

UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Consideraciones Ambientales de la restauración de suelos con dos sustratos de origen biotecnológico en la cantera Soratama, Bogotá.**

**Andrés Vanegas Moller**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Económicas, Instituto de Estudios Ambientales (IDEA)  
Bogotá, Colombia  
2018



# **Consideraciones Ambientales de la restauración de suelos con dos sustratos de origen biotecnológico en la cantera Soratama, Bogotá.**

**Andrés Vanegas Moller**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Medio Ambiente y Desarrollo**

Director:

Msc. Jesús Orlando Vargas Rios

Codirector (a):

Ph.D. Carmenza Castiblanco Rozo

Línea de Profundización.

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Económicas, Instituto de Estudios Ambientales (IDEA)

Bogotá, Colombia

2018



*(Dedicatoria o lema)*

*A Lorenita, Azahara y Ana*

*A los hongos*

*La lucha por evitar el determinismo evolutivo se diluye cuando se deben defender los principios de la vida. Quizás pensarlo desde lo ambiental pueda aportar soluciones o quizás solo propicie regresar de nuevo a la naturaleza.*

*Elaboración propia*



## Agradecimientos

Con satisfacción registro mi trascurso por la Universidad Nacional de Colombia como una experiencia de sin igual valor en este momento de madurez en mi vida. El rigor, pero a la vez el cariño con el que las aulas y maestros me han recibido, costaron esfuerzo y espero se vea reflejado tanto en los productos textuales como en el estímulo racional que desde ahora espero aplicar a mi entorno. Gracias al Instituto de Estudios Ambientales, a la profesora Carmenza Castiblanco, a Rosario Rojas, Javier Toro, Tomas León y Vanessa Roncancio más el equipo incansable y comprometido, que le permiten a cada alumno en una versión pedagógica pos moderna, auto moldearse con decidida autonomía, sin desviarse y compartiendo con generosidad este nuevo universo que significa lo ambiental. Gracias a Jesús Orlando Vargas por permitirme conocer la ciencia de la restauración, por su paciencia y dirección, esperando poder compartir los frutos de lo que hasta el momento se han empezado a sembrar en torno a la restauración de suelos. Igualmente, a Mireya Córdoba por su invaluable aporte, su discurso motivante y jornadas de trabajo. A Carlos Albeiro gran amigo y familiares que contribuyeron con paciencia, comida y trabajo en estos dos años de concentrado e ininterrumpido esfuerzo, pero sobre todo a Astrid, Azahara y Ana quienes siempre opinaron y soportaron estoicamente el esfuerzo familiar que representó la maestría.

Gracias a la fundación Alejandro Ángel Escobar por permitirme el uso del Libro Suelos y Tierras de Colombia, al IGAC por el soporte cartográfico, al IDEAM por la información meteorológica y a la Secretaria de Ambiente de Bogotá por la oportunidad para realizar la prueba que espero pueda revertirles beneficios respectivamente.



## Resumen

En taludes desnudos de la cantera Soratama en Bogotá D.C. se evaluó ambientalmente la posibilidad de restauración de suelos en las condiciones actuales de los cerros nororientales a través de una prueba con dos sustratos de origen biotecnológico. Los resultados de la prueba piloto en 78 m<sup>2</sup> de 6 celdas ubicadas en taludes de alta pendiente, durante 7 meses, demostraron la virtud técnica de comprender los procesos de formación de suelos (PFS) como eje del ejercicio de restauración de suelos previa a la restauración ecológica, opuesto al concepto de trasplante recíproco de suelos que pretenden la mayor parte de las técnicas que se utilizan en Europa y Colombia actualmente. Dentro de las variables medidas se estableció que el promedio de adherencia de los sustratos en las celdas fue del 81,6% del área aplicada, debido a elementos de estabilidad estructural, superiores en un 146% a los de la tierra comercial y una germinación en laboratorio de un 110% superior a la misma. Se demostró que la organización de materia orgánica y el adhesivo coloidal microbiano produjeron un control de erosión en esta área, procesos de formación de suelos representados por horizontes y al final la germinación espontánea de plantas en el 7% del área de las celdas. Los resultados se recogieron en fichas de ecología de la restauración, que muestran un nuevo camino para incrementar el conocimiento de las actuales restauraciones ecológicas. Si bien la historia geomorfológica y litológica puede ser observada en los perfiles de suelos como marcas de sus procesos de formación, no la historia reciente donde los eventos antrópicos de uso y degradación de suelos, afectados por el clima y materiales parentales, solo se pueden investigar por el análisis del régimen de disturbios, categoría de la restauración ecológica pero eminentemente ambiental que debe ayudar a planificar restauraciones exitosas como eje de un mejor escenario de planeamiento urbano metropolitano.

**Palabras clave:** (Restauración de canteras, biotecnológico, suelos, sustratos, taludes).

## Abstract

On bare slopes of the Soratama quarry in Bogotá D.C. the possibility of soil restoration in the current conditions of the northeastern hills was evaluated environmentally through a test with two substrates of biotechnological origin. The results of the pilot test in 78 m<sup>2</sup> of 6 cells located on slopes of high slope, for 7 months, demonstrated the technical virtue of understanding the processes of soil formation (PFS) as the axis of the previous soil restoration exercise. The ecological restoration, opposed to the concept of reciprocal transplant of soils that pretend most of the techniques that are used in Europe and Colombia at present. Among the variables measured, it was established that the average adhesion of the substrates in the cells was 81.6% of the applied area, related to a structural stability of 146% higher than that of commercial land and a laboratory germination of 110% higher than the same. It was demonstrated that the organization of organic matter and the colloidal microbial adhesive produced an erosion control in this area, soil formation processes, horizonación and at the end spontaneous germination of plants in 7% of the area of the cells. The results were collected in ecology cards of the restoration, which show a new way to increase the knowledge of the current ecological restorations. Although the geomorphological and lithological history can be observed in the profiles of soils as marks of their formation processes, not the recent history where anthropic events of use and degradation of soils, affected by climate and parental materials, can only be investigated for the analysis of the riot regime, category of the ecological but eminently environmental restoration that should help to plan successful restorations as the axis of a better metropolitan urban planning scenario.

**Key words:** (Restoration of quarries, biotechnology, soil, substrates, slopes).

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>13</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>15</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas.....</b>	<b>16</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>18</b>
<b>Presentación.....</b>	<b>21</b>
<b>1. Marco Conceptual -Régimen de Disturbios, Degradación y Restauración de suelos.....</b>	<b>24</b>
1.1 El Régimen de Disturbios de la región Alto Andina .....	30
1.2 Restauración Ecológica y Ecología de la Restauración .....	31
1.3 Suelos .....	36
1.3.1 Procesos de Formación de suelos y Estabilidad Estructural.....	37
1.3.2 Microrestauración.....	42
1.4 Dimensión Ambiental.....	44
<b>2. Tendencias y Contexto .....</b>	<b>48</b>
2.1 Uso de cubiertas para restauración en Estados Unidos.....	51
2.2 Uso de cubiertas para restauración en Europa .....	55
2.3 Manejo de Taludes disturbados en Colombia .....	58
2.3.1 Diagnostico .....	58
2.3.2 Métodos para restauración de taludes en Colombia.....	60
2.3.1 Prácticas de restauración de taludes disturbados en Colombia.....	62
2.4 Cerros Nor-Orientales en el escenario post minero .....	66
2.4.1 Condición Fisiográfica y Ambiental.....	67
2.4.2 Régimen de Disturbios de suelos en los Cerros Orientales.....	72
2.4.3 Ordenamiento Territorial en los Cerros Nor-orientales .....	75
2.4.4 Soratama .....	79
2.4.5 Prácticas de Restauración en Soratama .....	81
<b>3. Área de Estudio: La Cantera Soratama.....</b>	<b>87</b>
3.1 Justificación .....	87
3.2 Fases e hipótesis del estudio.....	90
3.3 Ubicación.....	94
3.4 Metodología de la prueba .....	98

3.4.1	Métodos Cualitativos .....	99
3.4.2	Métodos cuantitativos.....	99
3.5	Variables.....	104
3.6	Fichas de Ecología de la Restauración .....	106
3.7	Resultados.....	106
3.8	Restauración Pasiva en la Celda C8.....	111
<b>4.</b>	<b>Consideraciones Ambientales .....</b>	<b>113</b>
4.1	Objetivos ambientales de la Restauración de suelos .....	113
4.1.1	Pasivo Ambiental .....	116
4.1.1	Un ejercicio de Estructura Ecológica de Soporte Mínima (EESM) para el sector de Soratama en los Cerros Nor-orientales de Bogotá .....	117
4.2	Restauración de suelos como Adaptación social al entorno post-minero en los Cerros Orientales .....	118
4.3	Barreras a la Restauración .....	120
4.3.1	Cambio Climático .....	121
4.3.1	Usos del suelo.....	123
4.4	Contribución a la política de Gestión Integral Ambiental de Suelos (GIAS) de Colombia y al Indicador Áreas en Proceso de Restauración Ecológica (APRE) del Distrito Capital.....	123
4.5	Análisis de la Gestión Ambiental en Soratama .....	125
<b>5.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>126</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>129</b>
<b>A.</b>	<b>Anexo: Definiciones de suelo, énfasis y autores.....</b>	<b>137</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Procesos de Formación de Suelos y su presencia en la prueba .....</b>	<b>139</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo: Afectaciones del Suelo metapedogénicas.....</b>	<b>142</b>
	<b>D. Anexo: Evaluación de 7 criterios sobre técnicas de manejo de taludes disturbados en EEUU, Europa y Colombia.....</b>	<b>143</b>
<b>E.</b>	<b>Anexo: Reporte de Resultados .....</b>	<b>152</b>
<b>F.</b>	<b>Anexo: Cuadro Resumen de Inversiones en la Cantera Soratama.....</b>	<b>153</b>
	<b>G. Anexo: Imagen Franja de Adecuación de los Cerros Orientales según SDP- Bogotá. ....</b>	<b>154</b>
	<b>H. Anexo: Red de relaciones UCINET entre atributos ecológicos SER y criterios de evaluación de degradación- restauración de suelos.....</b>	<b>155</b>
<b>I.</b>	<b>Anexo. Fichas de Ecología de Restauración C1,C3,C4,C5,C6,C7,C8 y C9.....</b>	<b>156</b>
<b>J.</b>	<b>Anexo. ANNOVA con el software PAST entre S1 y Tierra, así como S2 con tierra a 20 días.....</b>	<b>178</b>
<b>K.</b>	<b>Anexo. Datos estadísticos de adherencia de sustratos S1 y S2.....</b>	<b>179</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1.</b> El Regimen de disturbios en la degradación y restauración de suelos.....	28
<b>Figura 1-2:</b> Pasos de la restauración en el escenario posminero.....	36
<b>Figura 1-3.</b> Procesos de Formación de Suelos soporte de la restauración. ....	38
<b>Figura 1-4 .</b> Dimensión Ambiental en el trabajo y la restauración.....	46
<b>Figura 2-5.</b> Atributos de la Restauración Ecológica según la SER (arriba) y 7 criterios propuestos por el autor para la evaluación de técnicas de manejo de taludes disturbados (abajo).....	50
<b>Figura 2-6.</b> Evaluación de criterios de restauración en 37 técnicas de control de erosión de CALTRANS (2003) .....	55
<b>Figura 2-7.</b> Evaluación de criterios de restauración en 34 técnicas de manejo hidráulico de la FIEP (2007) .....	57
<b>Figura 2-8.</b> Evaluación de criterios de restauración en 121 técnicas de siembra de la FIEP (2007).....	57
<b>Figura 2-9.</b> Topografía del modelo de manejo de taludes talud-berma-cuneta. ....	60
<b>Figura 2-10.</b> Evaluación de criterios de restauración sobre 6 técnicas de revegetalización de Colombia .....	61
<b>Figura 2-11.</b> Imágenes fotográficas de métodos de restauración con biomantos en dos sectores de Bogotá sobre reforestaciones previas de especies leñosas. ....	63
<b>Figura 2-12.</b> Imágenes fotográficas de dos etapas de procesos de Restauración de taludes en vías de Cundinamarca y Tolima. ....	64
<b>Figura 2-13.</b> Fotografía satelital de Bogotá región 2017 y del sector más bajo de los Cerros Nor-orientales en el sector de Soratama.....	68
<b>Figura 2-14.</b> Comportamiento de variables climáticas de la estación UDCA-IDEAM de 1989 a 2016 de enero a junio. ....	69
<b>Figura 2-15.</b> Mapa de Materiales Parentales. ....	71
<b>Figura 2-16.</b> Comparativo fotográfico de sector del parque nacional Enrique Olaya Herrera en 1910 y 2017.....	73
<b>Figura 2-17:</b> Evaluación preliminar del Régimen de Disturbios en la Cantera Soratama sector de Cerros Orientales de Bogotá.....	74
<b>Figura 2-18.</b> Fotografía aérea de Soratama de 1940 en la cual se evidencian los procesos erosivos antes de la actividad minera.....	75
<b>Figura 2-19.</b> Mapa de Usos del suelo Cerros Nor-orientales.....	76
<b>Figura 2-20.</b> Mapa de coberturas de la tierra sector Cerros Nor-orientales. ....	78
<b>Figura 2-21.</b> Fotografías de relictos de suelos originales de más de 1,5 metros de espesor en los Cerros Orientales, en el sector de la cantera Soratama. ....	81
<b>Figura 2-22.</b> Observación aerofotográfica multitemporal de actividades relacionadas en la restauración en Soratama de 2004 a 2013.....	82
<b>Figura 2-23.</b> Fotografías del uso de Biomantos en 2007 en Soratama .....	84
<b>Figura 2-24.</b> Fotografías uso Biomantos en Soratama actualmente.....	84
<b>Figura 2-25.</b> Evaluación de criterios de restauración en 5 técnicas de revegetalización de la Cantera Soratama .....	85

<b>Figura 3-26.</b> Base conceptual y práctica de la prueba. ....	89
<b>Figura 3-27.</b> Fases de desarrollo del Estudio.....	90
<b>Figura 3-28.</b> Aproximación a los métodos mixtos en el trabajo .....	92
<b>Figura 3-29.</b> Aerofotografía de escenarios post mineros y región en los Cerros Nor-orientales de Bogotá.....	94
<b>Figura 3-30.</b> Mapa Ubicación general Soratama en los Cerros Nor-orientales de Bogotá. ....	96
<b>Figura 3-31.</b> Esquema fotográfico del escenario de Restauración en la Cantera Soratama .....	97
<b>Figura 3-32.</b> Serie de Análisis de Componentes Principales de los resultados de sustratos y tierra en la prueba para construir la propuesta del índice de Estabilidad Estructural Ampliada (EEA).....	101
<b>Figura 3-33.</b> Toma de muestras según método DEMARS & LONG del 1 al 7 mes en celdas C4, C5 y C6 para evaluar fertilidad.....	102
<b>Figura 3-34.</b> Hipótesis, variables, indicadores, cuantificadores, fuentes de información y propuesta de análisis estadístico de la Prueba de dos sustratos S1 y S2 en la Cantera Soratama, Bogotá. ....	105
<b>Figura 3-35.</b> Agregación de cluster de Fertilidad medida con el índice propuesto de Estabilidad Estructural Ampliada (EEA) para relacionar los dos sustratos S1, S2 a 20 días y 210 días y la tierra comercial .....	110
<b>Figura 3-36.</b> Fotografías de Procesos de Formación de Suelos en las Celda C7 (izquierda) y C5 (derecha).....	111
<b>Figura 3-37.</b> Procesos no visibilizados de restauración pasiva en la Celda C8.....	112
<b>Figura 4-38.</b> Inventario de disciplinas involucradas en la restauración ecológica en Soratama.....	114
<b>Figura 4-39.</b> Tres etapas del componente ambiental en la restauración de la Cantera Soratama.....	115
<b>Figura 4-40.</b> Ejercicio de Estructura Ecológica de Soporte Mínima para el sector Norte de los Cerros Orientales con presencia de taludes huérfanos.....	118
<b>Figura 4-41.</b> Gráfico de Variables climáticas de estación UDCA 1989-2016 con software PAST v 3.18. (Izquierdo) Análisis de Componentes Principales de las variables, (Derecho) gráfico de tendencia de las variables. ....	122
<b>Figura 4-42.</b> Árbol de Problema, causas y líneas estratégicas de la Política de Gestión Ambiental Integral de Suelos del país (GIAS), relacionada con las técnicas de sustratos y PFS.....	124
<b>Figura 4-43.</b> Análisis de la Gestión Ambiental con el Uso de sustratos de origen biotecnológico en la cantera Soratama.....	125
Ilustración 44. Parámetros de fertilidad de los sustratos S1 y S2 a 20 días y a 210 días de aplicados en la celda C1. ....	157
Ilustración 45. Estadística descriptiva de la variación de parámetros de fertilidad de los dos sustratos entre 20 y 210 días.....	157
Ilustración 46. Análisis de Correlación de Pearson de los dos sustratos S1 y S2 usados en la celda.....	157

Ilustración 47. Vestigios de ubicación de biomantos contigua a la aplicación de los dos sustratos S1 y S2 en celda C1. ....	157
Ilustración 48. Evaluación manual de adherencia de los sustratos S1 y S2 a 20 días en la Celda C1. ....	158
Ilustración 49. Evaluación manual de adherencia de los sustratos S1 y S2 a 210 días en la celda C1. ....	158
Ilustración 50. Parámetros de fertilidad del Sustrato S1 a 20 días y a 210 días. ....	159
Ilustración C3-V2-1-51. Variación promedio de parámetros de fertilidad a 210 días de uso .....	160
Ilustración 52. Parámetros de fertilidad del Sustrato S1 a 20 días y a 210 días. ....	163
Ilustración C4-V2-1-53. Estadística descriptiva de parámetros de fertilidad (pH, N, C, retHumProm y CIC.) a 210 días de uso según análisis de laboratorio de Aguas y Suelos. ....	164
Ilustración 54. Parámetros de fertilidad del Sustrato S2 a 20 días y a 210 días. ....	166
Ilustración C5-V2-1-55. Estadística descriptiva de parámetros de fertilidad (pH, N, C, retHumProm y CIC.) a 210 días de uso según análisis de laboratorio de Aguas y Suelos. ....	167
Ilustración 56. Parámetros de fertilidad del Sustrato S2 a 20 días y a 210 días. ....	171
Ilustración 57. Procesos de Formación de suelos al 2 de febrero de 2018 (1 año de la aplicación). ....	173
Ilustración 58. Parámetros de fertilidad del Sustrato S1 a 20 días y a 210 días. ....	176
Ilustración 59. C9-V2-2. Estadística descriptiva de parámetros de fertilidad (pH, N, C, retHumProm y CIC.) a 210 días de uso según análisis de laboratorio de Aguas y Suelos. ....	177

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-1.</b> Procesos de degradación de suelos.....	25
<b>Tabla 1-2.</b> Objetivos y perspectivas de la Restauración Ecológica.....	32
<b>Tabla 1-3.</b> Definiciones sobre Estructura del Suelo .....	40
<b>Tabla 1-4.</b> Procesos de descomposición de la materia orgánica.....	43
<b>Tabla 2-5.</b> Investigaciones y leyes relacionadas con el uso de compost y mulch para manejo de taludes. ....	52
<b>Tabla 2-6.</b> Diagnóstico del manejo de taludes disturbados de vías en Colombia. ....	58
<b>Tabla 2-7.</b> Programa de Seguimiento y monitoreo a control de erosión, cobertura y recuperación de áreas intervenidas en proyectos de infraestructura vial en Colombia. ..	65

<b>Tabla 2-8.</b> Elementos de Historia Ambiental de los Cerros Orientales de Bogotá. ....	72
<b>Tabla 2-9.</b> Hechos de la historia reciente de la Cantera Soratama.....	80
<b>Tabla 2-10.</b> Aplicación de 7 criterios de evaluación de la restauración sobre las técnicas de manejo post-minero en la Cantera Soratama. ....	85
<b>Tabla 3-11.</b> Características físicas de las celdas de la prueba. ....	97
<b>Tabla 3-12.</b> Resumen del Reporte de Resultados Ensayos de Laboratorio de Aguas y Suelos FCA UNAL de sustratos de la prueba.....	107
<b>Tabla 3-13.</b> Reporte de resultados de germinabilidad a 35 días en laboratorio. ....	107
<b>Tabla 3-14.</b> Reporte Final de resultados de colección mensual de material erodado en colectores.....	108
<b>Tabla 3-15.</b> Reporte de Resultados de Medición de Adherencia de los sustratos en las celdas.....	108
<b>Tabla 4-16.</b> Especificaciones CONEG de compost para manejo de taludes disturbados .....	119

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
Biomanto	Mezcla de lodo fertilizado con un manto de tejido abierto
Bh-mb	Bosque Húmedo Montano Bajo
Bmh-M	Bosque muy húmedo montano
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
CDB	Convenio de Diversidad Biológica

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
CEA	Criterio de Evaluación Ambiental (en el documento).
C:N	Relación Carbono Nitrógeno de la materia orgánica
CONEG	Coalición de gobernadores de la costa Noreste (USA).
EEA	Estructura Ecológica Actual
EEP	Estructura Ecológica Principal
EESM	Estructura Ecológica de Soporte Mínima
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
FEIP	Federación Europea de Ingeniería del paisaje
GLASOD	Global Assessment of the status of Human-induced Soil Degradation.
GSS	Gestión Sostenible del Suelo (MADS-2016)
H2020	Horizonte 2020 de la Unión europea
M.O.	Materia Orgánica
M.P.	Material Parental.
PFS	Procesos de Formación de Suelo
PMA	Plan de Manejo para la Recuperación Geomorfológica y Ambiental de la Cantera Soratama (Res. 1945 de 2005-CAR).
PNR	Plan Nacional de restauración ecológica rehabilitación y recuperación de áreas degradadas
PUJ	Pontificia Universidadd Javeriana
SDA	Secretaria Distrital de Ambiente (Bogotá)
SOP	Secretaria de Obras Públicas (Nacional)
TS	Taxonomía de suelos (Soil Survey Staff – USA)
WRB	World Reference Base for soils (FAO).

## Introducción

Este trabajo pretende contribuir a mejorar la comprensión del suelo y por tanto la Plataforma Instrumental Tecnológica o de Adaptación (relaciones ecosistema cultura) en el ámbito social, iniciando un camino de nuevas técnicas adecuadas para la rehabilitación de procesos de formación de suelos (PFS) previamente a la restauración ecológica en escenarios post-mineros. Con este propósito se realizó una evaluación comparativa de aspectos ambientales de la restauración de suelos en taludes desnudos de alta pendiente en la cantera Soratama, Bogotá D.C. Para dar cumplimiento al objetivo trazado, se observó la necesidad de revisar sobre la Plataforma Instrumental existente, 7 criterios propuestos por el autor, primero en el entorno de la restauración de taludes disturbados en Estados Unidos y Europa, luego en Colombia, en Bogotá, en la Cantera Soratama y compararlos con una propuesta por el autor a partir de una prueba piloto con dos sustratos de origen biotecnológico en la citada cantera. Se requirieron para evaluar esta nueva plataforma métodos cuantitativos para evaluar técnicas de rehabilitación de Procesos de Formación de Suelos con sustratos fértiles de origen biotecnológico y cualitativos que demuestren una mejor comprensión del fenómeno suelo por parte de las instituciones del distrito, de la sociedad bogotana, de las comunidades aledañas de los Cerros Nor-orientales y de los ejecutores de las restauraciones actuales.

En el componente cuantitativo se evaluaron los sustratos S1 y S2 cuyo origen biotecnológico parte de Sustrato Gastado de Hongos (SGH) a través de un proceso secuencial de hongos lignocelulósicos primarios-secundarios que luego son eutrofizados para lograr una masa con una presencia microbiológica alta. Estos fueron probados en 6 celdas con un área total de 78 m<sup>2</sup> de taludes desnudos, con la hipótesis experimental de que la Estabilidad Estructural como noción ampliada de fertilidad es la base de un proceso exitoso de formación de suelos, herramienta con la que no se cuenta actualmente en las técnicas de restauración. La pretensión ha sido alcanzar artificialmente un orden de las fracciones de detritus determinantes en la edafogénesis o los procesos de formación de suelo, suficientes para mantenerlo adherido y fértil para rehabilitarlos, previamente a los procesos de restauración ecológica (Vargas, 2007; Gualdrón-Acosta, 2011; Calderón-Saézn, 2017). Como variables de la prueba se propusieron medir la adherencia y fertilidad, incluyendo en esta última la potencialidad de germinación de los sustratos, medida tanto en campo como en laboratorio.

