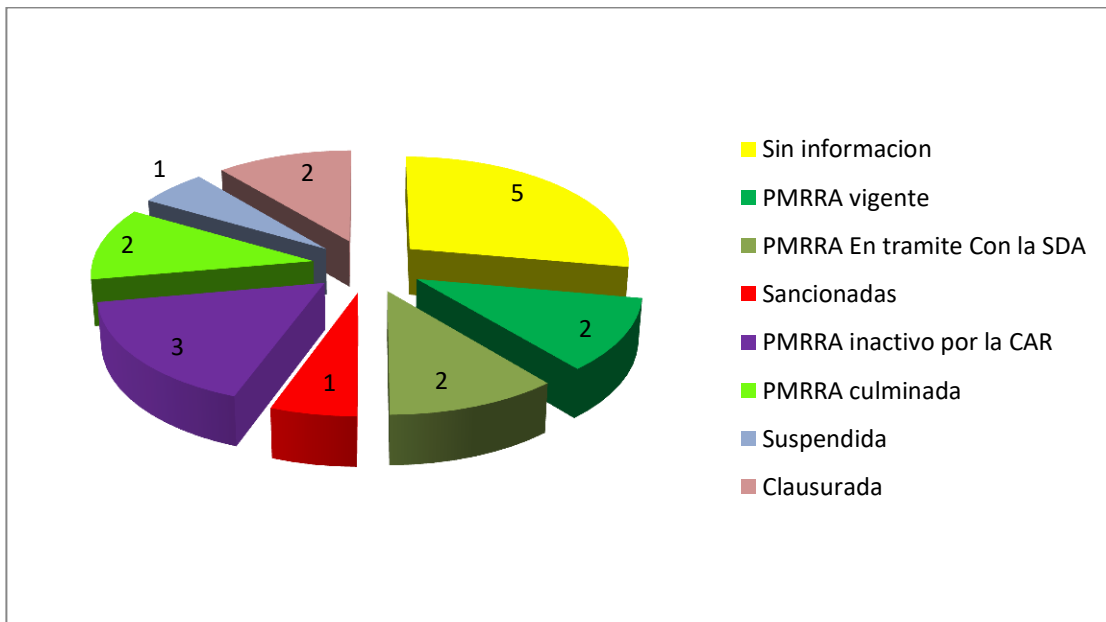
**Tabla 3 Condiciones de canteras ante la secretaria Distrital de Planeación**

NOMBRE DE LA CANTERA	AREATOTAL ZRMP (Ha)*	FRANJA DE ADECUACION(Ha)**	RFPBO (Ha)***	SUELO URBANO (Ha)****	OBSERVACIONES
CORPORACION INMOBILIARIA CERROS SAS	7,15	1,34	-	5,19	PMRRA/ SDA / VIGENTE / 17,5 Ha/ RESOLUCION No.00198 DEL 25 DE FEBRERO DE 2016
KADAS S.A	3,75	0,17	-	3,4	SUPENSION MEDIANTE EL AUTO No.3031 DEL 10 DE NOVIEMBRE DE 2008
CANTERAS LA LAJA Y EL MILAGRO	18,15	2,63	4,16	11,47	PMRRA/ SDA / VIGENTE / 8,3 ha / RESOLUCION No. 00702 4 DE MARZO DE 2014
BOCACOLINA S.A.	10,75	5,99	-	4,23	SUSPENDIDA
BOSQUES DEL MIRADOR	9,76		9,76		CLAUSURADA
CANTERA LA GLORIA Y ELCARMEN	N/A	N/A	N/A	N/A	PMRRA EN TRAMITE / CAR / INACTIVA
CANTERA LA ROCA	75,61	5,73	61,02	8,86	SIN INFORMACION
SANTA CECILIA KOMAUKO FRANJAS 1 2	34,09	12,84	16,03	4,84	PMRRA PROCESO DE TRASLADO A SDA POR EXPLOTACION EN ZONA URBANA
CERRO E IBIZA	10,94	1,49		9,5	SIN INFORMACION
EL BOHIO PROMOTORARESERVA DE LA SIERRA	13,51	0,71	8,47	3,89	SIN INFORMACION
LA ESPERANZA	2,08	1,16		0,95	CLAUSURADA
LA GUANICA	N/A	N/A	N/A	N/A	PMRRA CULMINO / CAR / INACTIVA 2012
LA MATUCANA	N/A	N/A	N/A	N/A	PMRRA EN TRAMITE//CAR/INACTIVA

NOMBRE DE LA CANTERA	AREATOTAL ZRMP (Ha)*	FRANJA DE ADECUACION(Ha)**	RFPBO (Ha)***	SUELO URBANO (Ha)****	OBSERVACIONES
MAJORCOL / MINA LA CABAÑA	N/A	N/A	N/A	N/A	PMRRA CULMINO / CAR /INACTIVA
SILICAL Y CALICANTO LTDA	52,47	15,4	28,48	8,49	PMRRA VIGENTE/CAR/INACTIVA
SANTA CECILIA FRANJAS 1 Y 2	5,33	1,91	3,39	0,03	SIN INFORMACION
SANTA CECILIA BAJA FRANJAS 1 2	5,3	1,4	3,86	0,05	SIN INFORMACION
SERVITA ASOCIADOS.	45,38	14,17	23,58	7,67	PMRRA EN PROCESO CON LA SDA PARA DEFINIR COMPENTENCIA

\* Corresponde a los polígonos identificados en el Decreto 364 de 2013 como Zona de Recuperación Morfológica y Paisajística. \*\* Corresponde la zona delimitada como Franja de Adecuación por la Resolución 463 de 2005 del Ministerio de Ambiente \*\*\* Corresponde a la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá de acuerdo a la Resolución 463 de 2005 del Ministerio de Ambiente \*\*\*\*Corresponde al suelo urbano definido en la Resolución 228 de 2015 de la Secretaria Distrital de Planeación Fuente: Secretaria Distrital de Planeación y Secretaria Distrital de Ambiente 2016

**Figura 6 Situación de las canteras en los Cerros orientales de Bogotá D.C ante la Secretaria de distrital de ambiente**



Actualmente algunas empresas tienen medida de suspensión de actividades ordenada por la Secretaría Distrital de ambiente (SDA), sin embargo, continúan llevando a cabo su actividad, basadas en permisos que la misma autoridad ambiental les ha otorgado sin el previo levantamiento de las medidas emitidas, lo que denota una falta de articulación interna en esa entidad.

Se encontró que en muchos casos la Secretaría de Ambiente demora más de dos años en la revisión y aprobación de los instrumentos de control ambiental. Mientras tanto, las empresas continúan desarrollando sus actividades deteriorando de manera progresiva el entorno y dejando costosos pasivos ambientales al Distrito.

Una vez aprobado el instrumento, existe una brecha elevada entre lo consignado en los Planes de Manejo Ambiental y la realidad “in situ” ya que las empresas no cumplen con la ejecución de las herramientas de control ambiental.

La mayoría de canteras son controladas por la Secretaría de Ambiente, pero otras, pese a estar en la ciudad, están bajo la jurisdicción del Ministerio de Ambiente y la CAR.

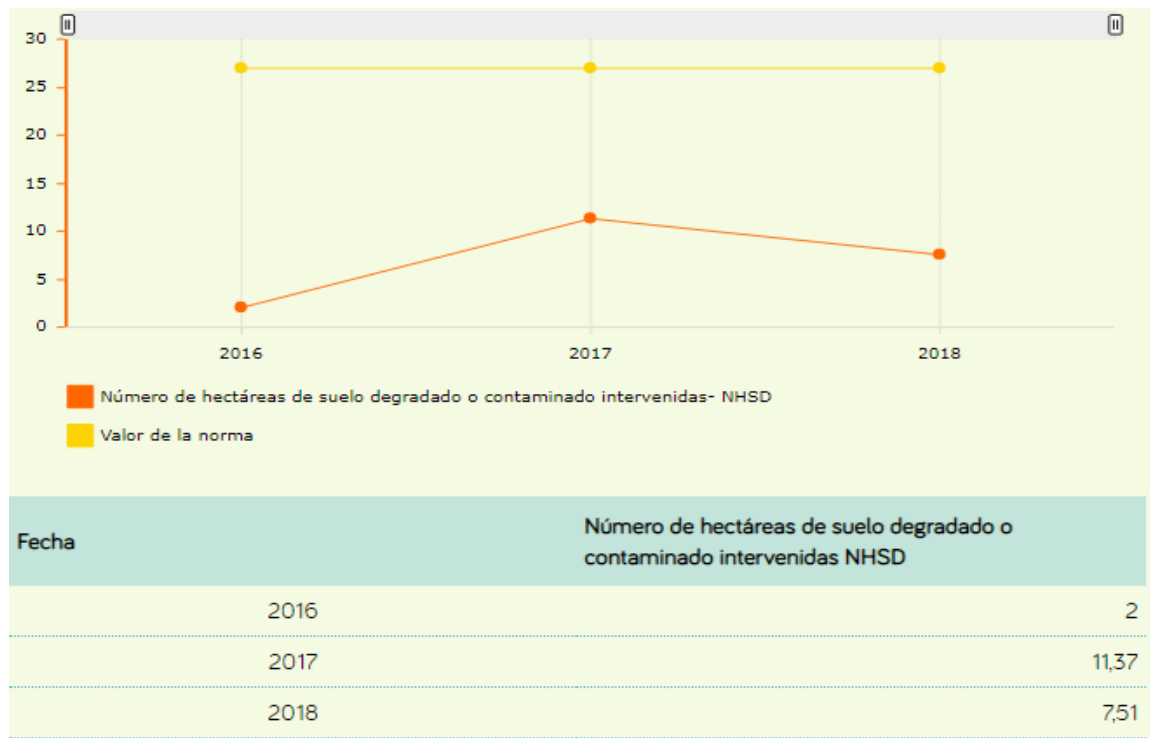
Las canteras en operación afectan los habitantes que viven en sus cercanías, por el alto grado de emisiones de partículas de polvo, combustibles tóxicos o inertes. Además, contaminan drenajes, causan pérdida de la diversidad biológica y la fauna de la Sabana de Bogotá, genera cambios en el suelo, deslizamientos, hundimientos y formación de pantanos con el consecuente riesgo para miles de viviendas y la proliferación de agentes patógenos, zancudos y ratas. No existe un plan para prevenir la amenaza por remoción en masa y las inundaciones causadas por la actividad minera. En otros casos, las canteras han sido utilizadas como escombreras sin ningún plan técnico ni ambiental, generando nuevas amenazas y riesgo para toda la comunidad. Entre los sectores que presentan afectación por riesgo de daños por remoción en masa se encuentran al norte de la ciudad son: Buena Vista, Balcones de Vista Hermosa, Mirador del Norte, Codito (Sector, 1, 2 y 3), Estrellita