El indicador de procesos de formación de suelos (PFS) en esta prueba fue la generación de capas u horizontes, uno de los cuales lo constituyó inicialmente el sustrato aplicado, que por adherencia, fertilidad y presencia microbiana se sostuvo el tiempo necesario para lograr eluviaciones sobre la matriz de arenisca, e integró en un sutil proceso de humificación y melanización, que permitió la llegada de depósitos de sedimentos a un nuevo horizonte, ayudando a consolidar los anteriores. Es decir, a una escala mínima pero homogéneamente, se parte con los sustratos S1 y S2 de proponer un horizonte O que en proceso de formación de suelo (movimiento de líquidos, gases y agua) se convierte en un horizonte A, que entra a albergar la rizosfera para favorecer el desarrollo edáfico, el cual, luego en un leve proceso del lavado hacia abajo y de recibir encima nuevos sedimentos orgánicos permite la formación de un nuevo horizonte O y que el primero empiece comience a convertirse en un horizonte B, próximo al horizonte C que son las rocas cuarcíticas del lugar.

En lo cualitativo y para analizar la Plataforma Instrumental de Adaptación existente, desde el componente edáfico se realizó la revisión del concepto y tipos de *procesos de formación de suelos* (PFS) y su relación con la *estabilidad estructural*. Respecto del componente ambiental se analizaron las barreras sociales del proceso de restauración, dentro de las cuales se encuentran las técnicas de manejo de taludes disturbados que predominan en las aplicaciones realizadas en el medio nacional e internacional y que no consultan estos procesos de suelos, así como el régimen de disturbios antrópico que llevó a la degradación de suelos en los Cerros Nor-orientales de Bogotá. Finalmente, como parte del componente ambiental, se evaluaron las barreras ecológicas más determinantes del proceso de restauración (clima y material parental). Dos propósitos de esta mejor comprensión del suelos, deberán ser el impactar positivamente el ámbito de gestión de las restauraciones ecológicas para evitar el deterioro del indicador “*Áreas en Proceso de Restauración Ecológica*” (APRE) establecido por el Distrito y contribuir con la *Política de Gestión Integral Ambiental de Suelos* del país (MADS, 2016).

Según Perez-Preciado (2000), Van der Hammen & Andrade (2003), Marquez & Valenzuela (2008), bajo el concepto de Estructura Ecológica Principal (EEP) aplicado a la Sabana de Bogotá, la actual situación de grandes extensiones del territorio con limitaciones ambientales (incluida la pérdida del suelo) es el resultado de procesos históricos de apropiación y uso del territorio, lo cual llevó en el caso de los Cerros Orientales a la fragmentación total del Bosque Alto Andino. Según la política pública de Gestión

Sostenible de Suelos (GSS) (MADS, 2016) se requieren mejores diagnósticos y comprensión para contribuir a reducir el costo de restauración y frenar el deterioro de las condiciones ambientales, sociales y económicas del país.

En tal sentido, Montenegro & Vargas (2008) refieren que el *Régimen de Disturbios* es el criterio más determinante de la dinámica de bordes, la restauración del bosque Alto Andino y la diversidad de árboles en escalas locales y regionales, a través de lo cual, fue posible establecer que el deterioro ecosistémico de los Cerros Orientales de Bogotá, se originó en gran medida por la degradación histórica de los suelos por deforestación desde antes de la aparición de la minería en la década de los años 50's. Igualmente, Blum (1997) explica que la degradación de suelos debe ser entendida como resultado eminentemente antrópico y por ende su restauración. En consecuencia, es necesario estudiar el problema desde las relaciones ecosistema-cultura, lo cual justifica analizar ambientalmente lo histórico, socio-económico y político que determine desde el pasado la afectación de lo biofísico y evite la reincidencia del fenómeno en el futuro.

Por lo tanto, la metodología utilizada en el presente estudio fue la comparación de criterios ambientales, utilizando la información cuantitativa para soportar la hipótesis general del estudio que pretende ordenar desde una visión sintética de ecología ciertas condiciones bioquímicas y físicas para contribuir a mejorar la comprensión de procesos de formación de suelo (PFS). Se intenta superar la acepción de suelo como recurso no renovable, pero que adicionalmente visibiliza desde lo cualitativo factores críticos como los socios económicos relacionados con la práctica de restauración. Si bien un objetivo es poder incidir en la política pública de la restauración ecológica y de suelos en los escenarios post-mineros a cielo abierto, se establecen como límites del trabajo las evidencias de las variables cuantitativas del proceso de formación de suelo, con las condiciones fisiográficas dadas y la enunciación de las barreras ecológicas y sociales de los procesos de restauración de canteras en el nororiente de Bogotá.

Los resultados cuantitativos obtenidos al cabo de 7 meses de evaluación a la intemperie demostraron que el material aplicado se sostuvo en los taludes en promedio el 81,6% del área sobre las celdas, lo cual produjo una barrera efectiva contra la erosión e inició en la mayor parte de los casos procesos de formación de suelo (PFS). Adicionalmente, lograron sostener como primer componente de fertilidad varios elementos del concepto de

estabilidad estructural (gradación de partículas, contenido de materia orgánica, relación carbono nitrógeno, pH, porcentaje de retención de humedad y capacidad de intercambio catiónico) en conjunto y promedio en un 146% superior de la tierra usada comercialmente en los biomantos. Como segundo componente de la fertilidad se demostró la capacidad de germinación, que arrojó como resultado un 110% superior comparado con la misma tierra y en campo se alcanzó una regeneración espontánea de vegetales que cubrieron alrededor de un 7% del área aplicada.

Según la dificultad incremental de la restauración ecológica de estos taludes pos mineros, físicamente por las condiciones climáticas actuales más el material parental, ecológicamente por la pérdida de cobertura edáfica de siglos atrás y de la vegetación circundante, así como socio económicamente por la proximidad de desarrollo urbano y por no hacer parte de una prioridad presupuestal, el análisis ambiental complejo es una fuerte herramienta de construcción de conocimiento.

## **Presentación**

Producto de la experiencia del autor de 20 años en la producción industrial de hongos comestibles en Cundinamarca, se presentan y utilizan en el presente estudio unos sustratos fértiles con la capacidad específica de adherirse a la matriz litológica desnuda, característicos de suelos degradados en canteras para restaurar terrenos en condiciones de máxima pendiente y sin elementos externos de soporte. Integrando este conocimiento a la visión de ambiente comprendida como la relación de la cultura con los ecosistemas que ocupa y modifica la sociedad, se adelantó una prueba con dos sustratos en la Cantera Soratama (hoy Aula Ambiental), espacio determinado por la ciudad y la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) para comprender como recuperar ecológicamente suelos degradados en esta zona de la ciudad.

Se presentó como problema la falta de comprensión social acerca del suelo y de sus procesos de formación, que generaliza su estudio a la categoría de recurso no renovable con gran cantidad de posibilidades de clasificación taxonómica, pero subvalorando la

posibilidad de recrearlo como estrategia permanente de la vida para colonizar la litología terrestre y para perpetuar los ciclos biogeoquímicos. La generación de nuevos suelos o edafogénesis, sin ser un trabajo sencillo, debe ser un objetivo inherente de política pública y de concurrencia global. Asumir políticas encaminadas a la restauración, requiere de las instituciones entender que es necesario proteger los suelos, comprender que se debe lograr una rehabilitación de procesos previa a la restauración ecológica y reconocer el papel de la geomorfología en la transformación inexorable del paisaje.

Desde este punto de vista, las canteras en los Cerros Nor-orientales de Bogotá han sido el escenario de múltiples factores de degradación de suelos, que deben ser caracterizados y diagnosticados para poder proponer soluciones y mitigar riesgos en otras zonas. Los paradigmas teórico-prácticos de la restauración ecológica aplicados a la restauración de taludes de máxima pendiente en canteras, se traducen en políticas públicas y términos de referencia de obras en Colombia que desconocen aspectos fundamentales del suelo y por ende sus resultados de aplicación práctica no son efectivos.

Pese al esfuerzo de la Secretaria Distrital de Ambiente durante más de 15 años enfocados a la restauración ecológica en la cantera (hoy Aula ambiental), los trabajos desarrollados en la primera fase de restauración adelantada desde el año 2008 no han logrado evitar la erosión con la utilización de los biomantos en las zonas con pendiente. Sólo se observa éxito en los procesos edafogenéticos resultantes del crecimiento puntual de árboles con su producción de detritus lignocelulósicos en los sectores de aplicación de biosólidos y también en procesos de restauraciones pasivas con tipología de parches-ecotonos, de alta actividad micro orgánica y en nichos húmedos, principalmente sobre los taludes que no fueron reconvertidos morfológicamente.

La parte cuantitativa se propuso como una prueba piloto sobre la utilización de los dos sustratos como restauradores de procesos de formación de suelo resultado de su adherencia y fertilidad; la fertilidad de este sustrato biológico sin una porción mineral representativa se tomó como resultado de dos componentes: primero el conjunto de propiedades biológicas, mineralógicas y físico-químicas asociadas a la Estabilidad Estructural (EE) y el segundo que guarda una relación de causalidad con el anterior, la potencialidad de germinación de plántulas. Estas dos variables desencadenaron los Procesos de Formación de Suelo (PFS) en diferentes condiciones de la cantera y gracias

a la adherencia de los sustratos, y superaron parámetros limitantes como el clima, los materiales parentales y usos del suelo de la región.

La estructura del estudio consta del capítulo primero donde se presenta la revisión asociada al tema de los suelos y procesos de formación producto de la estabilidad estructural. El segundo capítulo muestra el estado del arte sobre las técnicas de restauración de canteras que se adelantan hasta el momento en Colombia y el mundo y el tercero los resultados de la prueba con los análisis estadísticos de las variables. En el cuarto capítulo se presentan las reflexiones sobre la Evaluación de aspectos Ambientales donde se observa el ámbito que rodea las decisiones públicas relacionadas con el ordenamiento del territorio, y finalmente en el quinto las conclusiones.

# 1. Marco Conceptual - Régimen de Disturbios, Degradación y Restauración de suelos

La Evaluación Global del estatus de la Degradación de Suelos inducida por Humanos (GLASOD), misión internacional que partió de la motivación y alerta de varios entes reconocidos, adoptó la siguiente definición de degradación suelos dada por la FAO, UNEP y UNESCO en 1979: “Degradación de suelos es un proceso que describe un fenómeno inducido por los humanos que reduce la capacidad actual y futura del suelo de soportar la vida humana” (Lal et al., 1997).

Se puede entender entonces la *degradación de suelos* como el uso desbalanceado, indebido e inapropiado de sus funciones, causando su deterioro físico, químico y biológico, que puede llegar incluso hasta su destrucción. Para combatir la degradación de suelos es necesario distinguir y actuar sobre cuatro puntos fundamentales: la evaluación del estado actual del problema, incluyendo causas e impactos; el monitoreo constante de la degradación de suelos; el control de la degradación de los mismos y finalmente la aplicación de medidas que permitan mitigar y remediar los danos ocasionados al suelo (Lal et al., 1997).

La degradación de los suelos implica cambios en sus propiedades (Tabla 1-1) que afectan los ciclos biogeoquímicos y en general el funcionamiento de este bien ambiental (MADS, IDEAM, & UDCA, 2015). Se comprende que la erosión es un proceso natural a escala humana sobre el que se hace evidente la incidencia de las actividades antrópicas que la intensifican o magnifican hacia el proceso de degradación.

Se define esta *degradación severa* cuando 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 estima la pérdida de más del 75% de su espesor y se observan con frecuencia cárcavas, surcos

y terraceo, generando la destrucción de los servicios ecosistémicos generales, requiriendo mucho tiempo y alto costo en la restauración (MADS et al., 2015).

**Tabla 1-1.** Procesos de degradación de suelos.

Físico	Químico	Biológico
-Compactación Disminución de infiltración y espacio poroso Sellamiento superficial	-Disminución de la capacidad de retención de nutrientes. -Pérdida de nutrientes. -Alcalinización	-Reducción de micro y macro fauna. -Pérdida de la materia orgánica. -Reducción de biomasa del suelo.
-Erosión Eólica Hídrica – Pluvial, fluvial, costero marina.	-Salinización -Acidificación -Contaminación. -Desequilibrio bioquímico.	

Fuente 1. (MADS, IDEAM & UDCA, 2015).

Por otro lado, se observa que la *restauración de suelos* implica el manejo adecuado de los recursos para llegar a un balance entre los procesos degradativos de los suelos con sus características de resiliencia propias bajo ambientes ecológicos específicos. Para revertir los procesos degradativos, existen límites críticos de algunas propiedades claves del suelo que son vitales en la restauración hacia su estado original o a una calidad deseada en un nuevo estado de equilibrio. Si la restauración de suelos es el opuesto de la degradación de suelos y estos poseen resiliencia, entonces los suelos degradados se pueden restaurar por sí mismos una vez los factores causantes sean eliminados (Lal et al., 1997). En tal sentido, la restauración hace parte de las medidas paliativas para regenerar las funciones naturales del suelo posterior a los daños ocasionados por diversas actividades humanas. Está precedida de un proceso de rehabilitación de las funciones y procesos naturales de suelos principalmente, que no ha sido descrita a profundidad en los trabajos académicos recientes. De esta manera, no existe ninguna conceptualización robusta en torno al significado de la restauración de suelos, o si se considera posible. En cambio se encuentran múltiples trabajos de investigación y prácticas alrededor del concepto rehabilitación y reclamación, utilizando principalmente enmiendas concebidas como fases previas a la *restauración ecológica* (Guacaneme & Barrera, 2007; Gualdrón-Acosta, 2011; Sheoran, Sheoran, & Poonia, 2010; Skousen, Zipper, Burger, Angel, & Barton, 2011; J. & A., 2012). Es importante aclarar que según Lal et al. (1997) y The Society for Ecological Restoration International (2013), la reclamación es un término antiguo tomado de la búsqueda de retomar productivamente un área, el cual es diferente de la rehabilitación y

de la restauración, en razón a que sirve para mejorar las posibilidades de crecimiento vegetal pero sin revisar las propiedades y procesos del suelo, y sin proyectar si es suficiente para restaurar un nuevo estado de resiliencia.

Lal et al. (1997) indican que para la restauración de suelos existen propiedades claves cuyos límites críticos gobiernan la restauración como la estructura del suelo, el contenido de carbono orgánico, arcillas y minerales de arcilla, la porosidad, la capacidad disponible de agua, la capacidad de intercambio catiónico, la profundidad efectiva del enraizamiento y las reservas de nutrientes.

*El régimen de disturbios* en Restauración Ecológica se define como la identificación secuencial de los distintos eventos y factores que han modificado un ecosistema a través de diferentes escalas espacio temporales, repetitivos o no, generando alteración de los procesos de sucesión que modifican poblaciones y comunidades de seres vivos pero también de factores abióticos en la dinámica de patrones de paisaje (Vargas, 2007; Clewell & Aronson, Society for Ecological Restoration International, 2013). Al percibir los disturbios como eventos de diferente origen que irrumpen en la estructura de las poblaciones, las comunidades o el ecosistema, cambiando la disponibilidad de recursos y el ambiente físico, el análisis cobija afectaciones naturales de muy largo plazo como los procesos de formación de los suelos o las perturbaciones antrópicas de corto plazo que generan degradación de suelos como la ganadería, la agricultura, la expansión urbana etc. Así se hace explícita la dimensión ambiental concebida como el conjunto de relaciones ecosistema cultura en el análisis del régimen de disturbios.

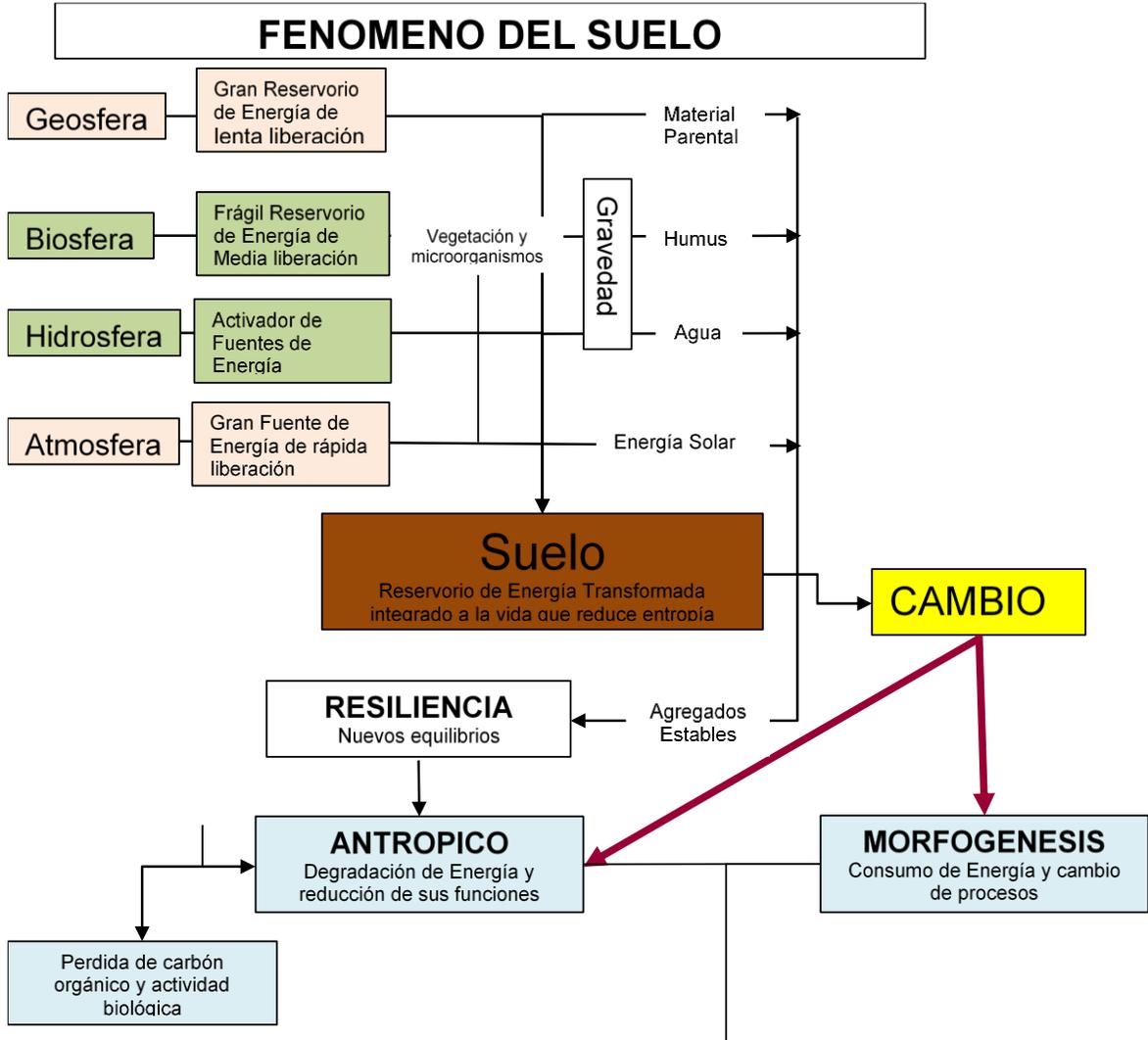
Según Vargas (2007) determinar la historia de transformación de un ecosistema es el primer paso para conocer las causas, extensión, severidad y recurrencia de los procesos de deterioro y la manera como se presentaron a diferentes escalas y niveles y para comprender como llegan a convertirse en el determinante de las posibilidades de coevolución que desencadenan las sucesiones biológicas y verificar la necesaria heterogeneidad del paisaje en nuestros ecosistemas biodiversos. En esta intención los procesos edafogénicos o de formación de suelo pueden ser denominados eventos de disturbio “forzadores” porque cuando llegan a un estado previo son capaces de generar un cambio abrupto en la biota y funcionalidad del ecosistema (Clewell et al., 2013). Los

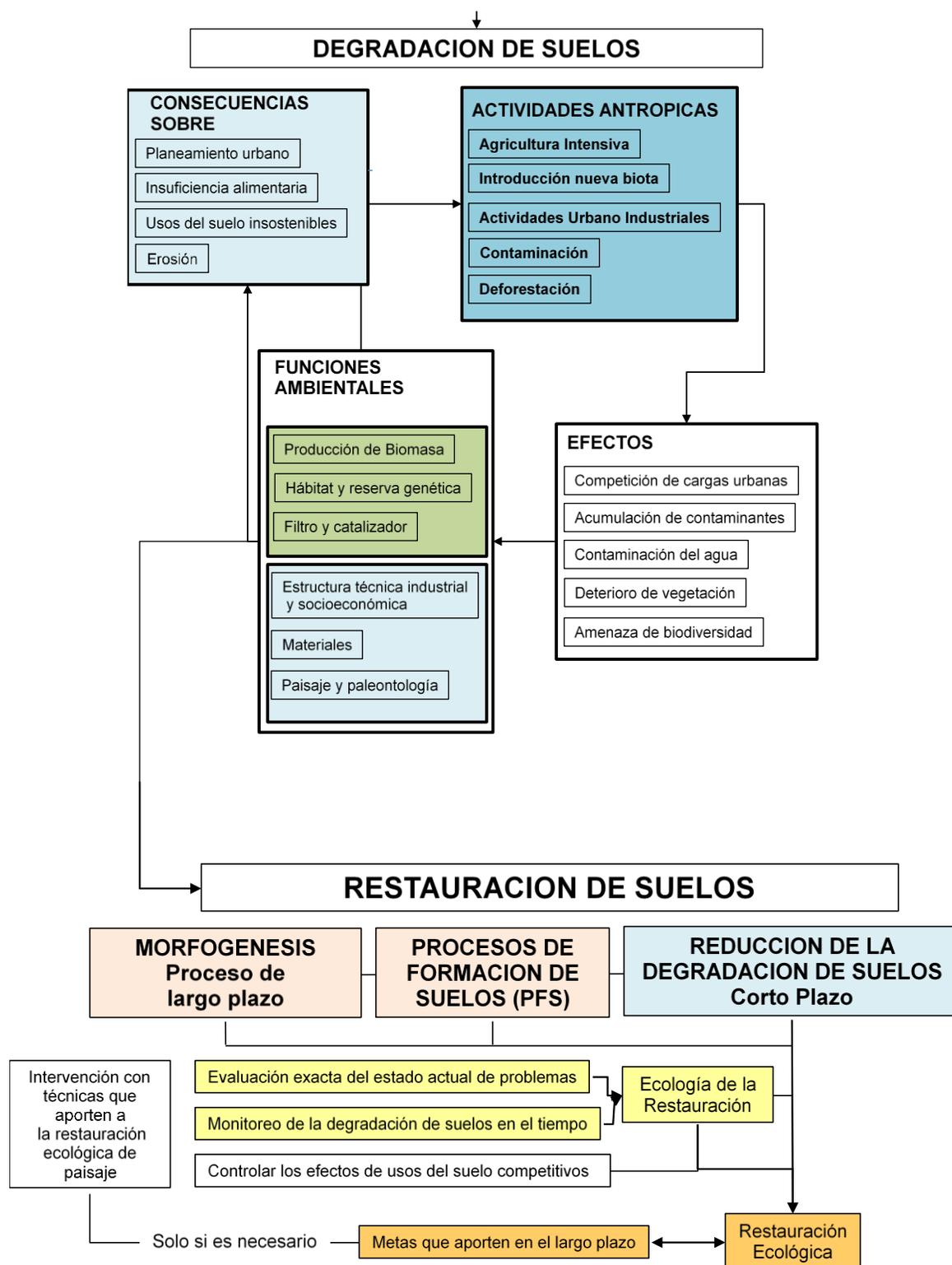
disturbios se pueden categorizar en tres grupos: los de *tipo estrés* si se generan cambios de crecimiento y productividad que no afectan la salud e integridad de los ecosistemas, *disturbio moderado* cuando los cambios no pueden ser recompuestos por la capacidad resiliente de los ecosistemas y *daño* cuando se generan alteraciones permanentes a los ecosistemas, se altera la biodiversidad y se producen cambios demográficos (Clewell et al., 2013).