1, Soratama, Santa Cecilia, Arauquita, Cerro Norte, Torca sector II cantera la cabaña, Villa Nidia y Delicias del Carmen. UPZ San Cristóbal, Los Cedros y Usaquén (CLGR-CC, 2017)

La Secretaría Distrital de Ambiente – SDA ha establecido la necesidad de realizar acciones de control propias de la Autoridad Ambiental que conlleven a la recuperación de espacios degradados y/o contaminados para su inclusión en el desarrollo urbanístico de la ciudad.

Ante esta necesidad (Figura 7) plantea como meta realizar seguimiento y/o control a las actividades de investigación, recuperación, restauración y/o remediación, desde las competencias de Control Ambiental, a 27 hectáreas de suelo degradado y/o contaminado en el Distrito Capital.

**Figura 7 Número de Hectáreas de suelo degradado o contaminado intervenido**



Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (SDA, 2018)

En la anterior figura se hace de acuerdo a la clasificación según lo establecida en la norma y al Estudio Nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia a continuación se presenta la siguiente clasificación (Minambiente,Ideam,UDCA, 2015):

**Muy severa ●:** Se evidencia pérdida total de los horizontes superficiales y pérdida parcial de los horizontes subsuperficiales del suelo. Se presenta cubrimiento continuo de una red de surcos y cárcavas muy profundas; las funciones y los servicios originales de los suelos como la fertilidad, la regulación y almacenamiento de agua, la biodiversidad, entre otros, están completamente destruidos y la vegetación es muy rala o nula. Su restauración es muy difícil, muy costosa y requiere mucho tiempo.

**Severa ●:** Los horizontes superficiales del suelo están completamente removidos y los horizontes subsuperficiales expuestos; el color del suelo es más claro debido a la pérdida del horizonte A y queda expuesto el horizonte B. Se observan con frecuencia surcos, calvas o terraceo y cárcavas con moderada frecuencia. La pérdida de suelo se estima en más de 75% de su espesor. Las funciones y los servicios ecosistémicos originales del suelo se encuentran ampliamente destruidos, la restauración es muy costosa y requiere mucho tiempo. La vegetación es rala.

**Moderada ●:** Se evidencia remoción de los horizontes superficiales del suelo y la capa superficial de suelo ha perdido espesor. Aparecen en la superficie distintos colores de suelo como producto de la pérdida del horizonte superficial y la exposición de horizontes subsuperficiales. Se aprecian manifestaciones de escurrimiento superficial, surcos, terraceo y pequeñas cárcavas. Se presenta pérdida considerable del horizonte A e incluso en sectores aparece el horizonte B o C. Las funciones y los servicios originales de los suelos se encuentran parcialmente destruidos y se requieren prácticas de conservación y restauración inmediatas; de lo contrario pueden pasar rápidamente a grado severo.

**Ligera ●:** Se presenta alguna evidencia de pérdida de suelo en los horizontes superficiales del suelo, por escurrimiento superficial. En varias ocasiones la capa de suelo se adelgaza uniformemente y la pérdida del suelo puede llegar hasta un 25 o 50% del horizonte A,



según su espesor. Las funciones y los servicios originales de los suelos comienzan a disminuir y se encuentran poco alterados. Se requiere iniciar o mantener las prácticas de conservación, restauración y manejo de suelos.

**Sin erosión●:** Sin procesos de degradación del suelo por erosión; también se expresa como "Sin evidencia".

**No suelo●:** Otras coberturas terrestres distintas al suelo, tales como zonas urbanas, cuerpos de agua y afloramientos rocosos.

## 8.2. Análisis de Datos

Para el manejo, recuperación y restauración ambiental de la Cantera El Cedro San Carlos (Imagen 1), debido a que esta fue objeto de explotación minera, por más de 40 años para abastecer las obras civiles en la ciudad de Bogotá, y dado al crecimiento en la ciudad esta cantera ya no opera como suministro de arena a través de la resolución 7772 del 22 de diciembre de 2010 se consideró la licencia para la recuperación y rehabilitación del cerro el cual causó impactos de carácter ambiental, posteriormente mediante la resolución 198 del 25 de febrero de 2016 se renovó el permiso por lo cual se encuentra en 3 etapas de desarrollo ejecución actividades que comenzaron desde agosto del 2013 y se tiene estimado su culminación para julio del 2019.

A la fecha, se han adelantado labores de geotecnia para recuperar la estabilidad del terreno; en donde se han conformado 7 terrazas para un total de 18 que se deben entregar recuperadas y revegetalizadas.

Dentro del plan de recuperación se han sembrado 330 especies nativas, entre las cuales se presentan: Chicalá, Hayuelo, Mortiño, Ciro, Laurel, El Tibar, Cedro y se ha cubierto con césped para un total aproximado de 33.000 metros cuadrados

Debido a inconvenientes presentados por condiciones climáticas se han presentado retrasos en el cronograma de las actividades de revegetalización por lo cual se prevé una prórroga al plazo establecido del Plan de Manejo. Una vez se finalice la recuperación y la

revegetalización, es importante que se respete la franja de protección ambiental y la franja de adecuación,

De acuerdo a las medidas que se adoptan para mitigar el impacto ambiental en las áreas intervenidas y atenuar cualquier tipo de afectación en el ambiente se tienen las siguientes condiciones:

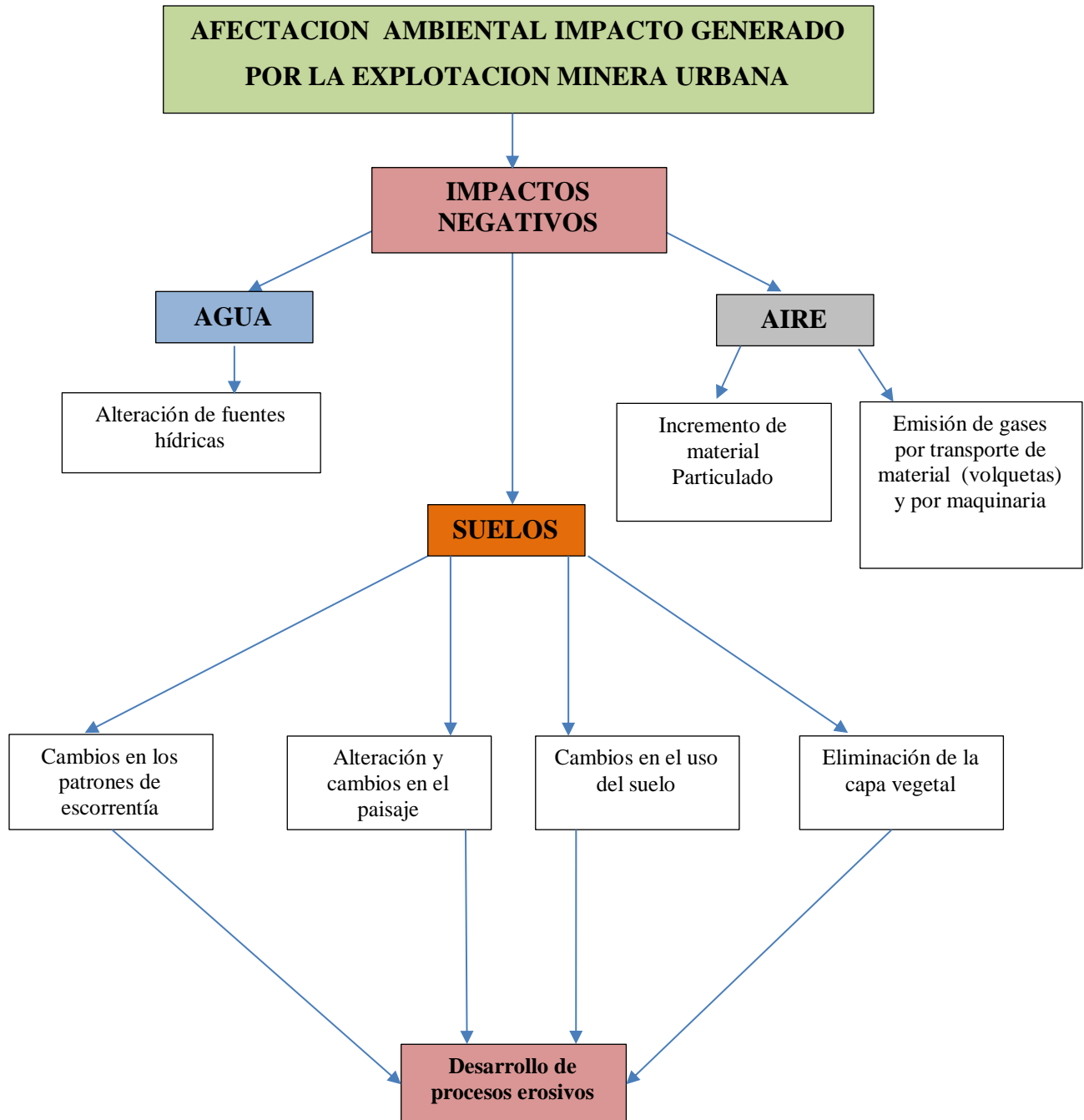
- Reducción del ruido: se adecúan unas barreras de mitigación para aislar los motores de la maquinaria
- Para preservar el agua que llega al Canal El Cedro fuente hídrica de paso en las zonas intervenidas se cuentan con 6 piscinas de sedimentación para retener los finos o la arena del territorio.
- Para reducir el material particulado se cuenta con un sistema de aspersión de agua en las vías y en la maquinaria las cual procesa el material

Adicionalmente se puede apreciar en la (Figura 8) un diagrama de impactos establecidos por la explotación minera



**Imagen 1 Cantera El Cedro de San Carlos**

**Figura 8 Diagrama de impactos ambientales**



Fuente: Autor

### **8.2.1. Adecuación morfológica y estabilización geotécnica**

Se debe dar prioridad a taludes y bermas finales, con obras de control hídrico definitivo y actividades de Revegetalización de los mismos, para todas las etapas de recuperación de la zona en procesos de restauración. Para ello es importante dar continuidad a los diseños proyectando una adecuación del terreno, generando condiciones geotécnicas seguras para las comunidades cercanas (imagen 2). Adicionalmente es importante generar un diseño morfológico final, que sea armónico con el paisaje y los usos del área en donde se debe plantear y proyectar la recuperación morfológica teniendo como base el paisaje local y el uso futuro de los suelos. Por último se realizar la reforestación de las áreas conformadas de manera inmediata una vez se finalicen las actividades de conformación morfológica.



**Imagen 2 Adecuación morfológica estabilización de taludes y bermas**

- **Diseño:** Se debe establecer el desarrollo del proyecto a partir de las cotas superiores, por medio del método de bancos descendentes, iniciando en la cota 2800 y finalizando en la cota 2620, la cual se desarrolla durante la etapa 3. Se proyecta un diseño de bancos menor a  $60^\circ$  dejando como promedio  $50^\circ$ , 10 metros de altura y 10 metros de berma. El seguimiento y monitoreo de estabilidad geotécnica, se realiza mediante los siguientes elementos:
  - Instalación de mojones
  - Instalación de un piezómetro
  - Instalación de dos inclinómetros

### 8.2.2. Descripción desarrollo de las etapas:

**Etapa 1:** Se contempla entre las cotas 2800 hasta la cota 2710. Es importante continuar eliminando el sobre peso que se encuentra en las cotas altas, el cual presenta volumen inestable, que se ubica al costado este de la cantera. Por lo cual se conformarán 10 bancos; con un ángulo menor a  $60^\circ$ , 10 m de altura y 10 m de berma; con una longitud promedio de 256 metros lineales. Se tiene contemplado remover un volumen de 296.315 m<sup>3</sup>, en un periodo de 12 meses. Una vez se finalice cada banco se dará inicio de manera inmediata al programa de siembra y revegetalización de estos taludes definitivos.

**Etapa 2:** La etapa 2 se encuentra proyectada entre las cotas 2710 a la cota 2670. Se conservará los parámetros de diseño; es decir, ángulos menores a  $60^\circ$ , alturas y bermas de 10 m, con una longitud promedio de 428 metros lineales. Se continuarán adecuando las terrazas en sentido sur-norte y de forma descendente. En esta etapa se extraerán 225.198 m<sup>3</sup>. Se requiere un periodo de 12 meses. Al finalizar la reconformación de cada banco se da inicio al proceso de siembra y empradización

**Etapa 3:** Se mantiene la adecuación de norte a sur a partir de la cota 2670 hasta la cota 2620 (nivel del patio) con la conformación de 5 bancos descendentes y manteniendo los parámetros de diseño: ángulos menores a  $60^\circ$ , alturas y bermas de 10 m, con una longitud promedio de 439 metros lineales. En esta etapa se extraerán 196.332 m<sup>3</sup>. Se requiere de 12 meses para la ejecución de esta etapa, una vez finalizada se da inicio a la ejecución de labores de empradizado y revegetalización. La conformación morfológica del terreno se prevé, la restauración de acuerdo con el uso futuro determinado en el Plan de Ordenamiento territorial de Bogotá.



**Imagen 3** Afectación terrazas por recuperar

### 8.2.3. Obras Complementarias

- Pernos de anclaje: Una vez realizados los análisis y seguimiento a los instrumentos de control, se mantienen los diseños planteados para la instalación de pernos de anclaje.
- Obras de Bioingeniería: De acuerdo a lo observado se plantea la protección de los taludes mediante revegetalización con cobertura vegetal (siembra especial natural), a pesar de dicha recuperación no se contempla la recuperación con biomantos ya que el presupuesto establecido no fue aprobado por parte de la secretaria distrital de ambiente.

- Control y monitoreo geotécnico: De acuerdo a esto mientras no se elimine la zona de grietas (imagen 4), es conveniente implementar un monitoreo permanente de las mismas, haciendo mediciones semanalmente, o inmediatamente después de una lluvia torrencial, o sismo. Adicionalmente es importante efectuar un monitoreo permanente sobre los taludes conformados y los actuales, con el levantamiento de diaclasas para verificar las condiciones y de requerirse, por lo cual se tomarán muestras para ensayarlas en laboratorio (Cortes Directos); y si es necesario implementar obras adicionales de control geotécnico.
- De manera secuencial a los procesos de conformación morfológica es conveniente realizar la instalación de instrumentos de control geotécnico en los cuales se incluyen, dos mojones de seguimiento topográfico por cada banco, 2 inclinómetros y 1 piezómetro para el área del proyecto.
- Es importantes realizar campañas de monitoreo de los instrumentos de control geotécnico de manera mensual.
- Construcción estructura tipo jarillón: Se propone la construcción de estructuras tipo jarillón sobre las terrazas inferiores que se proyectan adecuar en la cantera, y sus dimensiones corresponde a una sección tipo trapezoidal de 5,5 m de base inferior, 0,5 m de base superior y 2,5 m de altura con un ángulo de 45°.
- Control sobre las aguas de infiltración en los taludes Es importante realizar monitoreos permanentes de la condición de agua subterránea en los taludes.



**Imagen 4 Presencia de Socavación por inestabilidad en los taludes de corte**

#### **8.2.4. Manejo de aguas de escorrentía y de control de erosión.**

Es importante contemplar la ubicación de los canales de coronación, reforzar las medidas de manejo de los canales perimetrales, sedimentadores, desarenadores y disipadores de energía. Es importante diseñar obras para el control de erosión y evitar la contaminación de fuentes de agua y suelo.

Tecnologías a Utilizar:

##### **a) Diseño Obras de drenaje**

Canales máximos y cunetas la función de estas obras son:

Reducir el área expuesta a la acción de las aguas de escorrentía en los taludes para complementar la resistencia a la erosión aportada por la vegetación.

Impedir las acumulaciones de agua en zonas con instalaciones y proteger los sectores más bajos frente a la deposición de sedimentos.

Evitar el paso de las aguas de escorrentía a áreas fuertemente erosionadas o en operación, y evacuarlas rápidamente conduciéndolas de forma adecuada a los drenajes naturales de la zona.



Evitar la contaminación de los cuerpos de agua por sólidos suspendidos.

Siempre que sea posible, es conveniente llegar al 1% de pendiente.

- b) Canal de coronación: El objetivo del canal de coronación es recoger las aguas de escorrentía provenientes de la parte alta del cerro, con el fin de evitar la contaminación de éstas al ingresar al predio, y reducir el riesgo de erosión hídrica en los bancos de reconformación. Por ende, se ejecutará la construcción de un canal de coronación en la cota 2.800 m.s.n.m con una longitud de 81 m., para la recolección ordenada de las aguas lluvias, las cuales serán conducidas a las cunetas construidas en las cotas inferiores. Actualmente, esta cuneta se encuentra instalada. En la tabla 4 se relacionan las zanjas de coronación propuestas.

**Tabla 4 Diseño de las zanjas de coronación perimetrales a proponer**

Longitud	Dimensiones	Pendiente	Espesor	Tipo de revestimiento
Canal de coronación 81 m	B= 1,2m H=0,4 M B=0,5 $\phi=60^\circ$	30%	35	Concreto
Canal Perimetral en la vía: 1238m	B= 1,2m H=0,4 M B=0,5 $\phi=60^\circ$	14%	35	Concreto
Canal Perimetral en la vía: 251	B= 1,2m H=0,4 M B = 0,5 $\phi=60$	14%	35	Concreto
Canal Perimetral en la vía: 197	B= 1,2m H=0,4 M B= 0,5 $\phi=60^\circ$	10%	35	Concreto

Nota: b = base menor, H = profundidad,  $\phi$  = Angulo de las paredes con la horizontal y

B = base mayor

- c) **Canales perimetrales en vía:** Se cuenta con una zanja o cuneta perimetral a lo largo de la vía que accede a las diferentes terrazas, cuyo objetivo es la recolección de las aguas provenientes de cada terraza y conducir las hacia los diferentes sedimentadores, posteriormente al sistema de alcantarillado, con el objeto de evitar que las aguas de escorrentía en periodos lluviosos drenen por el área en operación, y de esta manera facilitar las labores generales de adecuación morfológica.
- d) **Canal perimetral:** Actualmente se cuenta con canales perimetrales en dos sitios del predio, el primero hacia el costado sureste, el cual recoge las aguas de los niveles 2.780 a 2.750 m.s.n.m. y las dirige hacia la vía que accede a las diferentes terrazas. El otro canal perimetral se encuentra ubicado en el costado norte del nivel 2.720 m.s.n.m., y recibe el agua de la vía que atraviesa los bancos, dirigiéndolas hacia el drenaje ubicado al norte del predio, posterior al paso de un sedimentador, donde se realiza la recuperación de los finos o sedimentos.
- e) **Canal en vía:** todas las aguas, que llegan a la parte baja del predio, son recogidas por un canal en vía de 197 m de longitud, el cual las dirige hacia el canal de coronación y zanjas perimetrales a construir en el predio El Cedro – San Carlos.
- f) **Cunetas en berma:** Para el manejo de aguas en los bancos, se propone la construcción de cunetas al interior de las bermas, drenando hacia las zanjas perimetrales. Las dimensiones de estas cunetas se han tomado con base en lo recomendado por las guías mineras ambientales para este tipo de actividades. Se propone impermeabilización con suelo cemento, mortero pobre o geomembrana. Con el fin de realizar un óptimo manejo de las aguas de escorrentía se tiene en cuenta la longitud del banco (ubicado según cota), con la dirección de la escorrentía natural; es por esta razón que a partir de la cota 2740 se proyectan dos longitudes para la construcción de las cunetas. Parte de las aguas recogidas serán llevadas hacia el drenaje ubicado al norte, y la otra parte

hacia una caja colectora del sistema de alcantarillado de la carrera 6. Las dimensiones de esta zanja serán las mismas que las diseñadas en el canal de coronación (Tabla 5).