La degradación implica el cambio irreversible de la posibilidad de los suelos para ejercer su función de albergue y sostenimiento de la vida, así como para ejercer otras funciones asociadas al filtro y la catalización de sustancias. Este cambio de condición afecta la vida de los seres humanos por cuanto altera los ciclos biogeoquímicos desde el nivel macro, pero sólo se visibiliza a raíz de la afectación de actividades económicas de gran sensibilidad como la producción de alimentos, la competencia de usos de tipo industrial y urbano, el incremento del riesgo por colmatación de los cauces de los ríos o la imposibilidad de regular los ciclos hidrológicos afectados por cambios en el clima, generando en su conjunto afectaciones globales que para la escala espacio-temporal, permiten deducir que el cambio degradativo de los suelos es resultado eminentemente antrópico. Lal et al. (1997) afirma con claridad que la degradación de los suelos deriva principalmente de actividades del hombre contrapuestas a la geomorfología como fenómeno natural progresivo de modificación del paisaje por erosión. De la misma forma, se afirma que los procesos geomorfológicos son agentes básicos modificadores de la superficie de la tierra, que afectan y son afectados por el clima, la vegetación, los disturbios y los componentes bioquímicos (Keane et al., 2015; Whitbeck, Oetter, Perry, & Fyles, 2016).

El régimen de disturbios puede ser cíclico e involucra las actividades antrópicas, los efectos y consecuencias de estas actividades, así como las funciones ambientales de los suelos. Cada vez que el ciclo se repite en las condiciones actuales tiende a ser degenerativo causando daños de difícil reversión sobre la hidrosfera y atmósfera. Esta situación lleva a la necesidad de integrar la capacidad resiliente de los suelos, punto central de la restauración de suelos. Lo conveniente es inicialmente realizar una evaluación que permita determinar el grado de deterioro, el monitoreo constante de los suelos afectados, el control de los efectos adversos y posteriormente la implementación de las medidas de remediación como las que se describen a lo largo del presente trabajo. Estas medidas deben incluir la rehabilitación, reclamación y restauración ecológica, teniendo claras las metas técnicas y estrategias provistas por la ecología de la restauración figura 1-1.

Figura 1-1. El Regimen de disturbios en la degradación y restauración de suelos





Fuente 2. El autor con base en Lal et al. (1997).

## 1.1 El Régimen de Disturbios de la región Alto Andina

Se define *Régimen de Disturbios* como el conjunto de patrones espacio temporales, así como la magnitud de un disturbio o de un conjunto de disturbios que ocurren en un ecosistema.

La capacidad de regeneración de un bosque depende de las características y condiciones particulares, tanto del parche mismo como de su zona de borde. Una consecuencia de la fragmentación es la creación de zonas de borde en el límite entre los parches de bosque y la matriz circundante. Estos ambientes de borde, generados por eventos de disturbio y sucesiones entre comunidades de vegetación adyacentes, determinan en gran medida el desarrollo de los procesos ecológicos en los paisajes fragmentados. Se debe a que los bordes producen cambios en las condiciones microclimáticas, así como en la distribución y disponibilidad de recursos requeridos por las plantas para establecerse y crecer, ejerciendo un efecto significativo sobre el crecimiento de las plántulas y de los patrones de supervivencia a escala del paisaje (Montenegro & Vargas, 2008).

La claridad en el diagnóstico sobre las causas y secuenciación que generaron el disturbio o desarreglo de una situación ecosistémica inicial en niveles y escalas definidas, es la ruta de una adecuada aplicación del régimen de disturbio, que se tipifica como el factor de mayor incidencia en la dinámica de bordes, la restauración del bosque Alto Andino y la diversidad de árboles en escalas locales y regionales (A. Montenegro & Vargas, 2008). Igualmente, los relictos del medio original sirven para definir la trayectoria de referencia para la restauración de ecosistemas. En el caso del perfil que muestra los horizontes de suelos se pueden observar los depósitos superficiales y materiales parentales de donde partió la edafogénesis (IGAC, 2015a). La desaparición de estos depósitos superficiales conformados por conglomerados minerales volcánicos y sedimentarios con un mediano periodo de evolución edáfica justifica por qué el elemento suelo termina convirtiéndose en una barrera adicional al proceso de restauración (Vargas, 2007; Barrera, Contreras, Garzón, Moreno, & Montoya, 2010).

Según Vargas (2007), las consecuencias de los disturbios como la pérdida de heterogeneidad y de hábitats hacia procesos sucesionales como la sabanización, paramización o aridización son fenómenos silenciosos que están transformando la realidad ecosistémica diversa colombiana y principalmente el bosque Alto Andino (Vargas, 2007).

Adicionalmente existe una relación directa entre esos fenómenos ecosistémicos con fenómenos climáticos como el viento, la radiación solar y precipitación, los cuales se evidencian principalmente sobre lo horizontes de los suelos.

Por lo tanto, realizar la reconstrucción histórica y jerárquica de los disturbios del ecosistema a restaurar con sus dinámicas de transformación, es de gran utilidad prospectiva entendiendo que la restauración es el proceso de asistir de manera indirecta para reiniciar las trayectorias que tenía el ecosistema antes de la perturbación (Clewell et al., 2013). Así la trayectoria de referencia o ecosistema modelo hacia el cual dirigir los esfuerzos de restauración sobre criterios biótico y abióticos, incidirá en las trayectorias biológicas sucesionales.

En tal sentido, el régimen de disturbios como ordenador conceptual contribuye con la comprensión, evaluación y estimación exacta del daño y las causas, donde es posible realizar un análisis integral de las acciones y variables sociales que llevaron a generar afectaciones sobre la superficie terrestre y la estructura natural del suelo, previamente a proponer medidas de remediación. En consecuencia, el régimen de disturbios constituye la primera etapa de la Evaluación Ambiental.

## **1.2 Restauración Ecológica y Ecología de la Restauración**

La restauración es una disciplina nueva, que ha puesto de manifiesto el papel fundamental que el conocimiento logrado por la ecología debería aplicar a los ecosistemas afectados por el hombre (Jordan, Gilpin & Aber, 1987). Se tiene referencia de este cambio desde cuando la inspiración filosófico-práctica de Aldo Leopold en la década de los 30's aplicada a su propio predio en la ribera del río Wisconsin se unió a la de un grupo de voluntarios para crear el arboretum de la universidad de Madison. De la acumulación de conocimiento sobre el mismo arboretum durante más de 50 años, más el amplio conocimiento sobre ecología y una naciente experiencia en prácticas de restauración en Estados Unidos y el mundo, los autores que conformaron la *Sociedad Internacional de Restauración* (SER), analizaron décadas después que al quedar cada vez menos ecosistemas sin la afectación del hombre, propusieron definir la Restauración Ecológica como el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, Clewll, Aronson & Winterhalder, 2004).

Entendida de esta manera, el propósito de la restauración es alcanzar la autoorganización y auto sustentabilidad de los ecosistemas al punto de recuperar su resiliencia frente al disturbio.

Analizada como la visión sintética de la ecología, la restauración al unir teoría y práctica se plantea no sólo como una tecnología ambiental empírica sino partiendo de la dificultad que implicaba integrar comunidades de plantas, era más una técnica de investigación básica que intentaba resolver preguntas específicas en la difícil tarea de reensamblar, reparar o ajustar ecosistemas que han sido deteriorados o dañados, a partir del conocimiento del comportamiento de las poblaciones, para que vuelvan a funcionar. Es posible llevar esta idea un paso adelante y hacer que sea más efectiva, si el esfuerzo de restauración es diseñado específicamente como experimentos planeados, en lugar de experimentos empíricos improvisados.

Posteriormente la SER planteó que la restauración ecológica holística posee determinantes como la necesidad de unir esfuerzos en diferentes campos, grupos de interés, estratos sociales y culturas alrededor del mundo (tabla1-2) en torno a la recuperación de los servicios ecosistémicos con un propósito global que debe partir de una iniciativa local de largo plazo, buscando lograr auto sustentabilidad a partir de un consenso (Clewell et al., 2013).

**Tabla 1-2.** Objetivos y perspectivas de la Restauración Ecológica

Perspectiva	Definición
Ecológica	Actividad intencional de Reiniciar procesos que fueron interrumpidos cuando el ecosistema fue deteriorado.
Conservación	Recupera biodiversidad en el escenario de crisis de extinciones propiciadas por el humano.
Socioeconómica	Recuperar servicios ecosistémicos para el beneficio de la gente.
Cultural	Es la vía de fortalecer participativamente lazos de comunidades, instituciones y relaciones interpersonales en un propósito común.
Personal	Permite reconectarnos con la naturaleza y restaurarnos, así como a los ecosistemas disturbados.

Fuente 3. Adaptado de (Clewell et al., 2013)

De estas nociones se suscita la división entre *Restauración Ecológica* como el conjunto de acciones restaurativas parciales para incrementar la recuperación del ecosistema o mejora ecológica y la *Ecología de la Restauración* como la ciencia aplicada que brinda las bases conceptuales, los modelos (conceptuales, empíricos, matemáticos), los métodos para las mediciones y las herramientas (matemáticas y estadísticas) para que los técnicos puedan confirmar hipótesis y continuar realizando las prácticas de restauración ecológica. Se tiene claro que no se consiguen los resultados directamente, sino que se manipulan las propiedades biofísicas para que sean los mismos organismos quienes realicen el proceso de restauración y el cual pretende lograr el auto sostenimiento. Las dos disciplinas requieren trabajar en conjunto para mejorar su efectividad (Clewell et al., 2013).

Desde este punto de vista, Jordan et al. (1987) argumentan que la Ecología de la Restauración se debe realizar como suplemento integrador heurístico y quizás en ocasiones como punto de partida, aplicando análisis puntuales sobre objetivos de investigación específicos del escenario de restauración, con un menor grado de incertidumbre al reducir las variables y con el apoyo de la teoría ecológica.

Aunque la restauración pasiva, es decir la realizada por la misma naturaleza, no debiese ser la única alternativa por la responsabilidad antrópica sobre el deterioro, en muchos casos termina demostrando ventajosos mecanismos producto de la sumatoria de resiliencias de los organismos sobrevivientes de un ecosistema, lo cual debe ser incremental con un mayor nivel de biodiversidad. Para esto la ecología de la restauración debe apoyarse en el método científico para validar los resultados de la restauración ecológica, una por una las variables, por cuanto las condiciones fueron manipuladas irreversiblemente y teniendo el tiempo de recuperación como factor en contra, la gestión activa ofrece una única oportunidad para los restauradores por cuanto la pérdida actual de biodiversidad lleva al empobrecimiento, la simplificación y desestabilización (Barrera-Cataño & Valdés-López, 2007; Vargas, 2007; Clewell et al., 2013).

La SER también indica que la restauración de ecosistemas perturbados debe estar enfocada a restaurar la continuidad ecológica hacia el futuro en lugar de pretender restablecer los ecosistemas históricos, lo cual puede resultar contraproducente o quizás no llegue a ser un objetivo realizable. En una visión coevolutiva, que ciertamente se desarrolla sobre la práctica con ecosistemas altamente deteriorados y con una

biodiversidad limitada, se propone inclusive restaurar con sustituciones de especies y arreglos a la estructura ecológica, lo cual producirá por la ruta de la adaptación un acercamiento a la continuidad histórica de los ecosistemas.

Para este fin, es esencial definir el *estado ecológico* como la manifestación o expresión más cercana de la condición de un ecosistema según su evolución biótica y la transformación abiótica. Dependiendo de la forma en que ocurrieron, la intensidad y frecuencia del disturbio se puede categorizar como *estrés*, *disturbio moderado o daño*, donde *degradación* corresponde al disturbio en un largo periodo de tiempo, *daño* si sucede en un evento puntual y *destrucción* si se elimina todo el material orgánico (Clewell, Aronson & Winterhalder, 2004; A. F. Clewell et al., 2013)

La *trayectoria de referencia* de manera complementaria se define como el referente hacia el cual dirige la atención la restauración ecológica, según los objetivos propuestos. Es importante en este sentido adoptar el concepto de *mosaico de paisaje* como un área determinada del territorio donde se encuentra un patrón de parches, corredores y matriz, que producen patrones que son reproducidos y reconocidos en el espacio y donde se pueden encontrar otros subjetivos relativos a los grupos sociales como la historia (Comín, 2010).

Los citados autores de la Sociedad Internacional de Restauración ecológica (SER, 2004) definen *rehabilitación* como la reparación de procesos ecosistémicos, productividad y servicios tratando de alcanzar el re establecimiento del mayor nivel posible de biota en términos de composición de especies y estructura de comunidad y *reclamación* es un término preliminar que designa la conversión de tierras que eran percibidas como de menor valor económico hacia una condición productiva. Esta sociedad cita que para llegar a proponer un proceso de restauración ecológica integral se deben ordenar las condiciones, los tipos de valores y las divisiones de la realidad que dirigen los procesos de restauración.

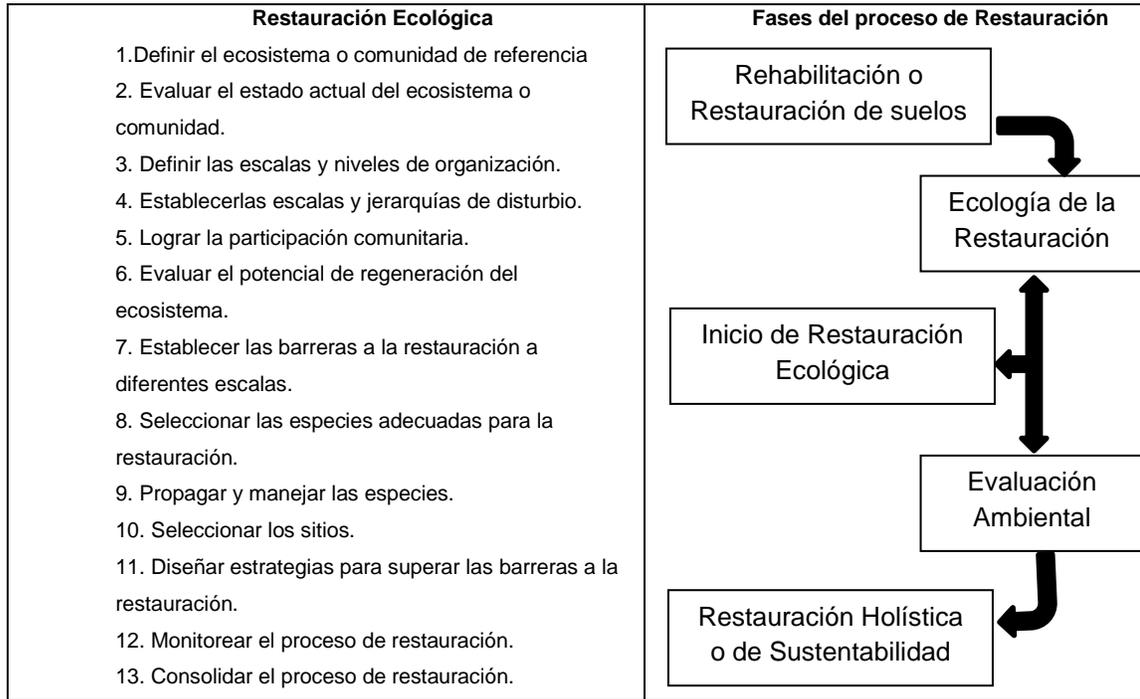
Como teoría aplicada, la Federación Europea de Bioingeniería conformada por las asociaciones de Suiza, España, Alemania, Austria e Italia, define la *bioingeniería de suelos* como el tratar de construir de un modo cercano a la naturaleza y crea la guía metodológica, con el objetivo de incitar a la utilización de plantas como material de construcción de base acompañadas de medios técnicos (Zeh, 2007).

---

En el escenario post-minero existen componentes que añaden complejidad al trabajo de restauración como el biótico del suelo, ante lo cual disciplinas como la ecología de suelos brindan un mayor conocimiento respecto del papel microbiológico en el ámbito mineral condicionante de los procesos de formación diverso e incomprendido en la especificidad de los ecosistemas intervenidos (Diaz Triana, 2007; Harris, 2009; Wortley, Hero, & Howes, 2013). Este nivel de complejidad según Vargas (2007), en el cual las disciplinas teóricas y prácticas se suplementan para definir objetivos, realizar pruebas, vincular a la comunidad y retroalimentar efectivamente el proceso hacia su consolidación es comprendido metodológicamente cuando se proponen los pasos en el proceso de restauración (figura 1-3, izquierdo) que no intenta imitar los ecosistemas de referencia o sus funciones sino la autoorganización sostenible y persistente, que alcance diferentes características como la resiliencia, composición y estructura.

Sobre estas consideraciones se visualiza (figura 1-2, derecho), que la práctica de restauración ecológica es suplementada por el conocimiento de las investigaciones de ecología de la restauración, la cual verifica la necesidad de rehabilitar los procesos de suelos y de articular lo ambiental para llegar a una comprensión holística y sustentable del proceso de restauración. Así, la retroalimentación que provee la ecología de la restauración permitiría observar la autoorganización en el nivel biótico, que debería entonces estar soportada en una resiliencia de los suelos y en la sustentabilidad ambiental (ecosistema-cultura) para ser integral en un escenario de degradación como el minero.

**Figura 1-2:** Pasos de la restauración en el escenario posminero.



Fuente 4. Adaptado de (Vargas, 2007)

### 1.3 Suelos

Acerca de la definición de suelo, existen desde el fundamental trabajo de Vasili Dokushaev a finales del siglo XIX, innumerables estudios en pedología que llegan a consensos respecto a los factores formadores del mismo (clima, organismos, materiales parentales, relieve y tiempo), que conforman un cuerpo natural no consolidado sobre la superficie de la tierra que bajo múltiples procesos y combinaciones produce muchas posibilidades de evolución (Bockheim & Gennadiyev, 2009).

Estas se encuentran mediadas por un proceso denominado meteorización o desagregación del material litológico por múltiples factores, que es considerado el fenómeno de mayor incidencia en el desarrollo topográfico y la evolución del paisaje en la tierra. Una vez alcanzada esta meteorización física, sumada a la alteración química y la acción biológica se logra la *el intemperismo* el cual se refleja en composiciones y propiedades que generan clasificaciones taxonómicas en donde se entremezclan causas y efectos de un sistema que tiene como objeto puntual, permitir el desarrollo de las plantas

y en una visión más general sostener los procesos de la biogeósfera (Tandarich, 1994;Turkington et al., 2005; citados en Bockheim & Gennadiyev, 2009).

La meteorización sucede sobre minerales, mineraloides y materia orgánica generando condiciones para la formación de suelo:

*“Los ecosistemas terrestres no pueden ser cabalmente conocidos si no se entiende la naturaleza del material geológico y los procesos de alteración química y física por medio de los cuales las estructuras cristalinas de las rocas van liberando cationes libres y propiciando la aparición posterior de los fenómenos que originan el suelo, interfase prodigiosa entre los diferentes reinos de la naturaleza.”* (León, 2007).

El estudio de suelos se ha dividido según su énfasis como ciencias de la tierra o ciencias aplicadas en *pedología* como la ciencia que estudia la génesis, desarrollo y taxonomía de suelos y específicamente del *pedón* comprendido como la mínima unidad de suelos (unidad más pequeña de volumen de tipo poligonal de 1 a 10 m<sup>2</sup>. aproximadamente), la *edafología* la relación, procesos y capacidad del suelo respecto a las plantas, la *geomorfología* referente a las formas de la tierra y composiciones de la roca, *la ecología de los suelos* que investiga los procesos bióticos-abióticos del suelo, las cuales en conjunto han sido denominadas ciencias de la tierra.

De estas disciplinas se han desprendido múltiples definiciones de suelo que según revisión (Anexo A) denotan un cuerpo altamente complejo y en permanente tendencia de transformación.

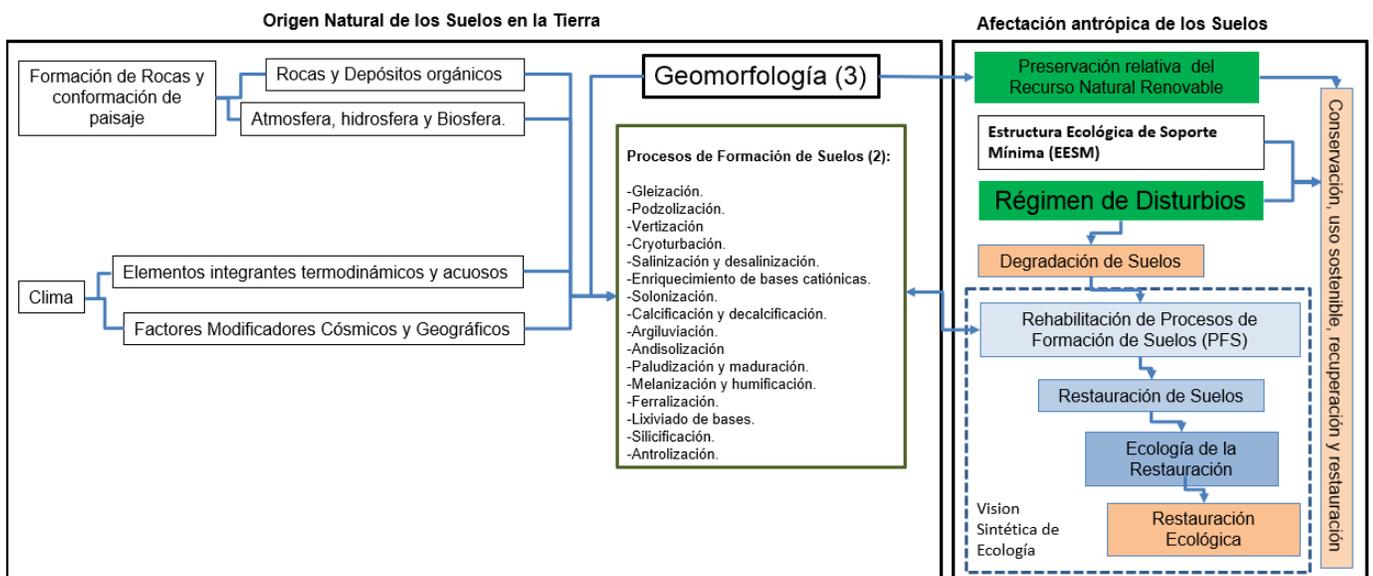
### **1.3.1 Procesos de Formación de suelos y Estabilidad Estructural**

Según la pedología los factores de formación de suelos son las causas y las propiedades son las consecuencias de procesos evolutivos que partieron de la intemperización y que junto con la biocenosis (procesos de comunidad biológica) transformaron la matriz litológica, conformando un manto de alteración sobre la corteza terrestre. Para que exista suelo se ha reconocido que se requieren material parental (mineral y orgánico), material meteorizado (en transformación), gases, agua, microorganismos y procesos funcionales (físicos, químicos y biológicos) que los integren (Bockheim & Gennadiyev, 2009).

Según se observa en la figura 1-3, los *procesos de formación de suelos* (PFS) son las dinámicas que integran los factores formadores (roca, clima, relieve, organismos y tiempo) en procesos físico-químicos globales de fragmentación, alteración y translocación de sustancias que son determinantes no solo en su génesis milenaria sino en las posibilidades de restauración, teniendo en cuenta el disturbio antrópico recibido y que limita igualmente su prospección. Según Bockheim & Gennadiyev (2009) los procesos más representativos se agrupan en 17 clasificaciones: gleización, podzolización, vertización, cryoturbación, salinización y desalinización, enriquecimiento de bases catiónicas, solonización, calcificación y decalcificación, argiluviación, andisolización, paludización y maduración, melanización y humificación, ferralización, lixiviado de bases, silicificación y antrolización (Anexo B).