- g) **Protección de desagües o disipadores de energía:** En los puntos de descarga de los distintos tipos de canalización se emplean protecciones, con la doble finalidad de disipar la energía del agua y evitar la erosión de las zonas entre los desagües y canales de aguas abajo. Las paredes y fondos de estos canales serán cubiertas en concreto. Se construirán estructuras de disipación en las zonas de mayor pendiente, las cuales tendrán escalones que funcionan a manera de disipadores de energía, estas conducirán parte las aguas que vienen de las cunetas en berma hacia las partes más bajas donde las aguas llegarán a estructuras sedimentadoras. Actualmente dentro del área del proyecto se cuenta con dos estructuras.

**Tabla 5 Obras Hidráulicas Cunetas en berma a proponer**

ETAPA 1		ETAPA 2		ETAPA 3	
Cota	Longitudinal (ml)	Cota	Longitudinal (ml)		Longitudinal (ml)
2790	101	2700	425	2660	485
2780	103	2690	480	2650	486
2770	140	2680	411	2640	422
2760	218	2670	396	2630	431
2750	346				
2740	461				
2730	352				
2720	377				
2710	383				

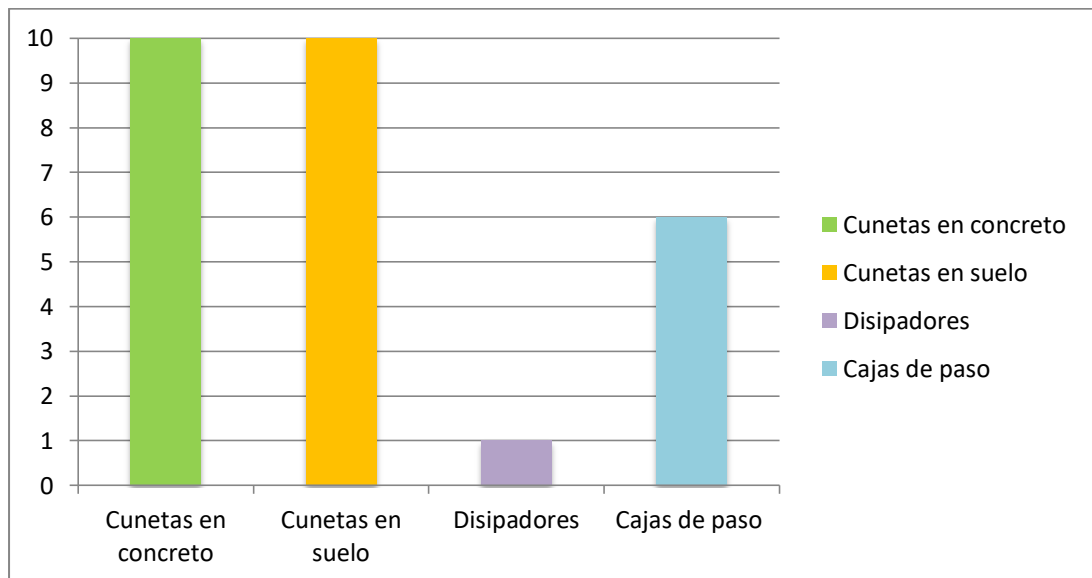
**Tabla 6 Manejo de obras de Drenaje escorrentía elaboradas hasta el 2018**

No.	Obras	Tipo	Material	Longitud Cantidad
1	Cuneta de coronación en concreto cota 2840	Cuneta	Concreto	324
2	Banco 1 Cota 2830	Cuneta	Concreto	60
3	Banco 2 Cota 2820	Cuneta	Concreto	67
4	Banco 3 Cota 2810	Cuneta	Concreto	73
5	Banco 4 Cota 2800	Cuneta	Concreto	200
6	Banco 5 Cota 2790	Cuneta	Concreto	189
7	Banco 6 Cota 2780	Cuneta	Concreto	200
8	Banco 7 Cota 2770	Cuneta	Suelo	209
9	Banco 8 Cota 2760	Cuneta	Suelo	208
10	Banco 9 Cota 2750	Cuneta	Suelo	211
11	Banco 10 Cota 2740	Cuneta	Suelo	215
12	Banco 11 Cota 2730	Cuneta	Suelo	207
13	Banco 12 Cota 2720	Cuneta	Suelo	209
14	Banco 13 Cota 2710	Cuneta	Suelo	190
15	Cuneta perimetral Bancos superiores	Cuneta	Concreto	271
16	Disipadores de energía cotas superiores	Disipador	Concreto	67
17	Cuneta perimetral cotas intermedios	Cuneta	suelo	1074
18	Cunetas patios de maniobras	Cuneta	concreto	50
19	Cunetas sector sur	Cuneta	concreto	89
20	Cunetas sector norte	Cuneta	suelo	200
21	Patios de mezclas	Cuneta	suelo	48
22	cajas de paso	Cajas	Concreto	6

ml  
cunetas      **4361**

**Tabla 7 Cantidad de obras de escorrentía elaboradas al 2018**

Obras de escorrentía	Número de obras
Cunetas en concreto	10
Cunetas en suelo	10
Disipadores	1
Cajas de paso	6

**Grafico 1 Avance en las obras de escorrentía**



**Imagen 5 Cunetas de coronación en concreto**



**Imagen 6 Disipadores de energía**

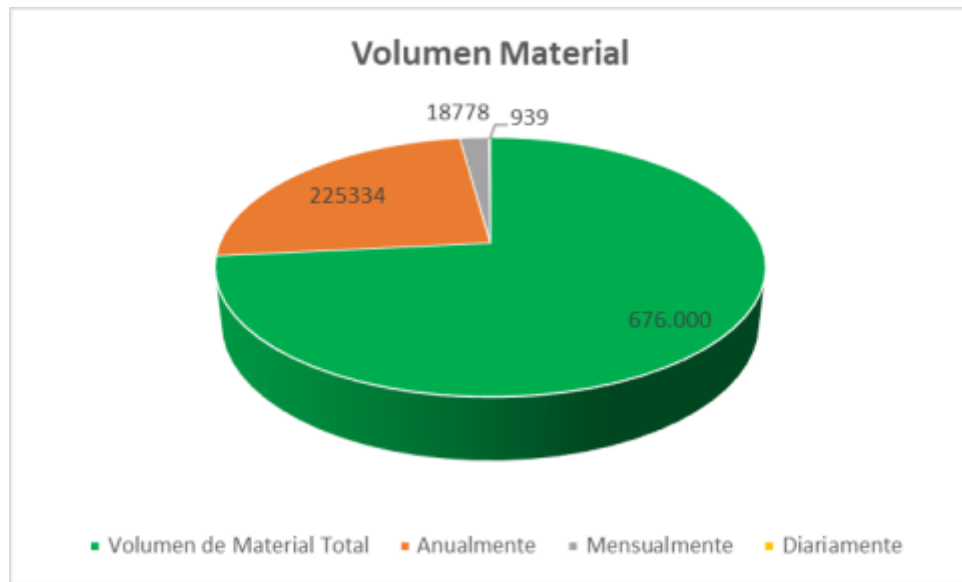
### **8.2.5. Movimiento de tierras y materiales.**

El movimiento de tierras y materiales se realiza con el fin de generar los bancos planteados y permite minimizar la carga que se tienen en las cotas superiores, generando estabilidad en los terrenos, manejar el agrietamiento y posibles desplazamientos de que se presenten en la zona del proyecto (Tabla 6 y Grafico 1). La adecuación morfológica permite adaptar el terreno manejando las condiciones topográficas, para que estas se integren y se adapten al paisaje local y regional; generando durante su desarrollo condiciones de estabilidad y seguridad, tanto para el personal que labora en el proyecto como a la comunidad cercana. La implementación de las obras de recuperación requiere movimientos de tierra para la conformación de taludes los cuales garantizaran la estabilidad del área.

**Tabla 8 Movimiento de tierras Volumen Total de Material promedio**

Volumen de Material Total	Anualmente	Mensualmente	Diariamente
676.000 m <sup>3</sup>	225.334 m <sup>3</sup>	18.778 m <sup>3</sup>	939 m <sup>3</sup>

**Grafico 2 Distribución de material calculado en la cantera**



El material removido se dividirá en tres categorías: material bruto, material triturado y material seleccionado para luego ser transportado, de acuerdo con las características de los materiales, no se prevé la generación de ningún tipo estéril. El destino que se le dará a dicho material será para la comercialización, aprovechando el auge de las diferentes obras de adecuación de la malla vial y construcción en Bogotá.

### 8.2.6. Revegetalización

Dentro del plan de la recuperación y restauración Ambiental de la cantera (Imagen 6) con el fin de lograr la prevención de movimientos en masa, se contempló la construcción de

terrazas, por lo cual se desarrolló trabajos de revegetalización del cerro y el manejo de aguas se efectuó mediante la utilización de un circuito interconectado de zanjas, y cunetas de coronación. Actualmente, el plan de recuperación tiene un avance del 50 por ciento. De 18 terrazas que debe tener el cerro, ya siete están construidas y cuatro de ellas reforestadas.



**Imagen 7 Revegetalización actual de la cantera**  
**Fuente: (Recuperado Secretaria Distrital de Ambiente 2018)**



**Imagen 8 Conformación de bermas de los taludes**



Las terrazas son de 10 metros de alto por 10 de ancho. En ellas, por cada 2,5 metros se está sembrando una especie nativa, haciendo énfasis en que las especies en la actualidad que subsisten en el cerro son invasoras.

Una de las principales dificultades, presentadas en la cantera, es que para la construcción de las terrazas se tiene que estabilizar el terreno, ya que este presenta algunas fallas geológicas. De ahí es que surge la necesidad de extraer 1'500.000 toneladas de tierra y piedra, de las cuales 600.000 ya han sido removidas para evitar derrumbes en la zona.

Los trabajos de revegetalización son un procedimiento que se aplican a las actividades necesarias para la implantación de capa vegetal en zonas intervenidas con cortes o rellenos, en especial sobre los taludes y terrazas generadas durante la ejecución de cortes y explotaciones de material, el cual garantice la recuperación de la capa vegetal y reduzca las pérdidas de suelos en las áreas intervenidas, utilizando materiales vegetales o mediante el uso e instalación de sistemas para control de erosión que faciliten el establecimiento de la vegetación natural.

Para ello en los procesos de revegetalización de la cantera se debe tener en cuenta que inicialmente será un proceso de reconfiguración de bancos el cual tendrá una duración de 12 meses, al finalizar y con los bancos definitivos de cada etapa, se dará inicio a las actividades de revegetalización. Para facilitar la recuperación de las áreas afectadas se emplea la reutilización de la capa superficial de suelo removida y esta es almacenada con anterioridad, por lo cual se debe establecer una cubierta vegetal mediante la siembra de gramíneas o leguminosa rastrera de rápido crecimiento dentro de las actividades desarrolladas se presenta las siguientes acciones:

1. Incorporación de sucesiones vegetales
2. Técnicas silviculturales
  - a. Adecuación del terreno
  - b. Trazado y estacado
  - c. Ahoyado

- d. Fertilización
- e. Época de plantación
- f. Siembra
- g. Tutorado
- h. Plateo
- i. Replante
- j. Mantenimiento
- k. Selección de especies

Teniendo en cuenta lo anterior inicialmente desde que se inició la intervención en esta zona no se hizo un inventario forestal para el proceso de restauración, por lo cual se deforestaron al menos unas cuatro hectáreas más en el cerro, que hubiese tenido en su momento un gran variedad de especies forestales y hasta el momento se está empezando a reforestar con algunas pocas especies forestales, algunas nativas, además de esto es preocupante ya que se han introducido césped en la montaña y, teniendo en cuenta que esta especie es invasiva, pone en riesgo el ecosistema de los cerros orientales. Por el momento el plan de restauración ha ido avanzando, pero muy lentamente, el cual ha dificultado en el cumplimiento en los plazos establecidos, pero la explotación minera, la explotación del material y la comercialización de este continúa hasta el día de hoy (Imágenes 9 y 10).



**Imagen 9 Trituradora de material**



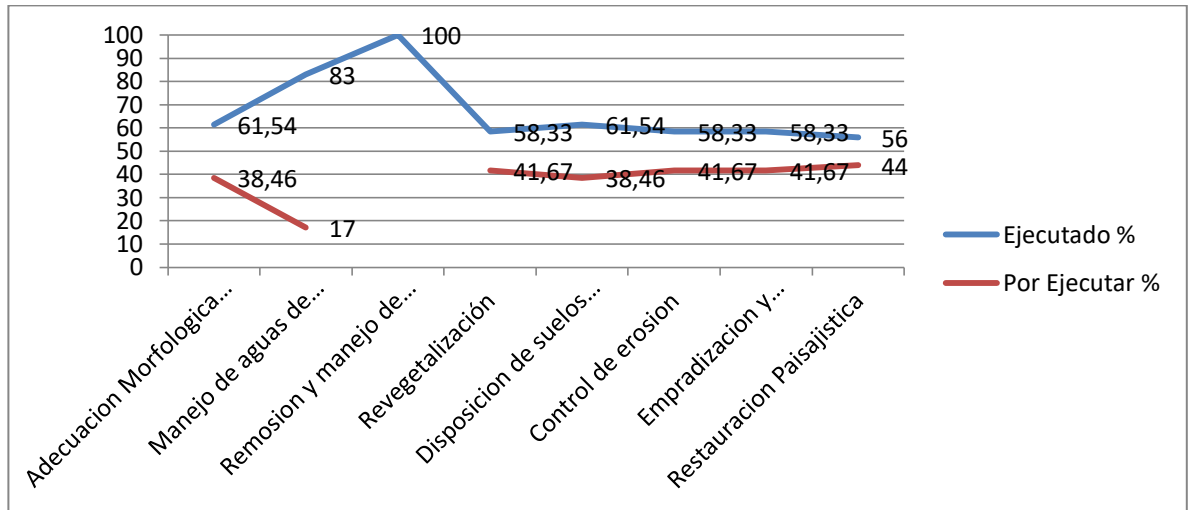
**Imagen 10 Explotación de material**

Se estima para el mes de julio de 2019, Se debe contar con un avance de lo programado vs lo ejecutado, entre el 60 y el 70%, en este escenario y basados en los avances, se estima que el tiempo requerido para dar finalización al PMRRA de manera óptima seria aproximadamente de tres años más a los ya otorgados (Tabla 9 y Grafico 3)

**Tabla 9 Estado general actividades de recuperación en la Cantera al 2018**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>Ejecutado %</b>	<b>Por Ejecutar %</b>
Adecuación Morfológica estabilidad Geotécnica	61,54	38,46
Manejo de aguas de escorrentía	83	17
Remoción y manejo de cobertura vegetal	100	
Revegetalización	58,33	41,67
Disposición de suelos orgánicos sobre terrazas conformadas	61,54	38,46
Control de erosión	58,33	41,67
Empradizarían y reforestación	58,33	41,67
Restauración Paisajística	56	44

**Grafico 3 Nivel de avance de las actividades hasta la recuperación total**



### 8.2.7. Ventajas de la bioingeniería comparadas con las estructuras de ingeniería civil.

La bioingeniería ha demostrado ser eficaz para controlar la erosión del suelo y los movimientos superficiales del subsuelo. Una estructura de bioingeniería es a menudo más eficaz con relación al costo que una estructura inerte por sí sola, debido a que:

- Si se establece y maneja bien, la vegetación tiende a fortalecerse con el tiempo, mientras que una estructura inerte se va debilitando con el tiempo, lo que hace que la bioingeniería tenga una mayor atracción.
- La bioingeniería utiliza materiales locales como vegetación y rocas; no depende de insumos importados ni de gastos en divisas.
- La bioingeniería es compatible con el medio ambiente.
- En áreas donde el paisaje tiene un alto valor escénico, visualmente es más aceptable que las estructuras de concreto.
- La bioingeniería requiere el uso de mano de obra intensiva por consiguiente, ofrece oportunidades de empleo estacional a las comunidades locales y a los pequeños contratistas con conocimientos de agricultura y construcción rural.

- Muchas de las especies que se utilizan en la bioingeniería pueden beneficiar a las comunidades locales al proveerlas de leña, forraje, fruta y materiales para fabricar artesanías.

### 8.2.8. ¿Y cuáles son sus desventajas?

A continuación en la (Tabla 7) se hace un comparativo de métodos usados para el control de erosión y estabilización de taludes ventajas y desventajas del uso de bioingeniería (mediante uso de vegetación y sistemas de apoyo) en comparación del uso tradicional (mediante uso de proyección de hormigón y otras estructuras de refuerzo).

**Tabla 10 Ventajas y Desventajas**

TECNICAS DE BIOINGENIERA		INGENIERIA TRADICIONAL	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Restaura funciones ecológicas y biológicas	No válidas para todas las situaciones de seguridad y consolidación	Funcionan bien independencia del sitio	Impactan negativamente sobre el ecosistema solo persigue estabilidad física
Los costos de implementación son bajos	Alcanza su estado óptimo en el largo plazo	Resultan mejor en el corto plazo	Los costos son generalmente altos
Presentan estabilidad creciente en la medida que la vegetación se desarrolla	El momento de la aplicación esta sujetas a épocas concretas del año	Su ejecución no se ve afectada por la época del año	Pierden su eficacia a lo largo del tiempo pues no se auto regeneran
Provocan excelente integración estética y paisajística	El grado de estabilización inicial no es alto	Son sistemas estables desde el inicio	Son elementos extraños del entorno del paisaje

Fuente: Ventajas y desventajas en procesos aplicados en Bioingeniería Autor

### 8.2.9. Resultados de la bioingeniería.

Por ser una tecnología diferente y más económica que las prácticas de ingeniería convencionales. Trabaja muy bien en forma independiente o combinada con las estructuras clásicas, ofreciendo alternativas para control de erosión, estabilización de suelos y recuperación de fuentes de agua.

Los suelos siempre están en proceso de cambio y movimiento, contrario a las estructuras rígidas y estáticas que tradicionalmente se construyen. Al ser un sistema dinámico y flexible, permite al terreno acomodarse a su estado natural, recobrando su estabilidad y capacidad de mantenerse por sí mismo, y este es el fundamento básico de la Bioingeniería de suelos.