De igual manera los Procesos de Formación de Suelos (PFS) son la herramienta de interpretación de la historia litológica del planeta, que plasma su memoria de subida y bajada de sustancias en los horizontes de un perfil de suelos, pero que debido a su largo periodo de formación se percibe como un cuerpo imposible de recrear una vez ha sido degradado.

**Figura 1-3.** Procesos de Formación de Suelos soporte de la restauración.



Fuente 5. El autor con base en Lal et al., (1997); Bockheim & Gennadiyev, (2000); Vargas, (2007); IGAC, (2016)

---

Producto de estos procesos, la capacidad de intercambio catiónico, la capacidad de retener el agua y por último la fertilidad de la tierra, características emergentes que lo hacen insustituible para la vida, hacen que el suelo deba ser comprendido como un ecosistema en sí mismo que alberga la biocenosis edáfica. (León, 2007).

Se denomina *estructura del suelo* a la condición de mantener un excelente y estable almacén de sus agregados o partículas para crear los poros en donde el agua queda prisionera, actuando como esponja retenedora en el largo plazo, lo cual es según los especialistas la llave de la fertilidad de la tierra (León, 2002). Esta estructura tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, haciendo que operen eficientemente o en caso contrario se constituye en un factor limitante en la producción (H. Montenegro, 1991). Como punto de partida, se tiene *la arquitectura de la matriz del suelo*, la cual se refiere a la distribución de poros y partículas donde se aloja todo el carbono orgánico entre granos de partículas discretas, como moléculas absorbidas por la superficie de las partículas minerales. Esta matriz, definida por la capacidad de retener agua, la adecuada porosidad y pH, más el arreglo de estructura química de los minerales del suelo, determinan la estabilidad biológica del carbono orgánico del suelo como punto de partida, para que en el proceso de ciclo de carbono, se reduzca la mineralización del mismo y se sostenga la fertilidad para las plantas (Krull, Baldock, Skjemstad, CRC for Green house Accounting, & CSIRO Land and Water, 2001). Actualmente se reconoce que la adecuada *“organización espacial del componente mineral y orgánico”* conocida como *estabilidad estructural*, es necesaria como condición básica para que pudieran moverse minerales, gases, agua y materia orgánica en los procesos sucedidos por millones de años en la formación de los horizontes del suelo (Pérez-Arias, 1992).

Aunque desde el punto de vista edafogenético se perciba la importancia del concepto estructura del suelo en la formación y diferenciación de los horizontes, y exista un consenso tanto de sus expresiones morfológicas como de su utilidad en la aireación y permeabilidad necesarias para el crecimiento de las plantas, siguen siendo inciertas algunas de sus determinaciones y mediciones, por cuanto existen múltiples criterios y metodologías relacionadas con la evaluación del nivel de saturación de humedad y de los procesos de floculación y agregación (Pérez-Arias, 1992). Algunas definiciones sobre estructura del suelo intentan mostrarla como una propiedad físico química que genera

cierta asociación de partículas, para otros enfoques es la consecuencia de los espacios de dichas partículas o porosidad ver tabla 1-3:

**Tabla 1-3.** Definiciones sobre Estructura del Suelo

Definición de Estructura	Autor / año
Constitución física del material del suelo expresado como el tamaño, la forma, organización y grado de desarrollo de las partículas primarias y los espacios vacíos en unidades estructurales formadas natural y artificialmente	Brewer (1964)
Organización espacial de los constituyentes del suelo	Henin (1976)
La agregación de las partículas primarias en partículas compuestas o agregados, que se encuentran separados de otros agregados adyacentes por superficies de debilitamiento.	SOIL TAXONOMY
Geometría de los espacios porosos	Greenland y Hayes (1978), Hamblin (1985).
Función compleja que implica cohesión y adhesión entre las partículas y que supone también una disposición y orientación geométrica de estas, así como su estabilidad bajo condiciones variables de humedad y compactación.	Avnimelech (1986)
La heterogeneidad espacial de los diferentes componentes o propiedades del suelo.	Dexter (1988)
Agrupación de las partículas texturales para formar agregados que constituye la característica física más importante del suelo y que puede ser evaluada en función de su tipo, clase y grado.	IGAC (2014)

Fuente. 1 Elaboración del autor a partir de Perez-Arias, (1992)

Desde otro punto de vista es de aclarar que la agregación o formación de partículas compuestas a partir de partículas simples por floculación, se produce por fenómenos electro cinéticos de partículas cargadas negativamente, entre la cuales se hallan muchos coloides que llegan a ser unidos por otras de carga contraria. De manera complementaria, *la cementación* consiste en el enlace mutuo de las partículas floculadas por otras sustancias llamadas cementantes dentro de las cuales tenemos materiales orgánicos (humus) e inorgánicos (Al, Fe, carbonatos, óxidos etc.) (Calderón-Saéñz, 2017).

*La estabilidad estructural*, es el resultado de una suma de mecanismos que en términos generales brindan al suelo protección ante la degradación por acción del exceso de riego, viento, laboreo o utilización de maquinaria. (Pérez-Arias, 1992). Como factores intrínsecos o componentes constitutivos de los agregados, se encuentra la materia orgánica producto de la presencia y/o de las secreciones de los microorganismos, la composición granulométrica (principalmente arcillas y otros tipos mineralógicos), los cationes de cambio, (sobre los cuales existe claridad de los efectos del sodio, calcio en la dispersión en la floculación) y finalmente el pH que es más una consecuencia del factor anterior. Como extrínsecos se tienen los procesos de desecación-humectación, la temperatura, la

erosión y el factor humano que, a través de sus prácticas de laboreo, rotación de cultivos, sistemas de riego entre otros, la determinan.

La relación entre estabilidad estructural y otras propiedades físico-químicas del suelo generan aireación y permeabilidad que se comprenden como de gran utilidad contra factores adversos como la erosión (interna y externa) y se describen como elementos determinantes en la génesis del suelo al intervenir en mecanismos como la argiluvación (movimiento de arcillas), cementaciones de carbonato cálcico, oxihidróxidos de hierro y aluminio y el carácter plíntico (mezcla de hierro y arcilla, pobre en materia orgánica) de algunos suelos.

Según el IGAC (2014) :*“Cuando los agregados son inestables, al caer la lluvia se deshacen y las partículas finas que los componen se concentran en la superficie, obstruyendo los poros y afectando su aireación y drenaje interno”* Por tanto se identifica que se requieren como elementos claves para el desarrollo de la estabilidad estructural en los suelos, la presencia de arcillas y de materia orgánica. Calderón-Saénz (2017), argumenta como frecuentes el logro de los enlaces de cuarzo con arcilla, pero poco factibles en teoría los de cuarzo con materia orgánica, debido a la inexistencia de cargas en la superficie del cuarzo sobre las cuales se pueda adherir una molécula orgánica.

Por tanto, se requiere en el análisis reconocer la existencia de clasificaciones de diferentes fracciones de materia orgánica según su proceso de descomposición y disponibilidad (Wallace & Wallace, 1994): la fracción estructural de los detritus, la fracción metabólica de los detritus, la fracción activa viva del suelo, la fracción lenta y descomponible o compost maduro y finalmente la fracción orgánica pasiva altamente estable y recalcitrante que puede durar alrededor de 1000 años en descomponerse. Si bien producto de la descomposición de plantas y microorganismos se producen diversos tipos de sustancias desde compuestos alifáticos hasta aromáticos complejos, todos presentes en el humus, se ha observado algunas sustancias orgánicas que pueden tener mayor incidencia en la estabilidad estructural de los suelos como los polisacáridos, donde se ubican los metabolitos exudados por hongos en los procesos de descomposición de fuentes orgánicas.

### 1.3.2 Mico restauración

Los suelos, son frágiles resultados materiales de la estrategia de la vida para captar y almacenar energía de dos potentes fuentes, el sol y el núcleo terrestre, encaminados hacia la colonización gradual del resto de los materiales inertes de la litosfera para el sostenimiento de los vegetales y garantía de la vida de otros seres. Es así como pueden ser descritos como sistema, membrana, reactor, memoria y regulador de la interacción de energía y materiales entre lo biótico y abiótico de la biosfera (Runge, 1973; Hugget, 1997; Targulian & Sokolova, 1996; Dobrovolskii, Nikitin, & Karpashevskii, 2001 contenidos en J.G. Bockheim, A.N. Gennadiyev, R.D. Hammer, 2004). Filtrando, regulando, albergando agua, gases, minerales y materia orgánica para todos los procesos vivos, los suelos son el inicio y final de la cadena trófica que se ha venido desarrollando por millones de años. El proceso edafogénico o de formación en función de las plantas puede observarse con facilidad en los horizontes o capas de un perfil determinado no mayor a un metro, ahí se encuentra su fragilidad. Si bien la corteza terrestre también es el resultado de la transformación por alteración y meteorización de materiales de la litosfera variando su grosor de 70 kms en la parte continental y 10 kms en la parte marítima, se diferencia de los suelos porque estos son el producto de la interacción con la vida.

Lal et al. (1997) argumenta que los suelos constituyen la interfaz de transformación de los materiales parentales que son depósitos o acumulación energéticos de los minerales que emergen desde el núcleo terrestre, por lo cual el intemperismo, implica la degradación de esta forma de energía acumulada hacia formas menos disponibles y dispersas, lo cual daría por incluidos a los suelos en la dinámica entrópica. No se ha determinado el efecto anti entrópico de la fracción micro orgánica que habita, transforma y ayuda en la construcción de los suelos y que puede constituir un volumen equivalente a la biomasa aérea de las plantas.

Los microorganismos juegan un papel crítico en el ciclado de nutrientes, la formación de estructura y en la interacción con las plantas, procesos básicos para la restauración de ecosistemas que solo recientemente han sido foco de interés (Harris, 2009).

La biorremediación o solución de problemas ecológicos, cuando se realiza a partir de hongos se denomina *mico remedación* y opera principalmente por mecanismos de

secuenciación y descomposición del material lignocelulósico de las plantas por parte del micelio de hongos filamentosos saprofitos, que inician la cadena trófica y los cuales desencadenan una serie de procesos reconocidos como detritus estructurales fundamentales en la formación de suelo que conforman la base para el equilibrio y salud de los ecosistemas (Stamets, 2005; Singh, 2006; Calderón-Saénz, 2017). Una vez inician estos procesos de descomposición de la materia orgánica, se fraccionan conforme a procesos físicos, químicos y biológicos, que denotan igualmente su posibilidad de aprovechamiento (Wallace & Wallace, 1994).

**Tabla 1-4.** Procesos de descomposición de la materia orgánica.

Denominación de Materia Orgánica (Wallace & Wallace, 1994)	Composición	Relación Carbono Nitrógeno C: N	Microorganismo preponderante	Periodo de Descomposición Aproximado (años)	Denominación de Materia Orgánica (Stamets, 2005)
Fracción estructural de los Detritus	Madera, tallos, paja	150:1	Hongos primarios	3	Degradación Primaria
Fracción Metabólica de los detritus	Hojas, cortezas, flores, frutos, compost.	10:25	Hongos secundarios, actinomicetos y bacterias.	0,5	Degradación secundaria
Fracción activa viva del suelo	Cuerpos de microorganismos y sus metabolitos	5:15	Levaduras, bacterias.	1,5	Degradación Terciaria
Fracción lenta y descomponible	Compost maduro, sustancias húmicas y fúlvicas.	10:1		2,5	Humus
Fracción orgánica Pasiva	Sustancias estables recalcitrantes	7:1		1000	

Fuente 6. Adaptado de (Wallace & Wallace, 1994) y (Stamets, 2005)

El proceso de descomposición de materia orgánica se desarrolla por actividad enzimática extracelular, el cual va a depender de la especie del hongo, por cuanto algunos tienen la capacidad de producir enzimas que degradan rápidamente esta lignina, lo cual se manifiesta por una “pudrición blanca”, comparados a otros hongos que con sus enzimas solamente generan la modificación de la lignina para poder hacer el aprovechamiento de

la celulosa y hemicelulosa entre los que se encuentran los de “pudrición café” y también los de “pudrición suave” (Ward, Hadar, & Dosoretz, 2004).

Una vez se elimina la protección de la lignina, la biodisponibilidad de la celulosa depende también de la acción de las enzimas que la transforman en azúcares simples para ser aprovechados por el metabolismo del hongo en la producción del carpóforo (cuerpo fructífero) o para seguir en su crecimiento micelial (vegetativo). Una vez se cumple su ciclo, aparecen otros hongos conocidos como secundarios, que teniendo una afinidad por los compuestos derivados de la descomposición previa crecen rápidamente en un ambiente que había sido controlado por un solo precursor. Secuencialmente y debido a cambio en las condiciones tróficas, aparecen terciarios que llevan la materia orgánica al proceso de humificación, base de un estable proceso de liberación de nutrientes de suelo, eje de la estructura del mismo y requisito para la fertilidad aprovechable para los vegetales.

## 1.4 Dimensión Ambiental

Un componente de la dimensión ambiental (relaciones ecosistema-cultura) son las relaciones históricas entre la naturaleza y el hombre (Angel, 1995b, 1996). Según este autor, se identifican como elementos constituyentes de la cultura la estructura simbólica (mitos, ideologías, lenguaje) la cual, junto con el conocimiento, desarrollan la *plataforma instrumental de adaptación* (tecnologías, técnicas, infraestructura), a través de la cual se conforman las instituciones y organizaciones sociales (población, economía, política, justicia etc.).

Desde lo simbólico *El discurso*, el cual hace parte de la capacidad general de comunicación y que es comprendido como el lenguaje en uso, se utiliza como herramienta para iniciar la modificación de los símbolos y de las instituciones dentro de la plataforma instrumental de adaptación (Van Dijk, 1997b citado en Hortua, 2016). El discurso ambiental determina los usos del suelo desde las instituciones y dicta los parámetros de política pública.

En la restauración ecológica, la plataforma instrumental de adaptación se debe conformar con los objetivos ambientales y los respectivos ecosistemas de referencia hacia dónde dirigir los procesos. Estos a su vez deben integrar en el discurso, los objetivos sociales de sustentabilidad, los términos de referencia de las instituciones a cargo, el estado de los

ecosistemas, los recursos disponibles, el esquema de ordenamiento territorial etc. (figura 1-5). Cada uno de los anteriores elementos deben ser investigados por la ecología de la restauración que, a partir de una mejor comprensión de los suelos, brinde información soporte para un adecuado ejercicio de planeamiento urbano regional. Finalmente, esto se puede alcanzar a través de esquemas de ordenamiento que den cuenta de una gestión ambiental técnica y participativa que a la vez garantice, la conservación del patrimonio natural, la oferta de agua, prevenga y mitigue riesgos, evite la pérdida de suelos por erosión, garantice el desempeño de actividades productivas y mejore la situación socio-económica de los habitantes y de los entes territoriales (Marquez C. & Valenzuela, 2008).

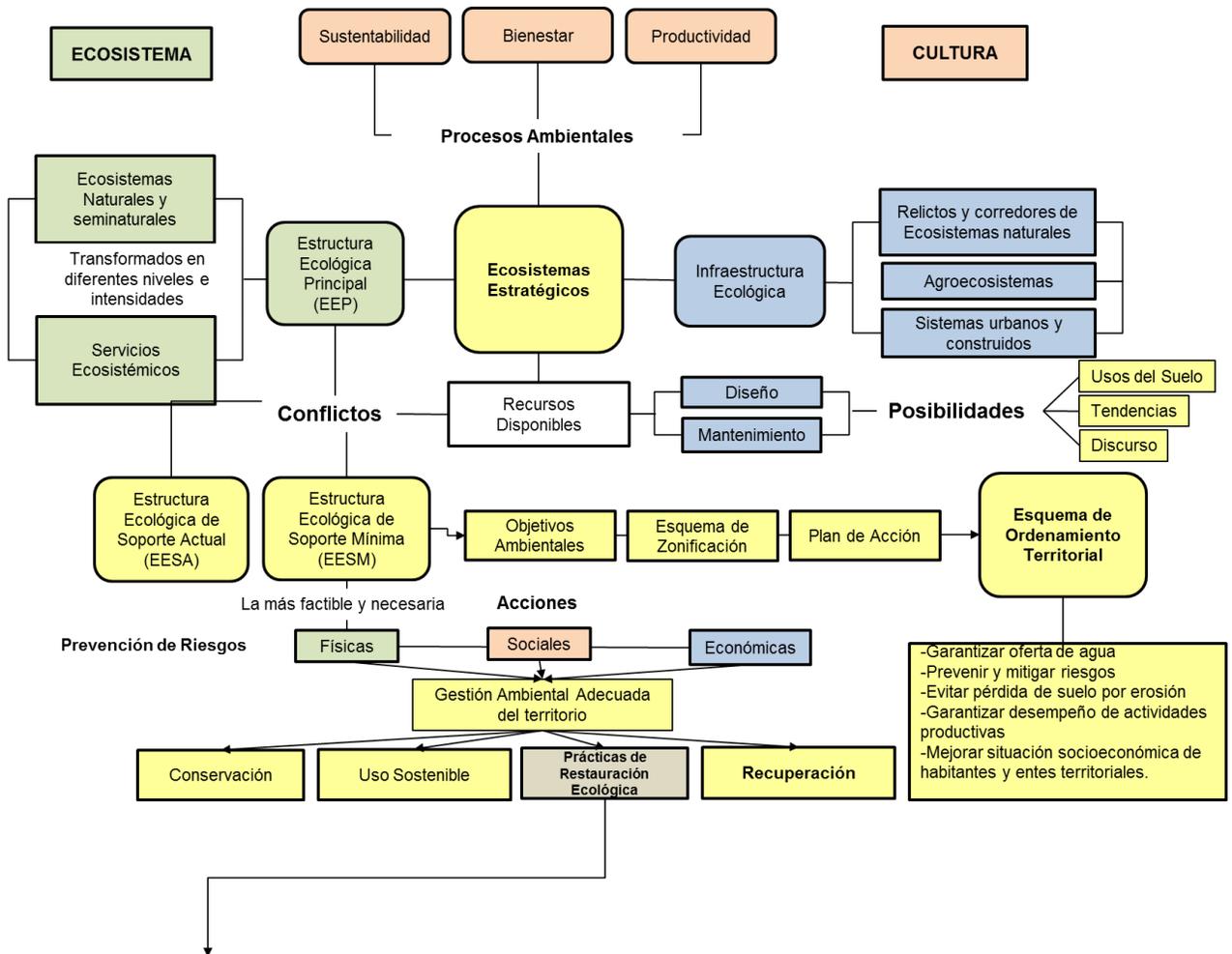
Sobre este cometido y desde la visión de los servicios provistos por los ecosistemas a la sociedad se utiliza el concepto de *Estructura Ecológica Principal* (EEP) definida como: “*el conjunto de ecosistemas naturales y seminaturales que tienen una localización, extensión, conexiones y estados de salud tales que en conjunto garantizan el mantenimiento de la integridad de la biodiversidad, la provisión de servicios ambientales (agua, suelos, recursos biológicos y clima) como medio para garantizar la satisfacción de las necesidades básicas de los habitantes y la perpetuación de la vida.*” (Thomas Van der Hammen & Andrade, 2003). Estos mismos autores, considerando el ordenamiento del territorio plantean la Estructura Ecológica de Soporte (EES), “*como los ecosistemas y áreas naturales que proveen servicios ecológicos de los cuales depende en alto grado los procesos sociales*”, la cual adicionan Marquez & Valenzuela (2008) con el concepto de Ecosistemas Estratégicos .

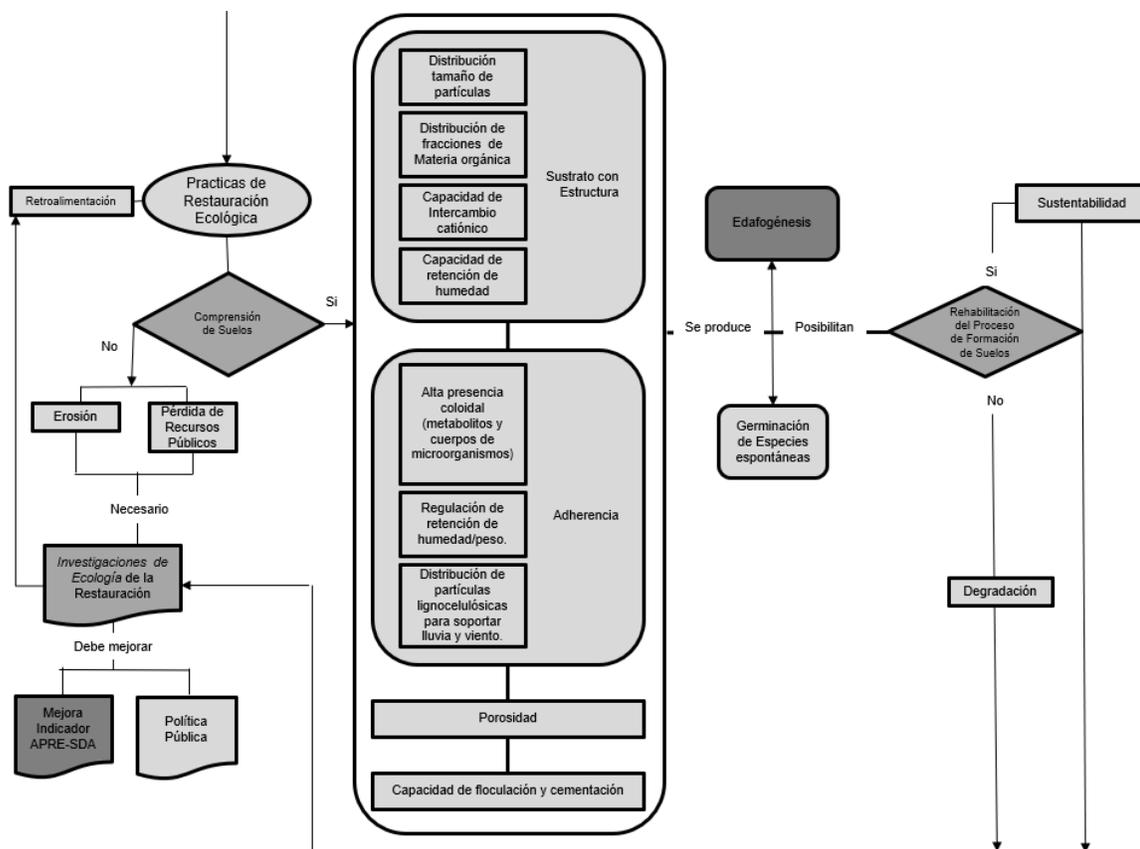
Para poder entender el concepto de *ecosistema estratégico*, primero se debe entender que bajo la idea de ordenamiento territorial existe un mínimo a partir del cual el hombre puede correr el riesgo de perder su sustentabilidad, esta es la *Estructura Ecológica Soporte Mínima* (EESM) que debe surgir de comparar la Estructura Ecológica Ideal y la Actual. Sobre la base de un ejercicio de análisis de recursos disponibles y posibilidades de inversión, se determina la EESM, la cual no puede ser negociada so pena de correr el riesgo de insustentabilidad, por lo cual se determina que ésta llega a ser la más factible y necesaria, siendo la meta mínima de un proceso de ordenamiento que garantice los servicios ecológicos requeridos.

Igualmente se comprende que la Estructura Ecológica de Soporte Mínima (EESM) se conforma con el conjunto de ecosistemas naturales y seminaturales que tiene un área, así

como con la conexión y estado de salud que puede proveer los servicios ecológicos necesarios para garantizar las necesidades básicas de los habitantes y sus posibilidades futuras, más la Infraestructura Ecológica, concebida como los relictos de vegetación natural y seminatural, corredores y áreas a restaurar y recuperar (figura 1-4).

**Figura 1-4 . Dimensión Ambiental en el trabajo y la restauración.**





Fuente 7. El autor.