Su utilización es muy genérica: taludes y protección de obras en vías, depósitos de tierra; riberas y bancos de ríos y quebradas; represas, zonas mineras y canteras; fuentes de agua y humedales.

En la Bioingeniería de suelos, la tecnología del pasto vetiver ha sido muy difundida y utilizada en el mundo y la que mejores resultados ha obtenido como práctica ambiental.

Esto prueba que el resultado de las obras, es excelente, soportan los periodos invernales funcionan correctamente; se tiene una muy buena aceptación de la “Bioingeniería” como alternativa ambientalmente amigable y económicamente viable, pues son soluciones integrales, sistémicas, de tipo preventivo y amigables con el medio ambiente, ante la presencia de problemas de erosión

Se hace necesario, entonces, tomar conciencia y crear una cultura con respecto al manejo y protección de Obras Civiles, corrientes de aguas y campos de cultivos.

### **8.2.10. Problemas ante la falta de implementación de obras de bioingeniería.**

La situación social y política de Colombia durante los últimos años, la inequidad, la pobreza, los enfrentamientos armados y el narcotráfico, así como las debilidades de sus sistemas de educación, de investigación y desarrollo tecnológico han dificultado extraordinariamente el manejo adecuado de los suelos, trayendo consigo procesos de degradación que han afectado gravemente los suelos del país, incluso aquellos con alta resiliencia. Entre estos procesos se destacan los daños originados por la erosión de las laderas, la desaparición de la cobertura arbórea, la persistencia de prácticas inadecuadas de labranza del suelo, el sellamiento de suelos con vocación agropecuaria causado por la expansión urbana, y la contaminación originada por el uso inadecuado de agroquímicos y otras sustancias provenientes de la industria o minería.

El suelo como componente del ambiente ha sido tema de regulaciones que responden a las múltiples visiones que sobre él se tienen; así se han expedido normas sobre el suelo asociadas a su uso (agropecuario, minero, vivienda, infraestructura o como un bien a ser conservado y protegido, entre otros). No obstante, se han identificado las siguientes problemáticas con respecto a las normas ambientales que abordan el tema del suelo las cuales son:

- a. Inexistencia de una percepción o definición del suelo unificada y general, que permita desarrollar reglamentaciones a partir de criterios generales ajustados a los principios y fines del Estado.
- b. Coexistencia de organizaciones que de manera directa o indirecta administran el territorio.
- c. Debilidades en la armonización de las normas existentes y posibilidades de colisión de competencias.
- d. Dificultad en la aplicación de las normas para la gestión del suelo.

De otro lado, es necesario promover el conocimiento, educación, capacitación y sensibilización, acerca de la importancia del suelo, sus funciones y servicios ecosistémicos, debido a que, la carencia de dicho conocimiento es una de las causas más relevantes de su degradación.

De acuerdo con lo anterior, se requiere una política que promueva la gestión integral ambiental del suelo en Colombia, en un contexto en el que confluyan la conservación de la biodiversidad, el agua y el aire, el ordenamiento del territorio y la gestión de riesgo, contribuyendo al desarrollo sostenible y al mejoramiento de la calidad de vida y que facilite complementar, actualizar y articular acciones de distintas políticas públicas sectoriales que ya se han venido implementando.

La necesidad de esta política se establece en la Constitución Política de Colombia cuando plantea la exigencia de deberes encaminados a asegurar la preservación y conservación del ambiente en general, y de sus elementos en particular (entre ellos el suelo), deberes que se encuentran en cabeza del estado y de los particulares.

#### **8.2.11. Limitaciones en las obras de bioingeniería.**

Aunque estas técnicas ofrecen una variedad de posibilidades, tienen asimismo una serie de limitaciones que condicionan su ejecución:

- Estacionalidad: los trabajos deben realizarse cuando el material vegetal se encuentra en un estadio vegetativo adecuado y cuando las características climáticas locales son favorables al adecuado enraizamiento de la vegetación. También depende de las temporadas cuando escasean las lluvias es conveniente utilizar técnicas de hidrosiembras para mejorar los prendimientos.

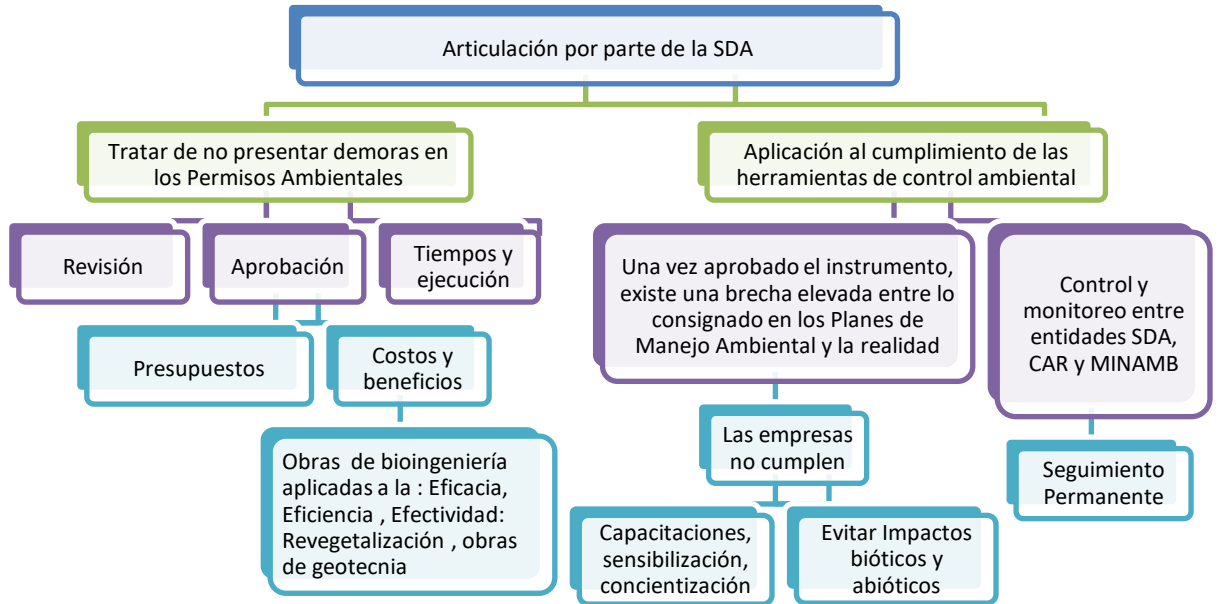


- **Mantenimiento:** al no ser las intervenciones de efecto inmediato, se deben realizar controles y un mantenimiento tras la realización: entresacas, resiembras, sustitución de plantas, abonados, podas, etc.
- **Personal capacitado:** dado que son técnicas recientes y que deben emplearse simultáneamente a otras técnicas de construcción, una limitación importante lo constituye la falta de personal formado en la ejecución concreta. De ahí la importancia de realizar cursos teórico prácticos para su formación.
- **Obtención del material vegetal a utilizar:** Muchas veces en el mercado no se encuentran las semillas de las especies y variedades más adecuadas a la intervención, por lo que se emplean mezclas de semillas estándar y no siempre las más idóneas. En cuanto a la obtención de sauces, en muchos casos se requieren el permiso de las autoridades competentes para su obtención.
- **Condiciones de seguridad:** estas técnicas pueden sustituir a las técnicas tradicionales solo cuando las condiciones ambientales y de seguridad garanticen su buen funcionamiento. En otros casos, por razones de seguridad, será preferible recurrir a actuaciones de la ingeniería clásica. No se trata tanto de sustituir unas técnicas por otras sino utilizar las más idóneas en cada caso. (Ecured, 2015)

### **¿Cómo sería la aplicación de la bioingeniería como agente de mitigación en el impacto ambiental de la minería urbana en los cerros orientales de Bogotá?**

A continuación en la figura 11 describe un esquema de las principales consideraciones a tener en cuenta:

**Figura 9 Esquema aplicación de Bioingeniería como medio de mitigación de impactos ambientales**



Fuente: Autor

## 9. CONCLUSIONES

Esta investigación me permitió concluir que:

Como resultado de esta investigación el interés es mostrar los problemas causados por la degradación del suelo debido a la minería urbana y la situación que hoy es presentada en los cerros orientales de la localidad de Usaquén en la ciudad de Bogotá el cual ha sido ocasionado principalmente por la explotación y apropiación de los recursos naturales no renovables en este caso de materiales de construcción provenientes de canteras el cual es ocasionado principalmente por el desarrollo descontrolado de obras de infraestructura civil en la ciudad, la falta de una política clara y fundamentada ha sido poca, por lo cual fue importante evaluar la efectividad de la reglamentación desde la bioingeniería, además de todos los problemas que estos implican por la ausencia de actitud política en un gran número de entidades que se ven involucradas en la toma de decisiones al respecto.

De acuerdo a lo expuesto fue importante definir y caracterizar los diferentes problemas causados por la degradación del suelo debido a la minería urbana, de ahí la importancia de verificar la situación actual de la minería en los cerros orientales en la ciudad de Bogotá localidad Usaquén, por lo cual fue importante determinar que impactos y resultados se han efectuado dentro de una restauración causada por una cantera en funcionamiento y que medidas y técnicas de bioingeniería se han desarrollado para el proceso de recuperación en estos espacios y el posible mejoramiento paisajístico y urbano en que estas se encuentran y sus alrededores como área de influencia indirecta.

Es por ello que el procedimiento elaborado para la recuperación de áreas afectadas en la cantera San Carlos se pudo evidenciar prácticas de bioingeniería aplicadas a los sistemas de recuperación de suelos. Posiblemente sería necesario establecer en qué medida son tolerables las tasas de erosión observadas a pequeña escala (afectación a la vegetación) y a gran escala (afectación a la red de drenaje natural). Una vez establecido este nivel de

afectación se procedería al diseño o alternativas complementarias para determinar y definir cuál tipo de obra de bioingeniería sería la más acertada para la recuperación de una zona intervenida.

Con la intención de entender y presentar los diferentes impactos ambientales es importante poner de manifiesto los problemas que puedan afectar a una recuperación en áreas intervenidas por la minería urbana, sin duda es de recalcar esta situación presentando alternativas mediante el uso de bioingeniería como agente de medida de mitigación ya que éste es un aspecto poco desarrollado en los programas implementados para la restauración de áreas intervenidas por el sector minero urbano, lo cual conlleva a que muchas restauraciones acaban siendo sustancialmente distintas a su entorno causando problemas ambientales y sociales.

Finalmente es importante destacar que las Administraciones Públicas relacionadas deberían asumir en sus planteamientos la necesidad de implementar instrumentos de control ambiental con el fin efectuar medidas de control y seguimiento frente al uso del suelo y redirigir la restauración ecológica hacia una meta que es “La recuperación de ecosistemas perdidos”.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Bogotá D.C. (16 de 12 de 2010). *Decreto 523 de 2010*. Obtenido de <http://www.scg.org.co/wp-content/uploads/DECRETO-523-DE-2010-MICROZONIFICACION-BOGOTA.pdf>
- Alcaldía de Bogotá D.C. (10 de 2010). *Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones*. Obtenido de [http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion\\_digital/Suelo\\_Bogota/Zonificacion\\_Respuesta\\_Sismica-FOPAE-2010.pdf](http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Suelo_Bogota/Zonificacion_Respuesta_Sismica-FOPAE-2010.pdf)
- ANLA. 2015. (s.f.). *Portal ANLA Presentacion de suelos, Genesis evolucion de los Suelos*. Recuperado el 28 de 6 de 2017, de [http://portal.anla.gov.co:93/documentos/9953\\_PRESENTACION\\_SUELOS.pdf](http://portal.anla.gov.co:93/documentos/9953_PRESENTACION_SUELOS.pdf)
- ANM. (13 de 12 de 1990). *Agencia Nacional de Minería*. Obtenido de Decreto 2655 de 1988: <https://www.anm.gov.co/?q=content/decreto-2655-de-1988-2>
- Armiñana y Serón. (2002). *El proyecto de ingeniería civil y el Medio Ambiente*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd30/civil.pdf>
- Bogotá, Alcaldía de Usaquén. (2017-2020). *Plan de desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para la localidad de Usaquén*. Obtenido de [http://www.usaquen.gov.co/sites/usaquen.gov.co/files/planeacion/plan\\_de\\_desarrollo\\_local\\_articulado.pdf](http://www.usaquen.gov.co/sites/usaquen.gov.co/files/planeacion/plan_de_desarrollo_local_articulado.pdf)
- Bustamante, 2. (2016). “*Situación de los suelos en Colombia es* (<http://www.eltiempo.com/estilo-de-vida/ciencia/erosion-en-colombia/16690701>).
- CAR. (2018). *RFP Bosque Oriental de Bogotá (Cerros Orientales)*. Obtenido de **NORMATIVIDAD VIGENTE DE CERROS ORIENTALES:** <https://www.car.gov.co/vercontenido/172>

CLGR-CC. (11 de 2017). *Consejo Local de Gestión del Riesgo y Cambio Climático*.

Recuperado el 15 de 2 de 2018, de

<http://www.idiger.gov.co/documents/220605/232493/Identificaci%C3%B3n+y+Priorizaci%C3%B3n+.pdf/e74867c0-a4d0-41aa-aec9-0093f2a97c60>

Congreso de Colombia. (16 de 12 de 1959). *Ley 2 de 1959*. Obtenido de

[http://www.ideam.gov.co/documents/24024/26915/C\\_Users\\_hbarahona\\_Desktop\\_Monica+R\\_normas+pag+web\\_ley+2+de+1959.pdf/11ec7647-b090-4ce2-b863-00b27766edf8](http://www.ideam.gov.co/documents/24024/26915/C_Users_hbarahona_Desktop_Monica+R_normas+pag+web_ley+2+de+1959.pdf/11ec7647-b090-4ce2-b863-00b27766edf8)

Congreso de Colombia. (31 de 01 de 1986). *Ley 29 de 1986*. Obtenido de <http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1585862>

Congreso de Colombia. (31 de 05 de 1994). Obtenido de Ley 134 de 1994:

<http://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=330>

Congreso de Colombia. (26 de 07 de 1996). *Ley 299 de 1996*. Obtenido de Ley 299 de 1996

Congreso de Colombia. (18 de 07 de 1997). *Ley 388 de 1997*. Obtenido de

<http://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>

Congreso de Colombia. (15 de 08 de 2001). *Ley 185 de 2001*. Obtenido de

[https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley\\_0685\\_2001.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley_0685_2001.pdf)

Congreso de Colombia. (15 de 08 de 2001). *Ley 685 del 15 de agosto del 2001*. Obtenido de

[https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley\\_0685\\_2001.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley_0685_2001.pdf)

Congreso de la Republica. (24 de 01 de 1979). *Ley 9 de 1979*. Obtenido de

[http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/ley\\_9\\_1979.Codigo%20Sanitario%20Nacional.pdf](http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/ley_9_1979.Codigo%20Sanitario%20Nacional.pdf)

- Congreso de la Republica. (17 de 08 de 2000). *Ley 611 de 2000*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2000/ley\\_0611\\_2000.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2000/ley_0611_2000.pdf)
- Congreso de la Republica. (21 de 07 de 2009). *Ley 1333 de 2009*. Obtenido de [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1333\\_2009.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1333_2009.html)
- De Vincentiis G. 2012. (s.f.).  
[http://huespedes.cica.es/gimadus/23/09\\_la\\_evolucion\\_del\\_concepto\\_de\\_desarrollo\\_sost.html](http://huespedes.cica.es/gimadus/23/09_la_evolucion_del_concepto_de_desarrollo_sost.html).
- Ecured. (2 de Abril de 2015). *Bioingeneira*. Recuperado el 21 de 08 de 2017, de <https://www.ecured.cu/Bioingenier%C3%ADa#Fuentes>
- Guzman. (2016). *Adriana Guzman Hernandez*. Recuperado el 2017 de 07 de 12, de Universidad Nacional de Colombia:  
<http://bdigital.unal.edu.co/54445/1/adrianahernandezguzman.2016.pdf>
- IDEAM. (2010). *Zonificación de la degradación de los suelos área continental de Colombia*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/10182/512114/Zonificaci%C3%B3n+de+la+degradaci%C3%B3n+de+suelos+por+erosi%C3%B3n.+%C3%81rea+continental+de+Colombia.+Escala+1100.000.+L%C3%ADnea+base+2010+.pdf/b78362a8-773d-49ee-ada8-7556d29458bd?version=1.0>
- Lopez. (2001). Estudio y Control de la Erosion Hidrica. En J. D. Pelaez, *Estudio y Control de la Erosion Hidrica*. Medellin: Unoversidad Nacional de Colombia.
- Lopez J. 2001. (s.f.). *Estudio y control de la erosión hídrica. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2001. p. 20. .*
- Mendoza. (2001). *Alternativas para el control de la Erosion mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n3/v31n3a09.pdf>

- Ministerios de Ambiente y Transporte. (09 de 01 de 1996). *Resolución 005 del 9 de enero de 1996*. Obtenido de [https://www.corporinoquia.gov.co/files/Calidad\\_del\\_Aire\\_y\\_Emisiones\\_Atmosfericas/resolucin\\_005\\_1996.pdf](https://www.corporinoquia.gov.co/files/Calidad_del_Aire_y_Emisiones_Atmosfericas/resolucin_005_1996.pdf)
- Minambiente. (04 de 08 de 1978). *Decreto 1715 de 1978*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Decretos/dec\\_1715\\_040878.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Decretos/dec_1715_040878.pdf)
- Minambiente. (06 de 07 de 1983). *Resolucion 868 de 1983*. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2016/10/RESOLUCI%C3%93N-868-DE-1983.pdf>
- Minambiente. (27 de 12 de 1989). *Ley 84 1989*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Leyes\\_/ley\\_0084\\_271289.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Leyes_/ley_0084_271289.pdf)
- Minambiente. (27 de 12 de 1989). *Ley 84 de 1989*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Leyes\\_/ley\\_0084\\_271289.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Leyes_/ley_0084_271289.pdf)
- Minambiente. (22 de 12 de 1993). Obtenido de Ley 99 de 1993: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0099\\_1993.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html)
- Minambiente. (14 de 12 de 1994). *Resolucion 541 de 1994*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Resoluciones/res\\_0541\\_141294.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Resoluciones/res_0541_141294.pdf)
- Minambiente. (05 de 06 de 1995). *Decreto 948 de 1995*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec\\_0948\\_1995.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf)



Minambiente. (05 de 06 de 1995). *Decreto 948 del 5 de junio de 1995*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec\\_0948\\_1995.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf)

Minambiente. (04 de 10 de 1996). *Decreto 1791 de 1996*. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/decreto1791\\_1996.pdf/](http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/decreto1791_1996.pdf/)

Minambiente. (04 de 10 de 1996). *Decreto 1791 de 1996*. Obtenido de <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/decreto-1791-1996-por-medio-de-la-cual-se-establece-el-rc3a9gimen-de-aprovechamiento-forestal.pdf>

Minambiente. (06 de 06 de 1997). *Ley 373 de 1997*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley\\_0373\\_1997.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf)

Minambiente. (01 de 04 de 1997). *Resolucion 273 de 1997*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd38/Colombia/R273-97.pdf>

Minambiente. (07 de 07 de 1997). *Resolucion 619 de 1997*. Obtenido de [https://www.catorce6.com/images/legal/Resolucion\\_619\\_de\\_1997.pdf](https://www.catorce6.com/images/legal/Resolucion_619_de_1997.pdf)