## 2. Tendencias y Contexto

La degradación de los suelos y la desertificación en los últimos siglos alcanza una cuarta parte de las tierras del mundo, tendencia que también aplica para Colombia teniendo como responsable las actividades antrópicas y siendo las principales, la deforestación, la agricultura intensiva, la expansión urbana, la ganadería, la contaminación de agentes químicos y en menor grado de magnitud la actividad minera (CDB & PNUMA, 2010; MADS, IDEAM, & UDCA, 2015). Infortunadamente, sólo se evidencia la degradación de los suelos a partir de la pérdida de productividad para agricultura, colmatación de cauces de los ríos, riesgos por fenómenos de laderas y por esta misma vía se utiliza la lógica productiva para intentar restaurarlos. Existen, por tanto, diferentes enfoques y visiones para proponer la restauración de suelos y por ende diferentes niveles de efectividad respecto a la recuperación ecológica, pese a la gran inversión de recursos económicos.

Aunque existe un gran bagaje de conocimiento respecto de los factores de formación, procesos y ecología de los suelos desde el siglo XIX y se realizan los análisis de suelos con sus respectivas clasificaciones taxonómicas, se pretende reducir su restauración al traslado sin considerar si quiera el orden de horizontes y tomarlo como un insumo acopiado en obras de ingeniería (Bockheim & Gennadiyev, 2000).

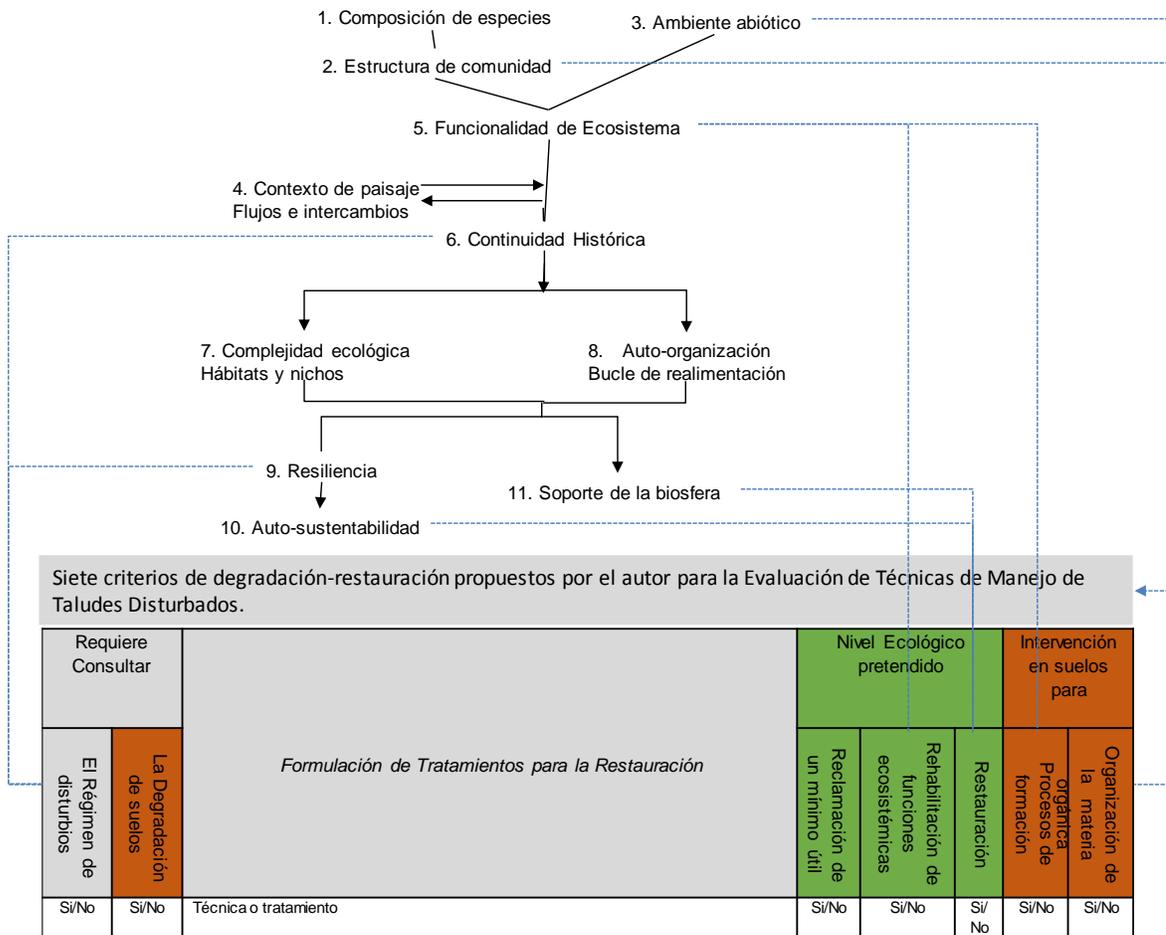
Existen dos escuelas consolidadas en el estudio y tratamiento de la restauración de suelos. La primera de ellas asentada en Estados Unidos, preocupada por la erosión, el daño de las aguas de escorrentía superficial y la colmatación de sus rellenos sanitarios con residuos lignocelulósicos, ha concentrado sus esfuerzos en la utilización del compost para controlar la degradación del suelo y combatir el arrastre de sedimentos. La segunda escuela se encuentra relacionada con las tendencias recientes en bioingeniería y paisaje, que en Europa han centrado su preocupación por la estética, revegetación y funcionalidad de las zonas de alta pendiente degradadas. En Colombia, pese a que existen grupos sólidos de restauración ecológica se presenta una fuerte tendencia por la implementación y aplicación de las técnicas de bioingeniería trazadas en Europa, (a ser revisadas en el presente capítulo), situación que malogra las potencialidades de la restauración ecológica en un país megadiverso.

---

Desde la plataforma instrumental propuesta por el autor y aplicada en la prueba piloto de restauración de suelos en la cantera, se justifica la necesidad de conocer la historia de la degradación y relacionarla con las mejores prácticas de restauración, sobre técnicas igualmente den testimonio de un conocimiento más exacto de los tipos de ecosistemas y su entorno, incluyendo lo histórico, social, cultural, político, estético y moral. Citan (Wortley et al., 2013) que la restauración ecológica tiene en sus manos la posibilidad de incrementar la resiliencia de la biodiversidad y entregar servicios ecosistémicos, pero que para ello se deben mejorar los criterios de evaluación, técnicas y calidad de investigación.

Si bien la SER propone 11 atributos ecológicos (en el orden graficado) que deben seguir los ecosistemas durante los procesos de restauración ecológica (ver figura 2-5), para lograr lo que se denomina como componente abiótico, dentro del propósito de lograr composición, estructura y funcionalidad dentro del presente trabajo, el autor propone la utilización de 7 criterios para evaluar los grupos de técnicas de restauración: dos agrupados en la etapa de conocimiento previo (si requeriría conocer el Régimen de Disturbios y la degradación de suelos), tres atinentes al estado ecológico pretendido (reclamación de un mínimo útil, rehabilitación de funciones ecosistémicas y restauración) y finalmente, dos criterios importantes para restauración de suelos (la intervención en procesos de formación de suelos y la organización de la materia orgánica).

**Figura 2-5.** Atributos de la Restauración Ecológica según la SER (arriba) y 7 criterios propuestos por el autor para la evaluación de técnicas de manejo de taludes disturbados (abajo).



Fuente 8. El autor con base en (Clewel et al., 2013)

De relacionar los citados atributos de restauración ecológica con los 7 criterios propuestos por el autor para evaluar las técnicas de manejo de taludes disturbados en el presente

trabajo, a través del software UCINET v. 6.648 se logró la red de relaciones descritas en el Anexo G.

## **2.1 Uso de cubiertas para restauración en Estados Unidos**

Según el Departamento de Agricultura (AD) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, los mayores problemas ambientales de su territorio lo constituyen la erosión de suelos y la llegada de estos sedimentos a los recursos hídricos de la nación, lo cual le resta a las plantas posibilidades de establecerse, crecer y mantenerse saludables, causa reducción de la capacidad de drenaje, incrementa la colmatación, reduce las poblaciones de organismos acuáticos, incrementa costos de tratamiento de aguas, afecta actividades como los criaderos de peces y los sistemas de riego, y deteriora el valor recreativo y estético de los recursos de agua (Rider et al., 2010; Risse & Faucette, 2015).

De manera específica, los proyectos de construcción son unos de los principales causantes de erosión y de generación de sedimentos, razón por la cual el gobierno federal y algunos estados han emitido directrices como el NPDES (*National Pollution Discharge Elimination System*) que promulga la necesidad de autorización con un plan de manejo de escorrentías para cualquier proyecto que disturbe un área superior a 1 acre de terreno. Estos proyectos tienen el desafío de establecer mecanismos de rápida proliferación de vegetación capaz de contener los efectos nocivos de la erosión superficial y por ende mantener la calidad y fertilidad del suelo (Rider et al., 2010).

De otro lado se han adoptado leyes para reducir el ingreso de materiales orgánicos a los rellenos municipales, ya que en estos momentos el país alcanza los 240 millones de toneladas al año de este tipo de residuos, por lo cual se convierte en un propósito de política pública de muchos estados reducir en un 50% su llegada, logrando resultados satisfactorios como por ejemplo en el estado de California que cuenta con el reciclado de un 31% (Regents of the University of California, 2007). En este mismo sentido, darles un uso a los materiales orgánicos compostados en el control de erosión y restauración de suelos ha contribuido a generar 3000 empresas registradas de venta de compost en el país que contribuyen a varios de esos objetivos públicos. El compost y el mulch han sido probados por numerosos estudios para recubrir taludes disturbados, los cuales han

demostrado a partir de investigaciones, ser más efectivos en reducir el lavado y pérdida de sedimentos si se comparan con los taludes desnudos, aún con el uso de hidrosembras, pegantes de suelo y biomantos (K. Demars, Long, & Ives, 2000; Rider et al., 2010).

Se define el *Mulch* o acolchado como el conjunto de materiales que se aplican sobre el suelo y se usan como cobertura que protege las plantas de los efectos del clima. Igualmente, el *Compost* como el sustrato de secuencia microbiana compuesto de múltiples desechos que se usa como fertilizante por su alto contenido de materia orgánica, la acción de microorganismos e insectos.

Algunos de los estudios más importantes que dieron pie en los Estados Unidos al uso de compost, mulch y materiales de desecho de madera se encuentran:

**Tabla 2-5.** Investigaciones y leyes relacionadas con el uso de compost y mulch para manejo de taludes.

Investigador	Labor Desarrollada
(Meyer et al., 1972).	Una investigación de aplicación de compost en talud con pendiente de 12%, simulación de lluvias de 63 mm h-1, mulch de paja de 2.3 t ha-1 y 10 cm de cubierta.
Ley de California AB939-1989	Pretende reducir la colmatación de los rellenos sanitarios favoreciendo la utilización de compost orgánico para el control de la erosión.
(Storey et al. 1996)	Una investigación de aplicación en taludes de pendiente del 33%, con lluvia simulada 1,2 y 5 tormentas año, con compost y mulch de madera, más pruebas con aglutinante químico
Portland Metro Project 1998	Usó compost de corte de ramas con diferentes mezclas de materiales adherentes artificiales para los taludes de las vías en el trazado.
TEXAS DOT (Department of Transportation) 1998	Aprobó las especificaciones del compost para ser usado en el control de erosión y establecimiento de vegetación
(K. Demars et al., 2000).	El Proyecto del Connecticut (DOT) para evaluación de campo de muestras de compost respecto a las especificaciones del modelo CONEG (Coalition of Northeastern Governors Source Reduction Task Force) de 1996
El California Storm-water BMP Handbook, 2003	En los numerales 1.3.2. establece las posibilidades de uso de mulch en procesos de post construcción: Hidromulch, hidro semillas, pegantes de suelo, mulch de paja, geotextiles, matrices y mulch de madera.
(Demars et al. 2000).	La investigación del (DOT) de Nueva Inglaterra sobre tres tipos de materiales de desecho de madera en taludes de pendientes del 50% y lluvia natural, demostraron ser muy efectivos en el control de erosión en coberturas desde ¾" hasta 3"
(Risse et al. 2001).	La investigación de uso de compost, mulch de madera y gallinaza como controladores de erosión en taludes de pendiente del 10%, con lluvia simulada 167 mm h-1, demostró que el compost y mulch eran de 6 a 10 veces más efectivos en el control de erosión comparado con el suelo desnudo

(Persyn et al. 2004)	La investigación de diferentes compost mezclados con biosólidos y desechos industriales sobre taludes de pendiente del 33%, con lluvia simulada 100 mm h-1, demostró que todos los tratamientos presentaban mejor control de erosión que el suelo desnudo.
(Faucette et al. 2004)	La investigación en taludes de pendiente del 10% y lluvia simulada 77,5 mm h-1, profundidad de 10 cm., de once tratamientos incluyendo gallinaza, compost de desechos de sólidos municipales, compost de desecho de comida, compost de cascaras de nuez y tres grados de mulch de madera, permitieron observar que todos los tratamientos mostraron mejor comportamiento frente a la pérdida de sólidos, a excepción de la gallinaza.
(Grismer and Hogan 2005)	La investigación de mulch de hojas de pino en taludes de pendiente de 50%-60%, lluvias simuladas 60 mm h-1, demostró una reducción del 30% en la producción de sedimentos respecto al suelo desnudo

Fuente 9. El autor.

Concluyendo, algunos resultados producto de investigaciones que permitieron establecer normativas y términos de referencia, muestran que la aplicación de compost redujo la erosión en un 86% comparado con suelos acopiados o trasladados de otro lugar. Adicionalmente, se observó que se reduce un 99% la cantidad de sedimentos que llegan a las fuentes de agua en comparación con el uso de cercas protectoras, y en un 38% cuando se comparan con hidrosiembras (Kenneth Demars & Long, 1998).

Sin embargo, como lo dejan en claro Demars et al. (2000) se logra evidenciar que la mayor parte de los desechos de madera que han sido probados en campo para controlar erosión, no tenían protocolos de análisis de laboratorio que predijeran su comportamiento. Poco a poco se inicia un camino de clasificación de los tipos de compost establecida por la CONEG (Coalition of Northeastern Governors Source Reduction Task Force) donde se identifican y dividen de acuerdo con la gradación de partículas, su composición y madurez microbiológica en compost de uso general, compost manufacturado arcilloso, compost enmienda de suelos y mulch hortícola.

Risse & Faucette (2015) resumen los beneficios del uso de compost como cubierta o como berma de filtración (\*) en:

- Incrementar la capacidad de infiltración en la superficie del suelo.
- Reducir la escorrentía y el transporte de partículas de suelo.
- Incrementar el crecimiento de las plantas y de la cobertura de suelo.
- Reducir la desagregación de partículas del suelo.
- Incrementar la capacidad de retención de agua del suelo.
- Mejorar el pH del suelo para incrementar el establecimiento de vegetación.
- Aliviar la compactación del suelo incrementando su estructura.

- Nueva vegetación que puede crecer directamente en el compost.

(\*) Berma de filtración es una franja compuesta por material filtrante lignocelulósico al lado de las vías, canales u otra obra civil para evitar la erosión por escorrentía superficial.

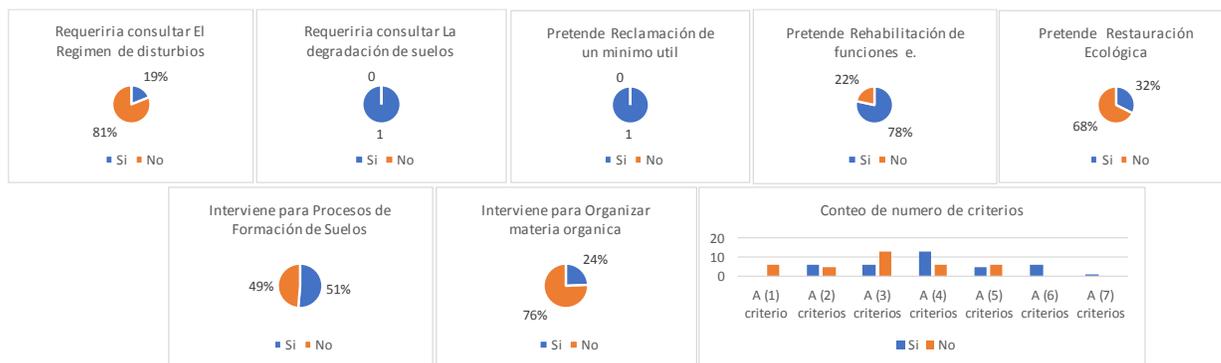
En un segundo momento después de este periodo preliminar de 15 años de investigaciones y pruebas respecto al compost y el mulch para el control de erosión en los Estados Unidos, principalmente desarrolladas por los departamentos de transporte en 34 de los 52 estados, se acumula un acervo de conocimiento respecto a su uso, arrojando como principal conclusión que existen parámetros físico-químicos básicos que se requieren para su elaboración y óptimo funcionamiento como los fijados por el Consejo de Compostaje de Estados Unidos (U.S. Composting Council).

En este nuevo sentido, el Comité para el manejo integrado de residuos de California (CIWMB) encargado del manejo costo efectivo de millones de toneladas de residuos de madera, destinadas al mantenimiento de más de 45.000 millas de taludes de vías del estado, y que le ha restado un 30% la carga de materia orgánica a los rellenos sanitarios, se ha asociado con CALTRANS (Departamento de transporte de California), para usar y encontrarle futuras aplicaciones a un volumen de entre 3,3 y 6,7 millones de yardas cúbicas de compost para vías (Regents of the University of California, 2007). No obstante, la Universidad de California (2007) es enfática en afirmar que es necesario realizar más investigaciones al respecto.

De manera paralela y respondiendo a condiciones de mercado empiezan a aparecer otras técnicas y productos comerciales, tratando de emular los comportamientos del compost, que según la norma de ese país deben aplicar previamente pruebas y evaluaciones para cada proyecto en particular. En este sentido, el Departamento de Transporte de California-CALTRANS (2003) ha realizado una evaluación de 37 técnicas de recubrimiento y más de 200 productos. En general, las prácticas y técnicas se categorizaron como bioingeniería, vía acuática, pendiente ascendente (gradiente de pendiente), mulch y enmiendas. De manera específica se establecieron como categorías de uso: estabilización temporal de suelos (SS por sus siglas en inglés), control temporal de sedimentos (SC), control de erosión eólica (WE) y control de rastreo (TC).

Particularmente al realizar la revisión de las 37 prácticas de cubrimiento de compost y mulch en el Estado de California, a las cuales se les aplica los 7 criterios de evaluación degradación-restauración planteados por el autor, se tiene:

**Figura 2-6.** Evaluación de criterios de restauración en 37 técnicas de control de erosión de CALTRANS (2003)



Fuente 10. Elaborado por el autor a partir de (California Department of Transportation, 2003)

En relación a las técnicas relacionadas en la tabla 2-5, el análisis respectivo mostrado en la figura 2-6 permite afirmar que, de los 37 métodos observados, todos requerirían consultar la degradación de suelos y pretenden la reclamación de un mínimo útil, no así ocurre con el régimen de disturbios ya que no se considera necesario revisarlo. De igual forma, se observa una baja pretensión por la búsqueda de la restauración ecológica. Existe una revisión intermedia por parte de las técnicas en relación con los procesos de formación de suelos y una muy escasa intención por organizar la materia orgánica en la intervención de suelos.

## 2.2 Uso de cubiertas para restauración en Europa

En el análisis multilateral internacional, la comprensión global del flagelo de desertificación lleva a pretender restaurar ecológicamente los ecosistemas y rehabilitar los servicios ecosistémicos que han sido en su mayor parte disturbados, lo cual se plasma en las metas de Aichi del Plan Estratégico de las Naciones Unidas para la diversidad biológica 2011-2020. Este Plan propone en el Objetivo estratégico D la restauración del 15% de las áreas degradadas de suelos para incrementar la resiliencia de los ecosistemas y avanzar en la lucha contra la desertificación (CDB, 2011). En este mismo sentido, la unión europea en la estrategia 2020, reconoce la necesidad de incorporar los servicios ecosistémicos a la dirección de uso del suelo, a la conservación y a las acciones de restauración, siendo esta

última un área nueva de investigación que tiene pocos documentos guías y aproximaciones prácticas del ejercicio (Trabucchi, 2014).

En Europa el objetivo ha sido incentivar la utilización de plantas como material de construcción de base acompañadas de medios técnicos mediante la transferencia de conocimiento de algunos grupos de reconocida experiencia en el área, así como de aportar una visión de conjunto y de grandes construcciones de infraestructura, como trabajo preliminar para la elaboración de las normas técnicas europeas. Así, durante la realización de algunos congresos internacionales de bioingeniería, fue posible reconocer que se tenían diferentes definiciones respecto a los mismos métodos de ingeniería biológica. Una vez publicado el diccionario sobre bioingeniería en el año 1996, se observó que esta publicación constituía un primer paso hacia una mejor comprensión internacional en materia del manejo de cubiertas, situación que fue aprovechada para que se creara la Federación Europea de Bioingeniería (FIEP) conformada por las asociaciones de Suiza, España, Alemania, Austria e Italia, quienes posteriormente elaboraron la guía metodológica para explicar los términos (Zeh, 2007).

Definen los miembros de la FIEP que *la bioingeniería* trata de construir de un modo cercano a la naturaleza, mediante el empleo de materiales de construcción tradicionales con elementos que proceden de la misma naturaleza, para integrar estas construcciones fácilmente desde el punto de vista ecológico y estético. Para el desarrollo de la Bioingeniería se hace especial énfasis en el planeamiento, que reduzca los costos y conduzca a una mejor integración al paisaje. Por otro lado, se resalta idealmente el uso de materiales vivos de plantas o partes de plantas para la construcción, que obtenidos localmente generan una mejor adaptación. Cita el Manual Técnico de Ingeniería Biológica de la FIEP, que la larga duración del desarrollo de la vegetación y la duración de la fase de clímax, permite suponer que las construcciones vivas son superiores respecto a su durabilidad a las obras de ingeniería clásica. Sin embargo, cada sistema biológico depende de su vitalidad.

Como recomendaciones de manejo preliminar, la FIEP sugiere hacer el perfilado de los taludes excesivamente pendientes hasta obtener estabilidad estática, con agua, máquina o agua a alta presión, es decir se intenta que la ladera se consolide con técnicas de bioingeniería. Se recomienda modelar el talud hasta lograr una situación no demasiado

irregular, que con cierta porosidad permita la colonización óptima de la vegetación. Consecuentemente, en el manual de la FIEP se sugieren técnicas de restauración para dos grupos conceptuales: 34 específicas para el manejo hidráulico y 121 referidas a la siembra.

En el presente trabajo se realiza consecuentemente la evaluación de las 34 prácticas de manejo hidráulico detalladas por la FIEP y de las 121 técnicas de siembra, según los 7 criterios de evaluación degradación-restauración planteados por el autor (anexo D).

De la aplicación de los 7 criterios a los dos grupos de técnicas de la FIEP se pudo reconocer que:

**Figura 2-7.** Evaluación de criterios de restauración en 34 técnicas de manejo hidráulico de la FIEP (2007)



Fuente 11. El autor sobre Manual Técnico de Bioingeniería de la FIEP (Zeh, 2007).

**Figura 2-8.** Evaluación de criterios de restauración en 121 técnicas de siembra de la FIEP (2007)



Fuente 12. El autor sobre Manual Técnico de Bioingeniería de la FIEP (Zeh, 2007).

El análisis de la información descrita en las Figuras 2-7 y 2-8 permite establecer que los dos criterios de mayor importancia dentro de los dos grupos de técnicas de restauración, son consultar la degradación de suelos sin revisar el régimen de disturbios y el alcanzar la reclamación de una utilidad mínima. Con un interés medio se halla el alcanzar rehabilitar funciones ecosistémicas, pero sin pretender llegar a la restauración ecológica. Igualmente, se puede observar que los dos criterios de intervención de suelos, procesos de formación de suelos y organización de la materia orgánica no requieren ser consultados mayoritariamente por las técnicas europeas.

## 2.3 Manejo de Taludes disturbados en Colombia

### 2.3.1 Diagnostico

Se ha podido establecer a partir del Estudio Nacional de la Degradación de Suelos por Erosión en Colombia, que el 40% del área del país presenta algún grado de erosión y el 3% un grado severo (MADS et al., 2015). Cita este estudio que en el departamento de Cundinamarca el 80,3% de los suelos se encuentran afectados por algún grado de erosión, el 4,37% por deforestación y el 5% presenta grados severos de erosión, ocupando el 4 puesto a nivel nacional.

Si bien en Colombia los pasivos mineros huérfanos se expresan de manera concreta en taludes desnudos verticales y de gran altura, la remoción del material suelto los ha hecho estables y en el largo plazo con poca frecuencia de riesgos por fenómenos de remoción en masa, contrario a lo que sucede con vías que construidas sobre material inestable las cuales constantemente manifiestan problemas diagnosticados de la siguiente manera:

**Tabla 2-6.** Diagnóstico del manejo de taludes disturbados de vías en Colombia.

Evento	Concepto
Simposio Latinoamericano de Control de Erosión (2002) IDEAM	El 13,6% de los terrenos del territorio nacional presentan susceptibilidad alta y muy alta a los deslizamientos basado en factores como: la litología, la densidad de fracturamiento, morfología, densidad de drenaje, tipo de suelo, pendiente, morfodinámica (intensidad de erosión) y cobertura vegetal (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2008).
<i>Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura Subsector Vial</i> para proyectos que no requieren Licencia Ambiental	Para buscar controlar la estabilidad del talud, se deben analizar las propiedades geo-mecánicas y mecanismos de transferencia de carga, la presión de poros de aguas superficiales y subterráneas y la red de Drenaje Natural (Presidencia de la Republica, MAVDT, INVIAS, 2011)

<p>La Cámara Colombiana de Infraestructura destaca que la infraestructura vial colombiana es frágil y muy vulnerable al carecer de rutas alternas para la conexión de los diferentes centros de producción y de consumo</p>	<p>Entre los factores que determinan la vulnerabilidad están la pluviosidad, la sísmica, la geología y el ambiental, por lo cual se hace un llamado a utilizar la vegetación para la estabilización de taludes a través de interceptación (absorción de la energía de la lluvia), retención (el sistema de raíces amarra las partículas del suelo), retardación (aumenta el coeficiente de rugosidad del terreno), infiltración (ayuda a mantenerla porosidad y la permeabilidad del suelo) y transpiración (retrasa la saturación y con ello la aparición de la escorrentía superficial). La Cámara Colombiana de la Infraestructura ha identificado 65 tramos de vías no concesionadas desde el año 2005, que han presentado ocurrencias de emergencias ya sea por deslizamientos de tierra, hundimientos de banca y destrucción de obras de drenaje.</p>
---	---

Fuente 13. El autor.

La Cámara Colombiana de la Infraestructura, (2008) propone implementar un plan de choque para *“Involucrar y comprometer las autoridades ambientales en cabeza del Ministerio de Ambiente y las Corporaciones Autónomas Regionales para que tomen acciones concretas en lo referente a reforestación de zonas de ladera, manejo de aguas y uso adecuado de los suelos, comenzando con los sectores de vías correspondientes de tal manera que se evite que por acción de estos factores se sigan presentando emergencia en nuestras carreteras.”*

Así mismo, el Plan Nacional de restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas degradadas (PNR) del Ministerio de Ambiente (2014), contempla el cumplimiento de los objetivos contenidos en las metas del Plan de Desarrollo, así como las metas internacionales de Aichi y Horizonte 2020, para restaurar en 20 años las condiciones de estructura, composición y función de ecosistemas andinos afectados por el hombre, a unas condiciones similares a las originales. Desde este punto de vista, se proponen tres fases de desarrollo del plan, la primera de investigación, desarrollo y consolidación de protocolos, la segunda relacionada con la articulación de actores vinculados con la restauración ecológica para desarrollar proyectos piloto, y finalmente una etapa para avanzar en los proyectos a gran escala.

A nivel distrital, la Guía de Manejo Ambiental para el desarrollo de proyectos de infraestructura urbana del Distrito Capital definida por la Resolución 991 de 2001 del DAMA, muestra que existe una realidad geotécnica de los taludes disturbados históricamente y que deben ser rehabilitados, para lo cual está prevista la realización de cuantiosas inversiones de estabilización que requieren en primera instancia el abordaje con métodos de ingeniería civil. Según el DPAE (Resolución 227 del 2006), los movimientos en masa hacen parte de los procesos denudacionales de la corteza terrestre,

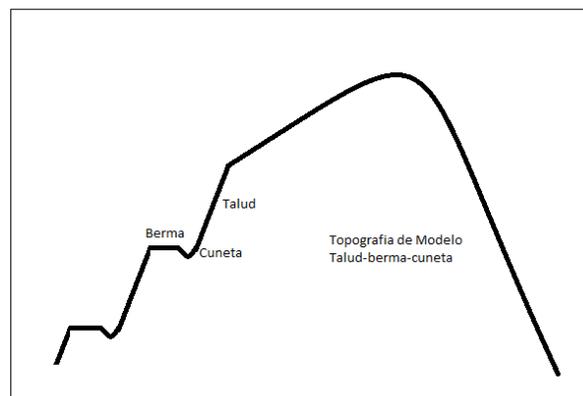
razón por la cual, no son susceptibles de un total manejo, aunque los riesgos asociados pueden ser evitables. En ese orden de ideas, para reducir el riesgo existen dos tipos de medidas generales, las estructurales que se refieren a la intervención física mediante el desarrollo o refuerzo de obras de ingeniería, y las no estructurales definidas como educativas, legislativas y de comunicación del riesgo.

### 2.3.2 Métodos para restauración de taludes en Colombia

En relación al objetivo de recuperar la cobertura de un terreno afectado por múltiples factores que lo hace vulnerable a la erosión, con un enorme riesgo geológico por su potencial sobrecarga de agua, se aplica en general el concepto de rehabilitación de la cobertura con la aplicación de materiales, uso de herramientas de perforación, utilización de anclajes de profundidad, siembra de especies vegetales de rápido crecimiento y grandes volúmenes de biomasa, utilización de tierra traída de otros lugares o cespedón para intentar cubrir el terreno afectado.

Según la *Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura - Subsector Vial de Colombia*, “el recubrimiento vegetal representa otra estrategia de manejo ambiental con destacada importancia como factor atenuante de los procesos de inestabilidad, de recuperación de suelos y de repoblación de áreas protegidas” (Presidencia de la Republica, MAVDT, INVIAS, 2011). Como primera medida se establece la reconfiguración morfológica con sistemas de talud-berma-cuneta, figura 2-9, que si bien persigue ocupar la menor superficie y alcanzar estabilidad geotécnica, por su inmadurez topográfica no

**Figura 2-9.** Topografía del modelo de manejo de taludes talud-berma-cuneta.



Fuente 14. El autor.

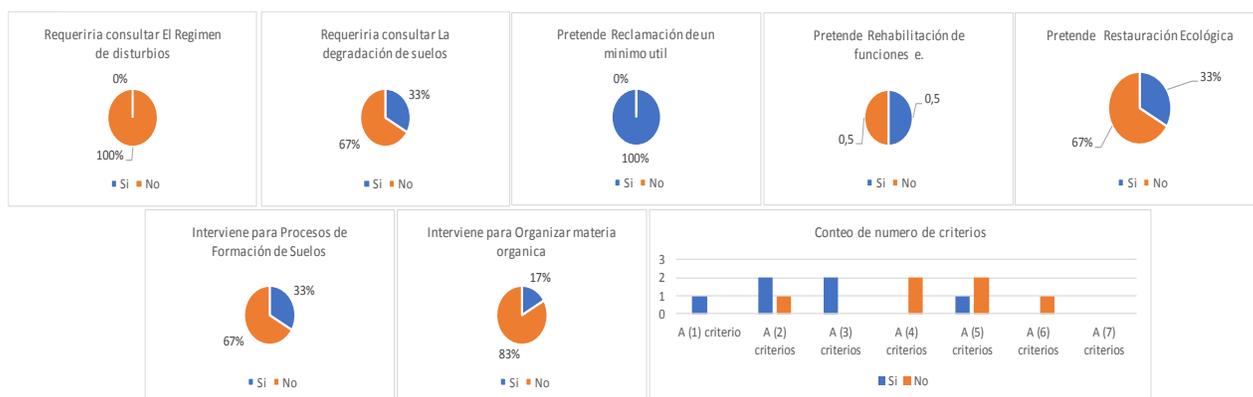
logra albergar ecosistemas funcionales (Nicolau Ibarra et al., 2009). Citan estos mismos autores que, en contraposición, se han observado resultados virtuosos de formación y evolución del suelo en el modelo de acantilado-piedemonte, que, aunque pueden presentar procesos de caídas y desprendimientos en la parte superior, muestra mayor calidad edáfica en el tiempo, inexistencia de erosión hídrica y la recuperación de la dinámica hidrológica en la ladera.

Así mismo, la *Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura - Subsector Vial de Colombia* hace varias recomendaciones a los contratistas en el numeral 4 (empradización), dentro de las que se encuentran el análisis del método para revegetalizar, la identificación de las especies vegetales más adecuadas a utilizar para garantizar el prendimiento y la adaptación, la realización de análisis del suelo para determinar los fertilizantes a utilizar, la escarificación del terreno, el uso de rastrojo y materia orgánica, entre otros tantas.

Sobre la aplicación de estos 7 criterios anteriormente usados a las 6 técnicas analizadas para el caso colombiano (anexo D) se muestra:

**Figura 2-10.** Evaluación de criterios de restauración sobre 6 técnicas de revegetalización de Colombia

Fuente 15. El autor.



Fuente 16. Elaborado por el autor a partir de (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Transporte, 2007)

De la evaluación de las técnicas de la guía colombiana, se puede inferir que ninguno de los ítems observados requiere consultar el régimen de disturbios y muy pocos la degradación de suelos. Respecto al nivel ecológico pretendido se observa que todos

buscan la reclamación de un mínimo útil, un intermedio la rehabilitación de funciones ecosistémicas y tan sólo una baja proporción pretende la restauración ecológica, la intervención de los procesos de formación de suelos o la organización de la materia orgánica.

### **2.3.1 Prácticas de restauración de taludes disturbados en Colombia**

Según lo evaluado en el presente trabajo, se presenta en general en Estados Unidos, Europa y Colombia una reducción del concepto de restauración en línea con las prácticas de bioingeniería, que a fuerza de revegetalización, se “apuesta” a un restablecimiento de las funciones y resiliencia ecosistémicas. Los resultados observados a priori y hasta el momento no evaluados, pueden estar mostrando niveles de avance mínimos hacia los ecosistemas de referencia y poca efectividad en las estrategias de recuperación dentro de los objetivos de conservación requeridos.

En esta misma línea y en el caso de las entidades públicas, no se observa la existencia de evaluaciones integrales de los procesos de restauración en Colombia, ya que sólo se toman como mecanismos de verificación y control los indicadores de gestión de los recursos y mecanismos de cumplimiento de los contratos de obra. Es decir, el marco de evaluación de las restauraciones es el de los contratos de obra civil, que se ocupan en demostrar la efectividad de las acciones mediante actas de recibo y de interventoría al finalizar la obra, sin analizar o estudiar los efectos posteriores. De igual forma, no existen publicaciones sobre investigaciones de ecología de la restauración sobre cada práctica de restauración ecológica ejecutada con recursos públicos, las cuales debieran ser parte integral de los contratos, con el objetivo de evitar repetir experiencias fallidas, duplicar funciones o desconocer aspectos no estudiados. De igual manera la ecología de la restauración debiera investigar los procesos edafogenéticos de las reforestaciones con especies exóticas (pino y eucalipto) en los cerros orientales, por ejemplo, antes de proponer para la formación de suelos su reemplazo por técnicas de bioingeniería no probadas (figura 2-11).

**Figura 2-11.** Imágenes fotográficas de métodos de restauración con biomantos en dos sectores de Bogotá sobre reforestaciones previas de especies leñosas.



Fuente 17. Fotografías tomadas por el autor.

Es importante tener en cuenta que si bien existen ejercicios exitosos de rehabilitación de suelos en minería a cielo abierto dentro del país como los desarrollados en la mina de carbón del Cerrejón, las investigaciones de ecología de la restauración al respecto no son totalmente públicas (Gualdrón-Acosta, 2011).

En sentido contrario, se observan múltiples intentos fallidos de restauración de canteras, taludes disturbados y de construcción de carreteras (sin documentación hasta el momento) que han usado técnicas como los biomantos o siembras de cespedón que parecen obedecer al concepto de trasplante recíproco de suelos (Bockheim & Gennadiyev, 2009). Estos trabajos, que demuestran ser poco efectivos en el mediano plazo, requieren posteriormente ser reemplazados por obras de ingeniería con mallas, anclajes, concreto lanzado entre otros, con las escasas contraprestaciones ambientales que esto representa.

**Figura 2-12.** Imágenes fotográficas de dos etapas de procesos de Restauración de taludes en vías de Cundinamarca y Tolima.



Fuente 18. Fotografías tomadas por El autor.

Es de precisar, que en el último lustro han surgido una serie de publicaciones referidas al análisis general de la restauración en Colombia, haciendo especial énfasis en la necesidad de realizar un monitoreo más riguroso a los procesos adelantados para direccionarlos conforme al que, por qué y para quién de la restauración, lo cual implica comparar sistemáticamente y en el largo plazo, el componente biofísico con el escogido de referencia (Vargas, 2007; Barrera et al., 2010; Murcia & Guariguata, 2014; MADS, 2015; Instituto Alexander von Humboldt, 2015). Adicionalmente, se requiere articular el componente socio-económico y cultural de las comunidades aledañas, para comprender la utilidad de restablecer los servicios ecosistémicos, educar, generar apropiación, evitar la reincidencia de los factores de degradación, los conflictos y también superar las barreras a la restauración.

Aunque existe actualmente atención en el monitoreo a los procesos de Restauración, se puede evidenciar en los indicadores de los formatos o instrumentos como el que usa la *Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura - Subsector Vial de Colombia* el sesgo hacia la bioingeniería (Presidencia de la Republica, MAVDT, INVIAS, 2011):

**Tabla 2-7.** Programa de Seguimiento y monitoreo a control de erosión, cobertura y recuperación de áreas intervenidas en proyectos de infraestructura vial en Colombia.

Programa	Proyecto	Meta	Indicador de calificación	Frecuencia verificación
Control de Erosión, estabilidad de taludes y laderas		Proteger con obras de bioingeniería el 100% de los sitios que hayan sido afectados por las actividades del proyecto	Número sitios recuperado con obras de bioingeniería / número de sitios afectados por el proyecto	Mensual
		Restablecer la totalidad de los sitios inestables por las actividades constructivas	Número de sitios inestables generados por las actividades constructivas = 0	
Manejo de la vegetación	Manejo de la cobertura vegetal	Conservar en condiciones óptimas el 80% de la cobertura vegetal removida (descapote).	Volumen de cobertura vegetal conservada / volumen de cobertura vegetal removida > 80%	Mensual
		Realizar el manejo silvicultural únicamente para los individuos autorizados	Número de árboles tratados / número de árboles autorizados	
	Recuperación de área intervenida	Recuperar el 100% de las áreas intervenidas por el proyecto.	Áreas (m2) restauradas / áreas (m2) intervenidas	Mensual
			Número de árboles plantados vs número de árboles a plantar.	Mensual

Fuente 19. Tomado de Presidencia de la Republica, MAVDT, INVIAS, 2011, pag. 139.

Debe ser claro que el éxito de los procesos de restauración solo se puede medir en el largo plazo por la similitud con el ecosistema histórico pre-disturbio, el rendimiento técnico, la replicación de la composición, estructura, función como características ecosistémicas pero también de interés socio-económico y el beneficio a la calidad de vida de las personas (Murcia & Guariguata, 2014); sin embargo, se debe evaluar previamente la forma de hacer el monitoreo para realizar una labor que aporte información útil de variables críticas para los procesos de restauración, de modo que con el tiempo mejoren las prácticas, se pueda vincular a la comunidad y no se dependa exclusivamente de la iniciativa de instituciones públicas.

## **2.4 Cerros Nor-Orientales en el escenario post minero**

El área de 25.933 hectáreas de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá creada con el Acuerdo 30 de 1976 del Inderena y la Resolución No 76 de 1977 del Ministerio de Agricultura, se ha debido realiderar mediante las Resoluciones 463 del 2005 y la 138 de 2014 del Ministerio de Ambiente, producto de múltiples conflictos entre la pretensión de área de conservación de bosques naturales y artificiales dentro de su Estructura Ecológica Principal, la existencia de otras reservas como la Reserva Forestal Productora Protectora de la cuenca Alta del río Bogotá y los intereses y usos que la sociedad ha intentado a su interior.

Se impuso desde inicios del nuevo siglo, la imposición de Planes de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental para las actividades mineras legales en estos territorios con el ánimo de restaurar las áreas afectadas por dichas actividades y tender a su cierre y abandono. La idea según la resolución 463 de 2005 es mantener en los Cerros Orientales la preservación del referente paisajístico de la ciudad, los valores intrínsecos naturales y los adquiridos históricos y culturales, así como la oferta ambiental para la recreación y la educación. Esta visión está integrada a la de Estructura Ecológica Principal de Bogotá-Región según el Decreto 619 de 2000 o Plan de Ordenamiento.

Se establece en dicha resolución que serán objeto de recuperación ambiental las áreas degradadas por actividades mineras y procesos erosivos severos, a través de la rehabilitación ecológica, la regeneración natural asistida, la recuperación paisajística (recuperación de suelos en zonas mineras) y la recuperación ambiental (franjas de borde para contener la expansión urbana y sub-urbana en función del manejo de reserva forestal protectora).

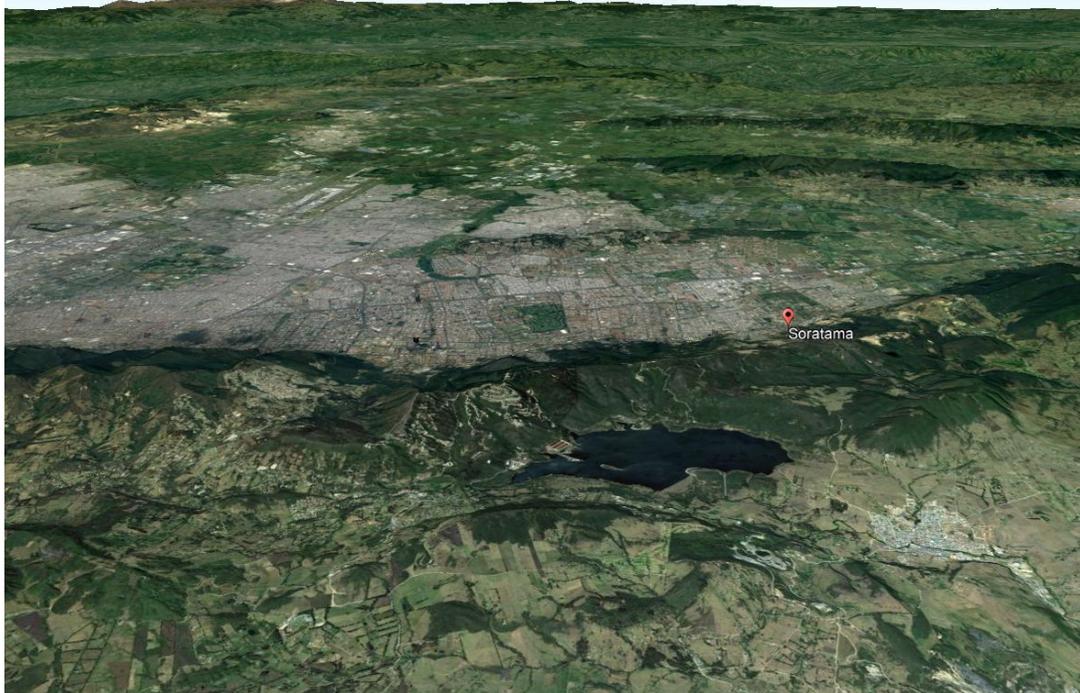
Dentro del objetivo de analizar la degradación de suelos partiendo del régimen de disturbios que ha generado la afectación de ecosistemas en las Canteras del sector Nor-oriental de Bogotá, se comprende que la escala de análisis debe ser la regional propia de los Cerros Nor-orientales en los últimos decenios. Aunque en las prácticas de restauración en estas canteras se estudien y manipulen unidades ecosistémicas pequeñas que podrían hacer alusión al nivel de comunidades, por la relación existente con los barrios vecinos, la ciudad, los corredores ecológicos, el clima, así como con los ciclos biogeoquímicos y el nivel de riesgos, se requiere observar el trabajo a nivel de paisaje.

### **2.4.1 Condición Fisiográfica y Ambiental**

Los Cerros Orientales comprenden la vertiente noroccidental del anticlinal de Bogotá, contrafuerte oriental de la provincia Geomorfológica del Altiplano de Bogotá, que va desde la microcuenca de la quebrada Yomasa en Usme hasta los Cerros de Torca, abarcando los páramos del Verjón, Cruz Verde y la cuenca alta del río Teusacá (Jardin Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, 2005). Ocupa un 11% de las áreas rurales del Distrito Capital (127.590 has), contando con unas características climáticas que obedecen a su posición geoespacial y a la orografía regional, además de condiciones locales como altura, morfología, cobertura y los usos del suelo.

Dentro del sector de los Cerros, igualmente se hace necesario delimitar el sector nor-oriental de los Cerros a raíz de la afectación generada por los escenarios mineros clausurados en su mayor parte en la década de los noventas y primer decenio del 2000. pero que, según el análisis ambiental, no obedecieron a una decisión arbitraria. Existen evidencias mostradas en el presente trabajo, que el asentamiento de las canteras en el sector no fue una decisión arbitraria, pues se originaron por la sumatoria de pérdida de cobertura de suelos, afloramiento del material rocoso, deforestación por efecto antrópico de varios siglos, el microclima particular debido a la acción del viento por ser el lugar más bajo de los Cerros Orientales, el traslado decidido por las autoridades distritales que en la década de los 50's definieron esta zona como de un bajo valor estratégico comparadas con chapinero y el centro y finalmente la vocación de actividad económica para las poblaciones vecinas.

**Figura 2-13.** Fotografía satelital de Bogotá región 2017 y del sector más bajo de los Cerros Nor-orientales en el sector de Soratama



Fuente 20. El autor sobre imagen de Google Earth 2017.

### *Clima*

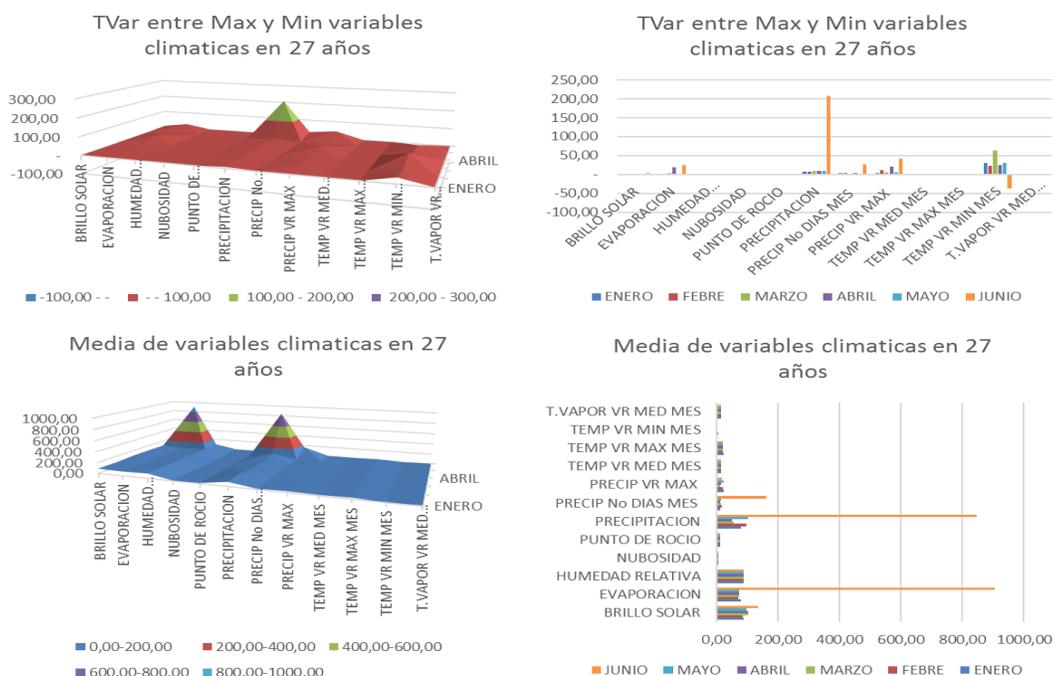
El clima colombiano en general está determinado por la combinación de orogenia, suelos y los fenómenos climáticos como el viento, la nubosidad y la temperatura propios de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI). Sin embargo, existen particularidades regionales para los pisos térmicos frío y subpáramo, que les permiten ser agrupados en secos, semihúmedos, húmedos y muy húmedos (Jardín Botánico de Bogotá JCM., 2005).