Minambiente. (22 de 01 de 2004). *Decreto 155 de 2004*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/ba-Dec%20155%20de%202004.pdf>

Minambiente. (13 de 10 de 2004). *Resolución 1197 de 2004*. Obtenido de <http://www.ceo.org.co/images/stories/CEO/ambiental/documentos/Normas%20ambientales/2001-2010/2004/Resolucion%201197%20de%202004%20-%20Zonas%20compatibles%20mineria%20arcillas.pdf>

Minambiente. (21 de 04 de 2005). *Decreto 1220 de 2005*. Obtenido de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial:

[http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Decreto\\_1220+de+2005.pdf/9127b232-8215-46aa-8793-c0d3ec21b076](http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Decreto_1220+de+2005.pdf/9127b232-8215-46aa-8793-c0d3ec21b076)

Minambiente. (23 de 12 de 2005). *Resolucion 2145 de 2005*. Obtenido de

[http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res\\_2145\\_de\\_2005.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2145_de_2005.pdf)

Minambiente. (27 de 11 de 2008). *Ley 1252 de 2008*. Obtenido de

[http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Leyes\\_/ley\\_1252\\_271108.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Leyes_/ley_1252_271108.pdf)

Minambiente. (2013). *POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL AMBIENTAL DEL SUELO GIAS*. Obtenido de

[http://www.minambiente.gov.co/images/Atencion\\_y\\_participacion\\_al\\_ciudadano/Consulta\\_Publica/Politica-de-gestion-integral-del-suelo.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/Atencion_y_participacion_al_ciudadano/Consulta_Publica/Politica-de-gestion-integral-del-suelo.pdf)

Minambiente. (2016). *Resolucion 1197 de 2004 Ministerio de Ambiente, Vivienda y*

*Desarrollo Territorial*. Obtenido de por la cual se establecen las zonas compatibles con la minería de materiales de construcción y de arcillas en la Sabana de Bogotá, se sustituye la Resolución número 0813 del 14 de julio de 2004 y se adoptan otras determinaciones.:

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15161>

Minambiente,Ideam,UDCA. (2015). *Estudio Nacional de la Degradacion de suelos por Erosion en Colombia*. Obtenido de

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023648/Sintesis.pdf>

Minambiente-DNP. (01 de 1996). *Documento Conpes 2834 de 1996*. Obtenido de

[http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Politicasy555\\_politica\\_de\\_bosques.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Politicasy555_politica_de_bosques.pdf)

Ministerio de Ambiente, vivienda. (07 de 04 de 2006). *Resolucion 627 de 2006*. Obtenido de

[http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones\\_atmosfericas\\_contaminantes/norma\\_ruido/Resolucion\\_627\\_de\\_2006\\_-\\_Norma\\_nacional\\_de\\_emision\\_de\\_ruido.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/norma_ruido/Resolucion_627_de_2006_-_Norma_nacional_de_emision_de_ruido.pdf)

Ministeri de salud. (11 de 01 de 1982). *Decreto 02 de 1982*. Obtenido de

<http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/centro-de-descargas/249-decreto-02-de-1982-1/file>

Ministerio de Agricultura. (26 de 07 de 1978). Obtenido de Decreto 1541 de 1978:

[http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto\\_1541\\_de\\_1978.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_1541_de_1978.pdf)

Ministerio de ambiente, vivienda. (05 de 06 de 2008). *Resolución 910 del 5 de junio del 2008*. Obtenido de <https://www.k2ingenieria.com/documentos/fuentes-moviles/Resolucion-910-2008-fuentes-moviles.pdf>

Ministerio de Proteccion Social. (09 de 05 de 2007). *Decreto 1575 de 2007*. Obtenido de

<http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>

Ministerio de salud. (04 de 08 de 1983). *Resolucion 8321 de 1983*. Obtenido de

[http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img\\_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/resolucion-8321-de-1983.pdf](http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/resolucion-8321-de-1983.pdf)

Ministerios de Transporte y Salud. (20 de 08 de 1996). *Resolución 909 del 20 de agosto de 1996*. Obtenido de

<http://www.ceo.org.co/images/stories/CEO/ambiental/documentos/Normas%20ambientales/1990-2000/1996/Resolucion%20909%20de%201996%20-%20Modifica%20Res%20005%20de%201996%20que%20reglamenta%20los%20niveles%20permisibles%20de%20emisi.pdf>

Ministerios Social, trabajo y salud. (03 de 05 de 1990). *Resolucion 1792 de 1990*. Obtenido de

<http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCI%C3%93N%201792%20DE%201990.pdf>

Minjusticia. (26 de 10 de 1989). *Decreto 2462 de 1989*. Obtenido de <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1453211>

Minsalud. (1986 de 02 de 1986). *Resolucion No 2309 del 24 de Febrero de 1986*. Obtenido de

<https://www.ceo.org.co/images/stories/CEO/ambiental/documentos/Normas%20ambientales/1973-1989/Resolucion%202309%20de%201986%20-%20Residuos%20especiales1.pdf>

Ministerio de Agricultura. (10 de 05 de 1976). *Decreto 877 de 1976*. Obtenido de [https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto\\_0877\\_1976.htm](https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_0877_1976.htm)

Muñoz, M. (9 de 12 de 2016). *RESTAURACIÓN PAISAJÍSTICA EN INFRAESTRUCTURAS MEDIANTE BIOINGENIERÍA*. Obtenido de <http://www.iecaiberoamerica.org/component/k2/restauraci%C3%B3n-paisaj%C3%ADstica-en-infraestructuras-mediante-bioingenier%C3%ADa-experiencias-y-desaf%C3%ADos-para-chile.html>

Muñoz.M. (9 de 12 de 2016). *Restauración paisajística en infraestructuras mediante bioingeniería experiencias y desafíos*. Recuperado el 15 de 02 de 2018, de <http://iecaiberoamerica.org/component/k2/restauraci%C3%B3n-paisaj%C3%ADstica-en-infraestructuras-mediante-bioingenier%C3%ADa-experiencias-y-desaf%C3%ADos-para-chile.html>

Presidencia de la Republica. (18 de 12 de 1974). *Decreto 2811 de 1974*. Obtenido de [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/decreto\\_2811\\_1974.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_2811_1974.html)

- Presidencia de la Republica. (12 de 12 de 1974). *Decreto ley 2811 de 1974*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto\\_2811\\_de\\_1974.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf)
- Presidencia de la Republica. (31 de 07 de 1978). *Decreto 1608 de 1978*. Obtenido de [https://www.sinchi.org.co/files/leyes%20y%20decretos/dec\\_1608\\_310778.pdf](https://www.sinchi.org.co/files/leyes%20y%20decretos/dec_1608_310778.pdf)
- Presidencia de la Republica. (06 de 06 de 1984). *Decreto 1594 de 1984*. Obtenido de <https://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/decreto-1594-de-1984>
- Presidencia de la Republica. (16 de 03 de 1997). *Decreto 622 de 1997*. Obtenido de <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/decreto-622-de-1977.pdf>
- Presidencia de La Republica. (06 de 08 de 2002). *Decreto 1713 de 2002*. Obtenido de <http://www.oab.ambientebogota.gov.co/es/el-observatorio-y-las-localidades/documentos-tunjuelito/decreto-1713-de-2002>
- Presidencia de La Republica. (30 de 12 de 2005). *Decreto 4741 de 2005*. Obtenido de <https://www.habitatbogota.gov.co/decreto-4741-2005>
- Ramirez. (2009). *La Construcción Sostenible*. Obtenido de [https://www.cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13\\_30-33.pdf](https://www.cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13_30-33.pdf)
- Ramirez, A. (2009). *El Movimiento de La construcción Sostenible*. Obtenido de <http://pdfs.wke.es/0/0/9/1/pd0000030091.pdf>
- Rivera H. 2016,. (s.f.). *Principios de la Bioingeniería [en línea]*. Bogotá:. Obtenido de Disponible en Internet: <http://ecoambientes.tripod.com/principios.html>
- Rodríguez, Fernández. (08 de 2010). *Ingeniería sostenible: nuevos objetivos en los proyectos de construcción*. Obtenido de Revista Ingeniería de Construcción Vol. 25 N°2, Agosto de 2010 PAG. 147- 160:

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732010000200001](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732010000200001)

S.Navarro. (2008). *Manual de Bioingeneira Que es la Bioingeneiria*. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-bioingenieria.pdf>

Salazar U. (2018). *VETIER*. Recuperado el 15 de 09 de 2017, de <http://www.vetiver.com.co/index.php/bioingenieria-de-suelos>

Salazar U.2018. (s.f.). *VETIER*. Recuperado el 15 de 09 de 2017, de <http://www.vetiver.com.co/index.php/bioingenieria-de-suelos>

Sangalli y Valenzuela. (2016). *Bioingeniería o Ingeniería Biológica Introducción a la Bioingeniería o Ingeniería Biológica* . Obtenido de <http://www.caminospaisvasco.com/Actividades/bioingenieria/introduccionbioingenieria>

Sangalli, P. (2016). *Que es la Ingenieria Biologica o "Bioingenieria"*. Obtenido de <http://www.horticom.com/pd/imagenes/61/269/61269.pdf>

SDA. (2018). *Número de hectáreas de suelo degradado o contaminado intervenidas-NHSD*. Obtenido de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=1042&v=1>

Suarez. (1989). Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. En J. S. DIAZ, *Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. (pág. 556). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Investigaciones Sobre Erosión y Deslizamientos.

Yauri Y. (2014). *Contaminacion Ambiental en la contruccion Civil*. Recuperado el 05 de 01 de 2017, de <https://livrosdeamor.com.br/preview/contaminacion-ambiental-en-ing-civil-5bcd77e677fb2>