Según lo reportado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en la Estación Meteorológica No. 21206260 ubicada en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA Latitud 447 y Longitud 7402 del periodo 1989 a 2016, como la estación más cercana a los Cerros Nor-orientales de la ciudad, existen patrones de comportamiento más o menos regulares para algunas de las variables climáticas, donde se evidencia el régimen bimodal de lluvias que se acentúa en los periodos de marzo a mayo y luego de octubre a noviembre, pero de igual forma se notan cambios abruptos (por fuera de la desviación estándar) en otras variables como la temperatura mínima,

precipitación máxima, la evaporación, lo cual demuestra los efectos atípicos y desproporcionados que se están volviendo regulares con el fenómeno del niño-niña y que se describen como barreras a la restauración en el capítulo cuarto (Marshall, Donohoe, Ferreira, & McGee, 2014; NOAA, 2017)

En la figura 2-14 se presentan las tasas de variación entre valores máximos y mínimos de las variables climáticas y los valores medios de medición de las mismas variables en el periodo de 27 años y de enero a junio (información incompleta de junio a diciembre) del reporte de la estación meteorológica UDCA:

**Figura 2-14.** Comportamiento de variables climáticas de la estación UDCA-IDEAM de 1989 a 2016 de enero a junio.



Fuente 21. El autor con base en reporte del IDEAM 2017.

En el caso de la zona objeto de estudio y dentro del concepto fisiográfico, su geomorfología muestra la zona más baja de los Cerros Nor-orientales lo cual la diferencia de la zona centro y sur de la cadena montañosa. La humedad que traen los vientos alisios del sureste en su fenómeno de *Barlovento* se descarga en la zona sur en los páramos del Verjón y Cruz Verde, llegando con menos humedad a la zona norte, produciendo el *Sotavento* y generando un cambio de régimen de lluvias de monomodal en el sector suroriente a

bimodal en el sector centro y norte. Esta es quizás la justificación por la cual se puede estar manifestando, (sin que se pueda determinar exactamente desde cuando sucede), una deshidratación producto de los vientos por el efecto Venturi de esta depresión sobre la cordillera. Si a esto se suma que la humedad no puede ser captada por la inexistencia de bosque y las precipitaciones por fuera de lo normal generan erosión, entonces se comprende la dificultad de contener los fenómenos erosivos y el afloramiento rocoso.

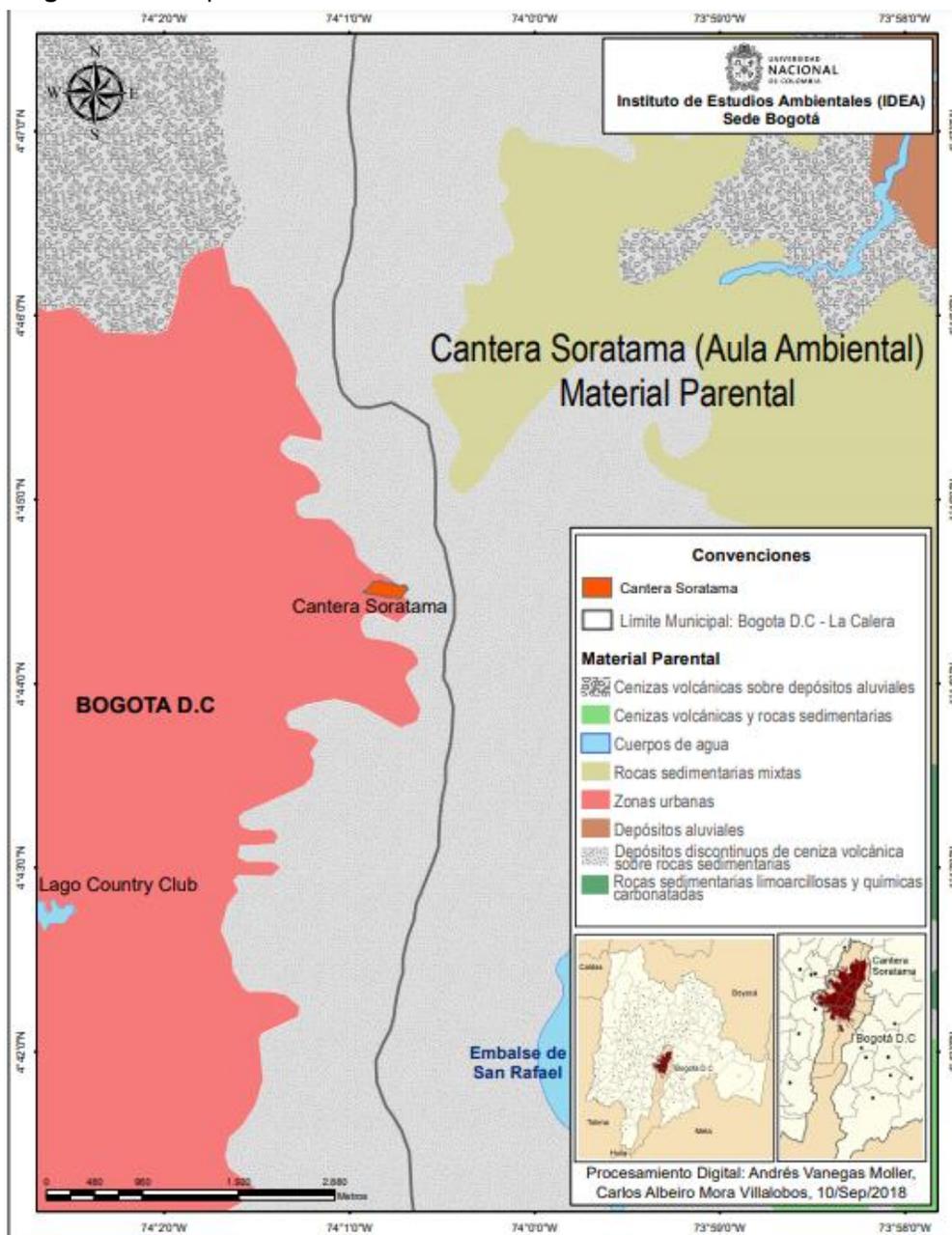
#### *Geología y Materiales Parentales*

El mar que cubría la Sabana de Bogotá en el cretáceo fue bajando la profundidad producto de la separación de los continentes americano y africano dejando los sedimentos de arenas y arcillas que hoy conforman el Grupo Guadalupe, hace 100 millones de años (Jardin Botanico de Bogota Jose Celestino Mutis, 2005). Luego viene el levantamiento de la cordillera en un proceso que inicia hace 6 millones de años y termina hace 3 millones de años, el cual determina grandes deslizamientos, sedimentaciones fluviales y depositaciones locales, algunas de las cuales en el periodo cuaternario y producto de la actividad volcánica consolidaron acumulaciones intercaladas de cenizas volcánicas y sedimentos (IGAC, 2015b).

En la formación geológica de la zona nororiental de los Cerros Orientales predominan las Formaciones de Arenisca Dura, Plaeners y Labor-Tierna pertenecientes al Grupo Guadalupe del cretáceo superior, con intercalaciones de arcillolitas, lodolitas, limolitas y en menor proporción liditas (Bermoudes & Velandia, 2002). Estas últimas están íntimamente interestratificadas o interlaminadas por cuanto hicieron parte de la formación litológica previo al levantamiento de la cordillera Oriental, así como a los procesos de sedimentación fluvial que dieron origen a las depositaciones de materiales que originaron sus suelos. En este orden de ideas existe una relación con los ambientes morfogenéticos propios de los Cerros Orientales de tipos estructural, denudacional, deposicional y el periglacial, correspondiendo a la zona Norte el de relieve colinado de control estructural (IGAC, 2007). Cita este mismo documento que adicionalmente a los movimientos tectónicos, las glaciaciones, los cambios climáticos y los movimientos en masa, fueron factores incidentes en la formación de los suelos que inician en un material parental principalmente cuarcítico de muy escasa fertilidad y de los depósitos superficiales de cenizas volcánicas de tipo andesítico logrados posteriormente y que dan origen a los suelos de la región, siendo los órdenes Andisoles e Inceptisoles los más característicos.

Estos depósitos en su mayor parte llegaron en el pleistoceno tardío y en el Holoceno, por lo cual algunos autores lo definen como un recurso natural no renovable a la escala humana (Van der Hammen, 1995). Se puede observar la existencia de estos depósitos de cenizas volcánicas sobre rocas sedimentarias en la figura 2-15:

**Figura 2-15.** Mapa de Materiales Parentales.



Fuente 22.El autor con base en cartografía IGAC 2015.

## 2.4.2 Régimen de Disturbios de suelos en los Cerros Orientales

El ambiente de una de las ciudades más grandes de Latinoamérica se ha venido estructurando por la incidencia de los grupos sociales en sus ecosistemas, que a su vez son consecuencia de motores históricos como la migración o la violencia (Palacio, 2001; Preciado et al., 2005).

**Tabla 2-8.** Elementos de Historia Ambiental de los Cerros Orientales de Bogotá.

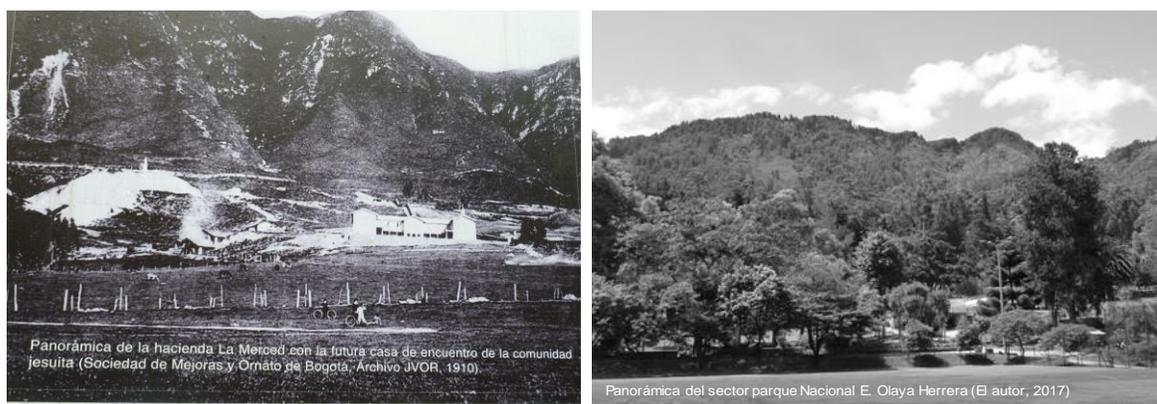
Visión	A finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, la naturaleza y su expresión de heterogeneidad de ecosistemas eran vistos como un problema para el incremento de la productividad sobre todo en el campo agrícola. Para el caso de los Cerros Orientales de Bogotá en la etapa neo-republicana, la ciudad presentaba una situación de paisaje degradado por más de dos siglos de deforestación en el ejercicio de una población inmigrante en condición de vulnerabilidad socio-económica, sin mayores opciones de subsistencia (Jair Preciado et al., 2005)
Plataforma de adaptación	Los grupos migrantes de diversas regiones del país, producto de los hechos de violencia y debido a que Bogotá adquiere la denominación de centro industrial, encontraron en la ciudad situaciones adversas que los enfrentaron a la pobreza, la sobreoferta de mano de obra poco calificada y bajo nivel de educación. Como único mecanismo de subsistencia existía la prestación de servicios de aguatero, leñador, colector de cascara de encenillo, carpintero, jornalero y servicios domésticos, que sistemáticamente produjeron deforestación de las especies leñosas, erosión-degradación de suelos por pérdida de cobertura, ante la mirada indiferente de los habitantes y las instituciones. Es así, como el conflicto político es dinamizador de la urbanización no ordenada con todas sus consecuencias en Bogotá desde el siglo XIX, tendencia que se estanca por la guerra de los mil días, pero que después se reestablece en el periodo de aparente paz hasta mitad del siglo XX. Los ranchos o edificaciones eran de paja y madera, mostraban hacinamiento de sus ocupantes y tenían muy poca agricultura a su alrededor.

Fuente 24. El autor.

Así, los efectos socio ambientales presentes en la región que integra a Bogotá, impactaron negativamente la estructura ecosistémica de la ciudad y de los municipios de su área de influencia, consecuencia principalmente del déficit de planeamiento urbano metropolitano (Palacio, 2001; Preciado, 2015). Se evidencia la ausencia de una política urbana coherente en el tiempo y una vez se produce la expansión urbana no planificada sucedida por actividades como la minería, se potencia el impacto de un proceso de deforestación y pérdida de suelos que se ha venido gestando de manera continua desde el siglo XVIII, y que no ha sido evidente sino hasta cuando se analizan los impactos a nivel ecológico de paisaje y a escala regional (Márquez & Perez, 2001; Armenteras & Vargas, 2015).

Por otro lado, Preciado et al. (2005) reseñan que ante una evaluación de los impactos ambientales sobre las montañas, la Empresa de Acueducto de Bogotá determinó en 1927 empezar a reforestar con especies exóticas, situación que luego ha sido apalancada con la posterior implementación de la política pública de Reserva Forestal sobre los Cerros orientales en 1976, ahora pretendiendo la restauración del bosque altoandino en un corredor ecológico regional.

**Figura 2-16.** Comparativo fotográfico de sector del parque nacional Enrique Olaya Herrera en 1910 y 2017.



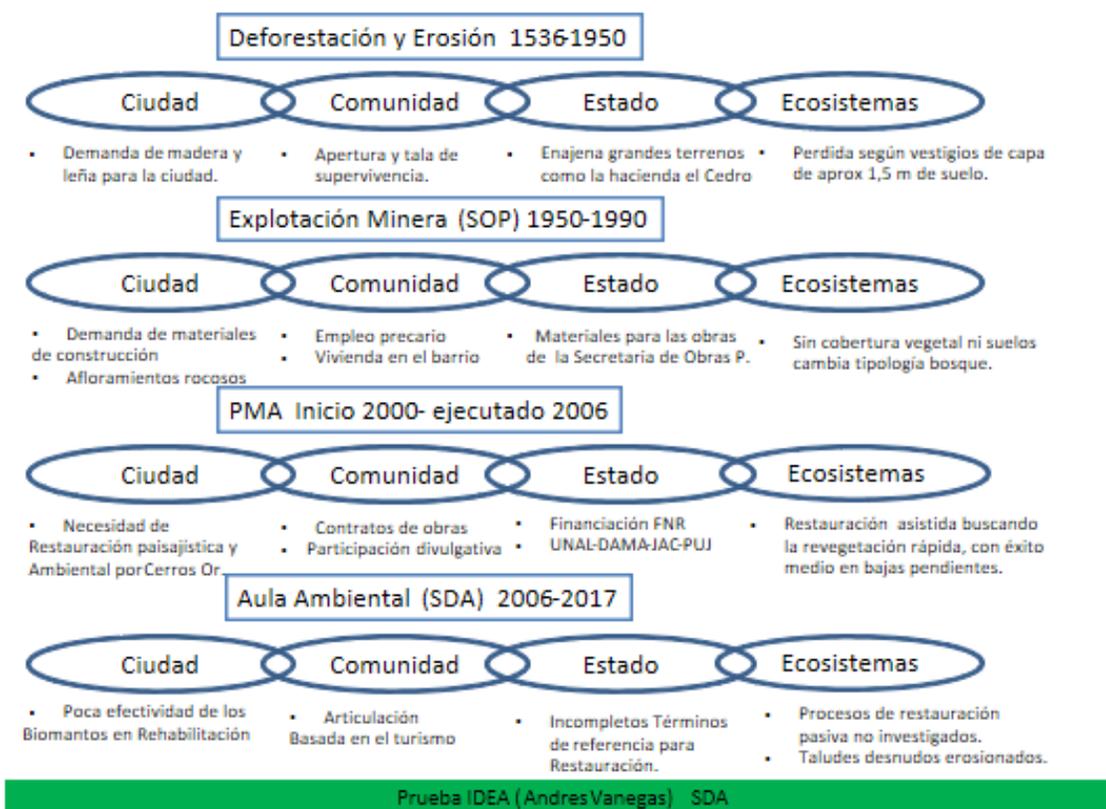
Fuente 25. (Izquierda) Sociedad de Mejoras y Ornato, archivo JVOR, 1910, (Derecha) El autor.

Si bien son comunes los disturbios naturales, dentro de los cuales la erosión es el de mayor preponderancia, desde el siglo XVIII los disturbios sobre los Cerros Orientales han sido eminentemente antrópicos potencializados por las condiciones fisiográficas, los cuales han generado una tasa acelerada de degradación (figura 2-16), por lo que se requiere trabajar en la rehabilitación de los procesos de formación de suelos y su resiliencia.

Según lo descrito por Preciado et al. (2005) la minería de materiales de construcción en la ciudad ha carecido de falta de planeación urbana de largo plazo, llevando a que su ubicación se oriente primordialmente a zonas de bajas cualidades estratégicas, hasta el momento en que cambia el uso del suelo que desplaza la actividad a nuevas zonas de desecho. Este fenómeno se observó con la minería a principios de siglo en el centro de Bogotá y en el barrio Chapinero, por lo cual fue trasladada luego hacia el nor-oriental y sur-oriental de la ciudad, donde finalmente llega a ser prohibida una vez se determina el ordenamiento de los Cerros Orientales como Reserva Forestal Protectora. Pensando en la restauración de largo plazo, se propone iniciar con el Régimen de Disturbios como

ordenador conceptual de los factores antrópicos que conllevaron a la degradación de los suelos y luego a la secuencia de restauraciones tanto activas como pasivas en ese sector, hasta la fecha de su conversión en Reserva Forestal (Vargas, 2007; Montenegro & Vargas, 2008).

**Figura 2-17:** Evaluación preliminar del Régimen de Disturbios en la Cantera Soratama sector de Cerros Orientales de Bogotá.



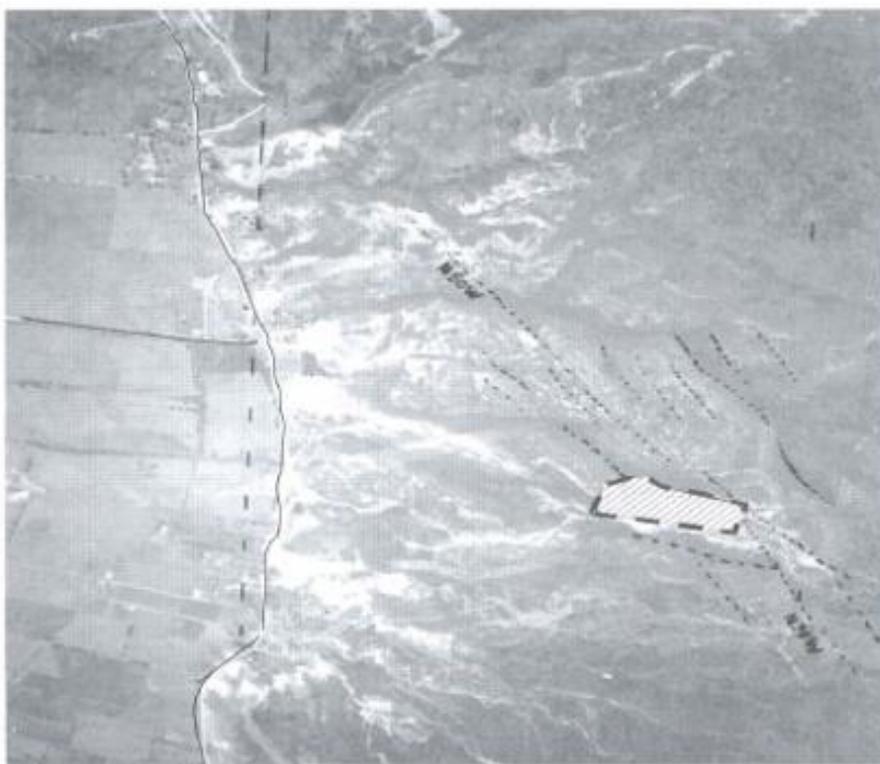
Fuente 26. El autor.

Así, retomar de fuentes secundarias y por ordenamiento lógico los procesos socio-económicos que dominaron el uso y la actuación de las comunidades en esta zona en su modelo de adaptación instrumental de supervivencia, muy ligada al extractivismo, sobre una formación litológica de afloramiento de areniscas por erosión, contribuye a demostrar la degradación de suelos como consecuencia de la dimensión ambiental (relaciones ecosistema cultura en la figura 2-17). De igual manera la revisión de los conceptos relacionados con el suelo, degradación y restauración, ha sido un prerrequisito al definir

límites del trabajo, para no confundir el proceso con objetivos últimos y etapas subsiguientes como la restauración ecológica.

Por lo tanto, se propone como hipótesis, que el factor crítico de disturbio fue la deforestación de más de 200 años de los Cerros Orientales lo cual generó el proceso erosivo que culminó posteriormente con la apertura de frentes de explotación minera (ver figura 2-18).

**Figura 2-18.** Fotografía aérea de Soratama de 1940 en la cual se evidencian los procesos erosivos antes de la actividad minera.



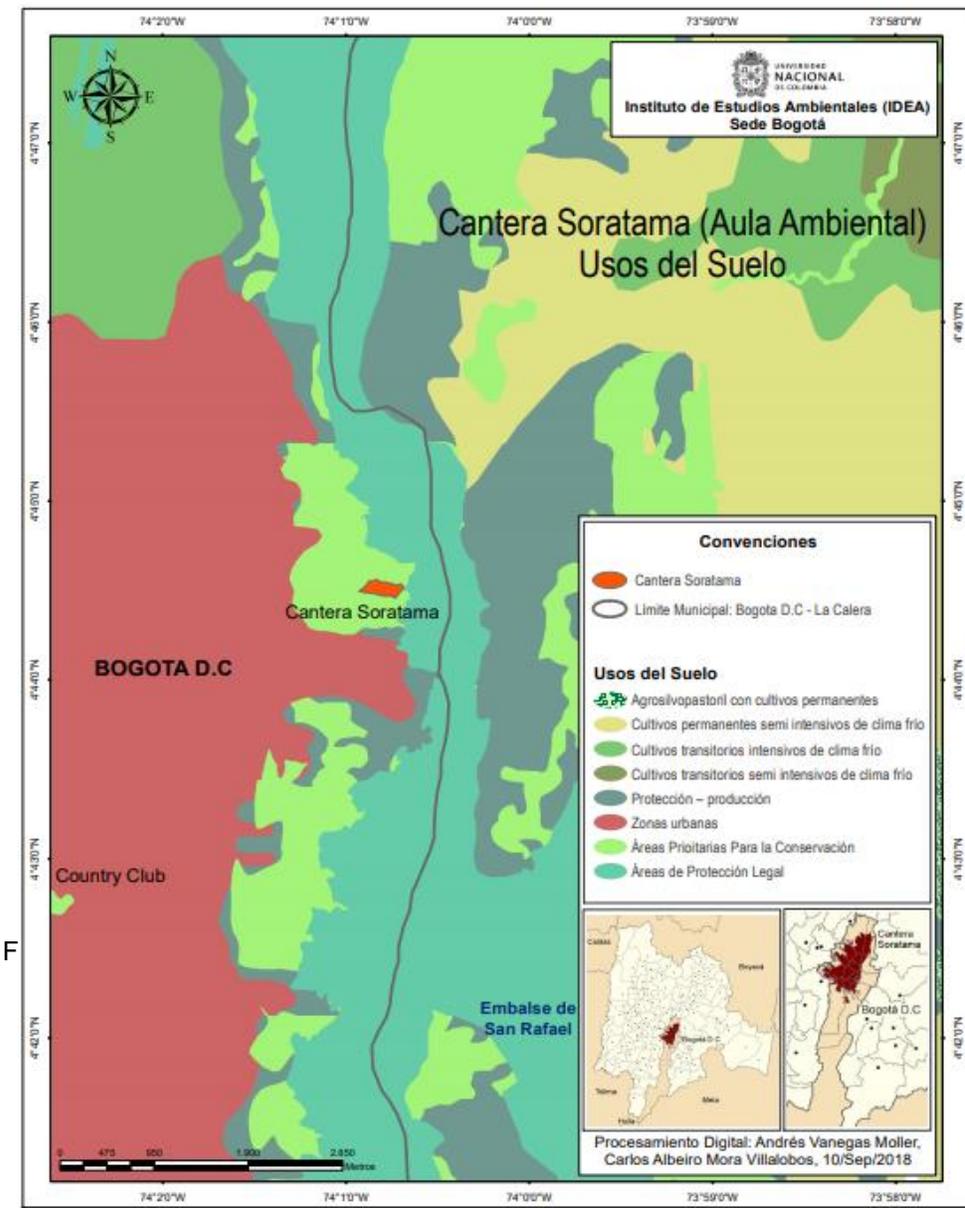
Fotografía aérea de 1940. Nótese los lineamientos con dirección N30W a N40W que se encuentran extendidas en la zona y que se relacionan con la falla de Soratama. El predio Soratama se muestra en líneas discontinuas. Fuente Fierro J. DAMA (2005).

### 2.4.3 Ordenamiento Territorial en los Cerros Nor-orientales

El *Discurso* según el concepto de Hortúa (2016), que se ha venido consolidando en el ámbito distrital contribuyó a la generación de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, marco de la nueva disposición sobre uso del suelo de la cantera

Soratama. La cultura local minera alcanzada y las necesidades de materiales de construcción de la ciudad, son frenadas en favor del interés de acrecentar el patrimonio natural del borde de la ciudad, y en consecuencia, el nuevo discurso se orienta hacia la restauración de las virtudes eco sistémicas (SDA, 2007). No obstante, el mismo discurso presenta grandes vacíos por cuanto no existe claridad sobre la restauración de suelos

Figura 2-19. Mapa de Usos del suelo Cerros Nor-orientales.



Fuente 27. El autor con base a cartografía IGAC 2015.

---

básica, sobre los objetivos ecológicos finales, los métodos, la financiación, así como con la participación ciudadana y oportunidades potenciales de desarrollo humano.

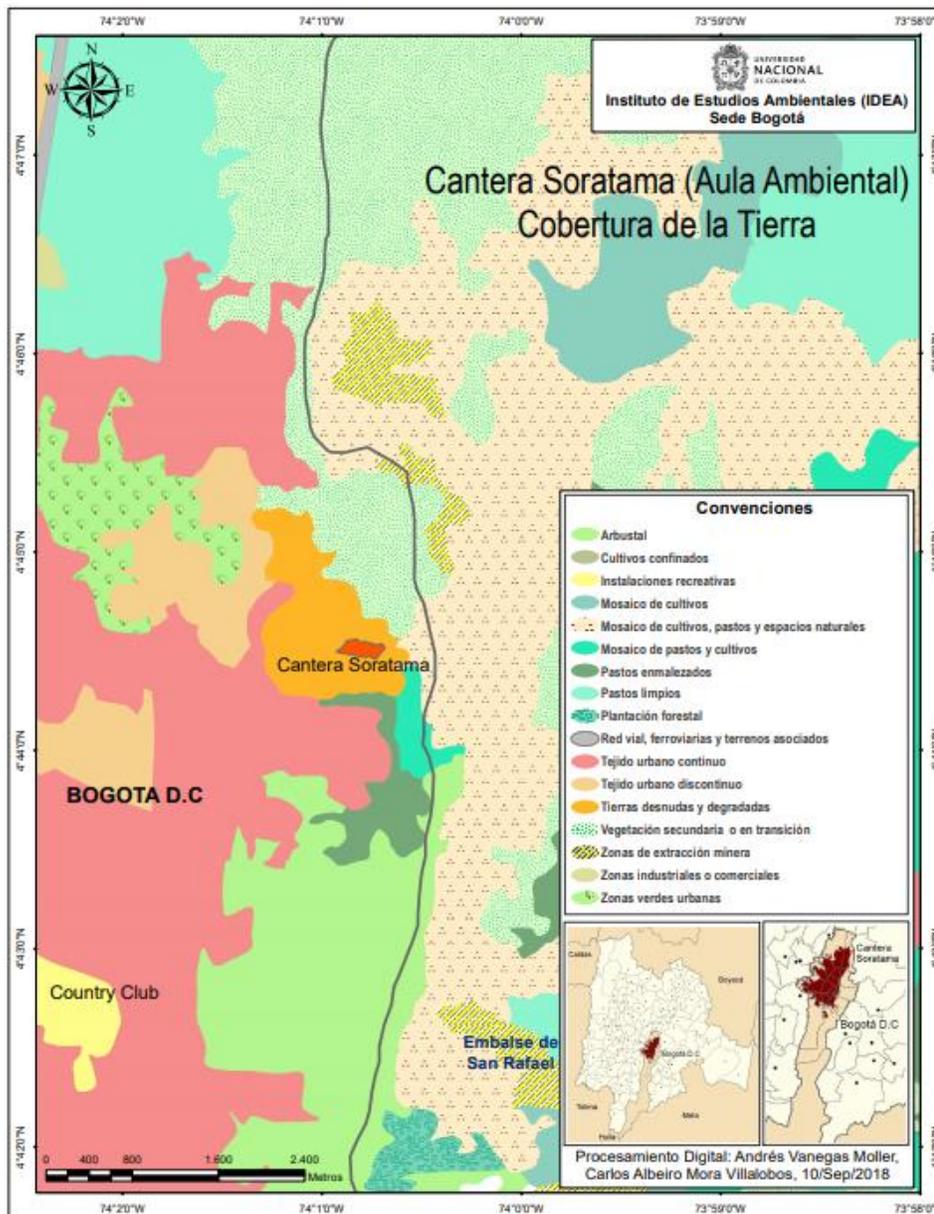
Como instrumento de gestión ambiental se aplica la Estructura Ecológica Principal (EEP) de Bogotá como parte de la visión sintética de ecología, la cual incluye las denominadas áreas protegidas, parques urbanos, corredores ecológicos, la zona especial del río Bogotá y las áreas en proceso de restauración como componentes fundamentales del ordenamiento de la ciudad y la región, para garantizar un nivel de sustentabilidad que no pone en riesgo la vida de la población (Tomás Vander Hammen & Andrade, 2003). Si bien las instituciones reconocen y aplican la categoría de Estructura Ecológica (EE) en lo jurídico y lo técnico, la información atinente a su descripción, funcionalidad y restauración es aún escasa, y las políticas que orientan su gestión están en proceso de consolidación. Existen ecosistemas objeto de restauración para los cuales hay una mayor atención como es el caso de los cerros y los humedales, pero, la mayor parte de la intención institucional se ubica en el ámbito de la reforestación. Se pretende con la Estructura Ecológica (EE) que, partiendo del análisis de determinantes técnicos y sociales de la gestión de áreas protegidas y suelos de protección, hacer una perfilación de una agenda amplia para la gestión institucional especializada, que integre la gestión transversal pública en el Distrito Capital en relación con la construcción de una territorialidad regional y de un sistema nacional de áreas naturales protegidas (Secretaría Distrital de Planeación - Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012).

Ahora, dentro de la política pública se genera el conflicto de ordenamiento territorial que producto de la incidencia de intereses sobre los valores, pretende nuevamente cambiar el uso del suelo, quizás por la recuperada aptitud hacia el desarrollo urbano según se observa en los mapas, sin quedar claros los objetivos de restauración en este escenario posminero o la predominancia de la reserva sobre lo urbano (capítulo 4).

Según el mapa de coberturas existentes de la tierra en la zona (figura 2-20), la zona donde se ubicaban las anteriores canteras ha sido calificada actualmente como zona de tierras desnudas y degradadas, cuyo futuro formaría parte por adyacencia de una de las tres posibilidades definidas: Primero Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, pastos limpios o enmalezados (cobertura que predomina para el municipio de La Calera, pero que sin valores edáficos difícilmente se puede lograr); segundo, tejido urbano continuo y discontinuo (que se encuentra legalmente constituido, presente y con todos los servicios

públicos en la zona) y finalmente vegetación secundaria o en transición que esta cobijada por la Reserva Forestal Protectora, (pero que sin la restauración de suelos y renovando los bosques de especies exóticas, tendrá una limitada probabilidad según la secuencia histórica).

Figura 2-20. Mapa de coberturas de la tierra sector Cerros Nor-orientales.



Fuente 29. El autor con base en cartografía del IGAC 2015.

#### **2.4.4 Soratama**

Según la Secretaria Distrital de Ambiente en su publicación “Aula Ambiental Soratama en la tierra del sol” (2007), se tienen como hechos históricos relevantes recientes los eventos descritos en la Tabla 2-9. En ese sentido, el Plan de Manejo Ambiental de Restauración de la cantera fue diseñado por la Universidad Nacional, una vez corregido y aprobado, las actividades y prácticas de Restauración Ecológica llevadas a cabo para constituir la actual Aula Ambiental, fueron implementadas inicialmente por el DAMA y actualmente por la Secretaria Distrital de Ambiente. Dentro de este proceso, las instituciones desarrollaron junto a otros entes particulares y la Pontificia Universidad Javeriana, la adecuación morfológica del terreno y las pruebas de restauración de taludes con las respectivas investigaciones de ecología de la restauración. Estas prácticas estuvieron enmarcadas dentro de la categoría de bioingeniería a través de enmiendas orgánicas usando los biosólidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Salitre, los biomantos, así como el uso de plantas trepadoras y trinchos de madera con el objetivo preparar el terreno para el establecimiento de una “*verdadera vegetación*” (Barrera, 2002; Guacaneme & Barrera, 2007).

**Tabla 2-9.** Hechos de la historia reciente de la Cantera Soratama

<b>Historia</b>	
1-La antigua cantera Soratama, se encuentra ubicada en la Localidad de Usaquén en el Km. 18 de la antigua carretera del Norte (calle 167, 2.5 Km. arriba de la carrera Séptima), fue utilizada desde el año 1950 hasta el año 1990 para la extracción de arena con destino a las obras ejecutadas en la ciudad. Posteriormente, el predio fue entregado a la Defensoría del Espacio Público y en comodato al DAMA, hoy Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) para su recuperación geomorfológica y ambiental.	2-El predio hace parte de la Estructura Ecológica Principal y pertenece al área de Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, Cerros Orientales, razón por la cual el Plan de Manejo Ambiental aprobado mediante Resolución No. 1945 del 2005 por la autoridad ambiental competente -CAR- fue ejecutado por la Secretaría Distrital de Ambiente con apoyo financiero del Fondo Nacional de Regalías, a través de MINERCOL Ltda. y posteriormente INGEOMINAS mediante el contrato de obra 367/05 con la Unión Temporal JC.
3. Soratama se constituye en la cuarta AULA AMBIENTAL del Distrito Capital, que en su orden de implementación ellas son: 1) Parque ecológico Distrital humedal Santa María del Lago en la localidad de Engativá, 2) Mirador de los Nevados en la Localidad de Suba, 3) Parque Ecológico Distrital de Alta Montaña Entre Nubes en la Localidad de San Cristóbal y 4) Aula Ambiental Soratama «Tierra del Sol», en la Localidad de Usaquén.	
4.El modelo piloto de recuperación de áreas degradadas por actividad minera: <b>a)</b> Ofrece alternativas para restituir suelos degradados como resultado de investigaciones validadas; <b>b)</b> Se muestran diversos tratamientos experimentales para inducir el retorno de la vegetación nativa a través de biomantos, uso de germoplasma nativo, introducción de especies trepadoras para estimular la regeneración natural en taludes con fuertes pendientes, especies de porte herbáceo para el cubrimiento de suelos con baja oferta de nutrientes en el Aula Ambiental Soratama como propuesta para detener biológicamente procesos erosivos; <b>c)</b> Permite visualizar las formaciones geológicas y los procesos asociados como estrategia educativa; <b>d)</b> Se constituye en un espacio para el desarrollo de investigaciones sobre procesos ecológicos propios del Bosque Alto Andino; <b>e)</b> Fomenta la consolidación de Proyectos Ambientales Escolares temáticos (PRAES); <b>f )</b> Promueve el desarrollo de procesos de apropiación comunitaria para la producción de material vegetal; <b>g)</b> Ofrece espacio para la capacitación en procesos de compostaje, lumbricultura y producción de hierbas aromáticas; <b>h)</b> Se convierte en un área estratégica de la Localidad de Usaquén como parte del corredor ecológico de los Cerros Orientales; <b>i)</b> Se constituye en una ruta de interés para la recreación pasiva de los ciudadanos; y <b>j)</b> Ofrece variadas posibilidades para consolidación del Proyecto Ciudadano de Educación Ambiental (PROCEDA).	
La participación de la comunidad ha sido premisa fundamental desde su diseño en el año 2000 y con ella se espera garantizar la apropiación y sostenibilidad de este espacio bautizado por ella como «SORATAMA TIERRA DEL SOL».	

Fuente 30. El autor sobre información de la Secretaria de Ambiente Distrital (SDA, 2007).

Así, se ejecutaron varios proyectos bajo la dirección del DAMA (Anexo F) con el objetivo de desarrollar la restauración ecológica. Posteriormente, mediante el proyecto 296 de 2005 con el objeto de diseñar e implementar acciones de un modelo de gestión territorial sostenible para conservación, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales del Distrito Capital, se inicia el Aula Ambiental buscando consolidar la Estructura Ecológica Principal (EEP) de Bogotá mediante la restauración de 132 hectáreas de la zona y específicamente 5,8 hectáreas de Soratama. Para cumplir con el objetivo propuesto, se aplicaron las siguientes etapas: 1. Reconfiguración del terreno; 2. Recuperación de cobertura vegetal; 3. Diseño y construcción de obras de drenaje superficial y subterráneo y 4. Implementación del Aula Ambiental.

Para las investigaciones realizadas por la Universidad Javeriana existe claridad conceptual respecto a la necesidad de realizar actividades que ayuden a superar la inexistencia de suelo como una barrera ecológica del proceso de restauración, aunque se continúa argumentando que estas barreras fueron el resultado de la actividad minera y que la restauración se logra con enmiendas sin consultar los procesos de formación de suelo.

**Figura 2-21.** Fotografías de relictos de suelos originales de más de 1,5 metros de espesor en los Cerros Orientales, en el sector de la cantera Soratama.



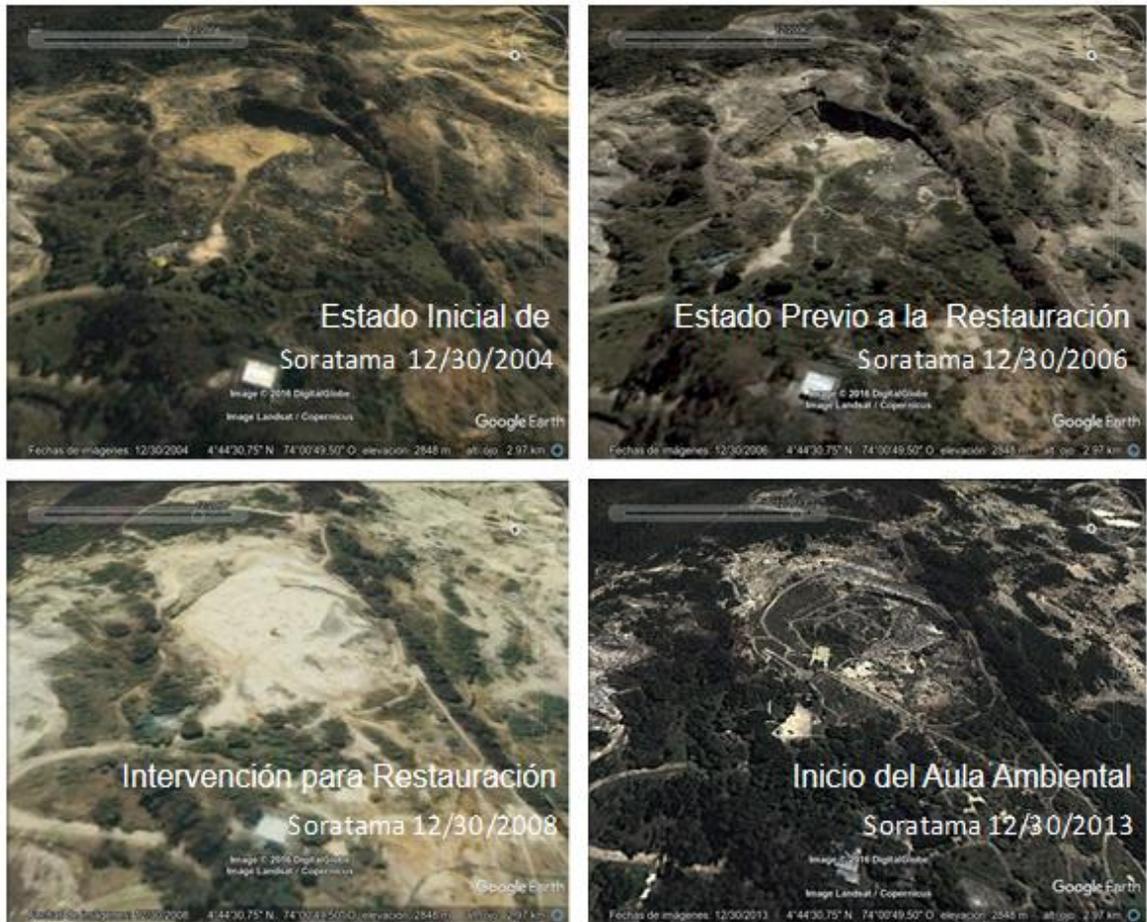
Fuente 31. Fotografías propias del autor.

### 2.4.5 Prácticas de Restauración en Soratama

Según el análisis realizado por Barrera (2002) autor del informe “Formulación de tratamientos de Restauración Ecológica en la Cantera Soratama, Contrato 049/2002”, el suelo es el “compartimiento” más importante para lograr la restauración ecológica, por lo cual deben ser claramente definidos los objetivos del proceso, que en el caso de Soratama y siendo reserva forestal protectora según los usos del suelo determinados, el propósito es la restauración del bosque alto andino.

Según las etapas de intervención, el éxito de las técnicas y estrategias de restauración está condicionado a una nueva intervención de los taludes verticales post-mineros que realice una adecuación morfológica, para que el manejo de la pendiente permita alcanzar la estabilidad. Posteriormente se fija el objetivo de aplicar cuatro tratamientos diferentes, el de los biosólidos, los biomantos, plantas trepadoras y trinchos de madera para intentar recuperar edáficamente el perfil desnudo.

**Figura 2-22.** Observación aerofotográfica multitemporal de actividades relacionadas en la restauración en Soratama de 2004 a 2013.



Fuente 32. GOOGLE EARTH. Image Digital Globe, Landsat/copernicus 4°44'30,75"N y 74°00'49,50"O, elevación 2848 m. alt ojo 2,97 km.

El trabajo innovador en Ecología de la Restauración, con soporte investigativo y de monitoreo realizado por Guacaneme & Barrera (2007) y Rodriguez (2010) de la Pontificia Universidad Javeriana, acerca de biosólidos mezclados en diferentes proporciones con inertes de la cantera para restaurar áreas planas, lograron demostrar una efectividad satisfactoria en el aumento de la riqueza, diversidad, altura y cobertura de la vegetación aunque no fue proporcional a la adición de los biosólidos. Aunque se logró detener el proceso degenerativo vegetal a través de la adición de materia orgánica y nutrientes y se proyectó la restauración hacia matorrales y rastrojos sucesionales, no se alcanzaron a detener los procesos erosivos que se iniciaron con la deforestación hace varios siglos. Concluye Rodriguez (2010) que las deficiencias de características físico-químicas expresadas por el deterioro del suelo existente, por la pérdida de materia orgánica y de

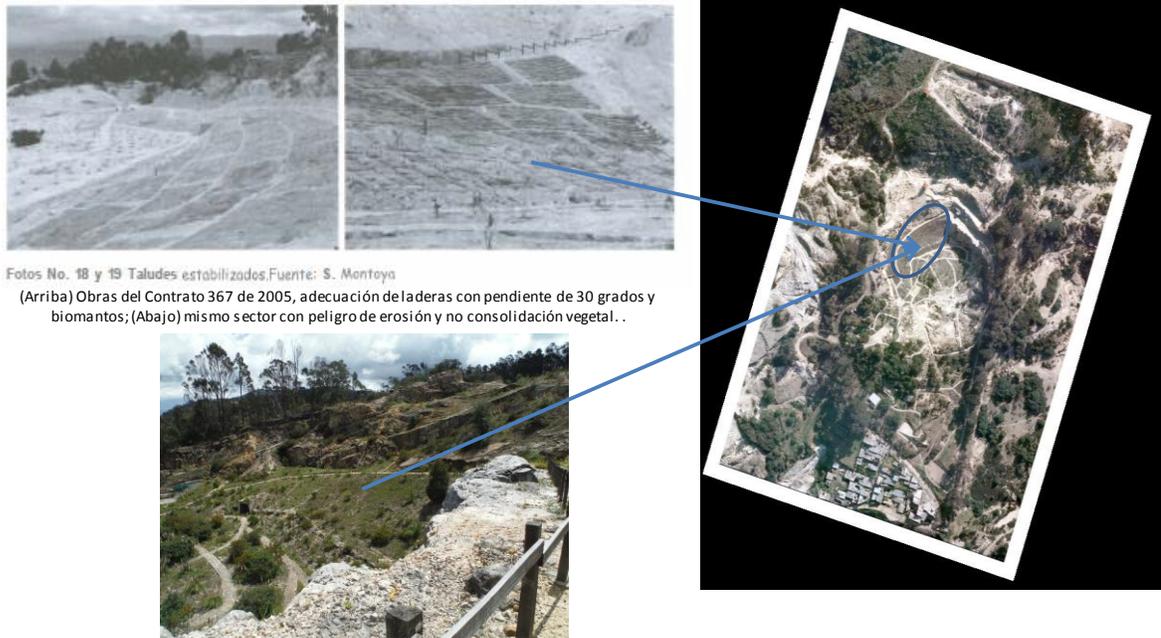
---

nutrientes no permiten que la vegetación se establezca, por lo cual se sugiere mejorar la sucesión del suelo para restaurar el ecosistema.

En contraposición, otra parte de la propuesta sin suficiente soporte investigativo y encaminada a la restauración de taludes de media pendiente, aplicada luego a la reconfiguración morfológica, fijó el uso de costales de fique rellenos con paja de arroz y paja de cebada o trigo denominados biomantos, que no operaron adecuadamente y de los cuales sólo quedan sus vestigios en las estacas de fijación (figura 2-23). Posteriormente los usos de los biomantos han evolucionado en la Cantera a contenedores de polipropileno con tierra negra que tampoco han mostrado su conveniencia en más de 5 años de aplicación y que debiesen pasar por investigaciones de Ecología de la Restauración para evitar ser aplicados indistintamente en otros escenarios de restauración del Distrito Capital. En relación al tema, Barrera et al. (2010) argumenta que *“La aplicación de enmiendas permite superar las condiciones limitantes para el establecimiento de la vegetación como: escasez de materia orgánica, acidez, inestabilidad y erosión”*. No obstante, esta visión generalizada de enmienda no ha permitido profundizar en el concepto de procesos de formación de suelos.

Es de resaltar que los biomantos continúan siendo la única alternativa para restauración tanto en el Aula Ambiental Soratama como en otros proyectos de la ciudad (ver figura 2-24).

**Figura 2-23.** Fotografías del uso de Biomantos en 2007 en Soratama



Fuente 33. Adaptado de (SDA, 2007) y fotografías del autor.

**Figura 2-24.** Fotografías uso Biomantos en Soratama actualmente.



Fuente 34. El autor.

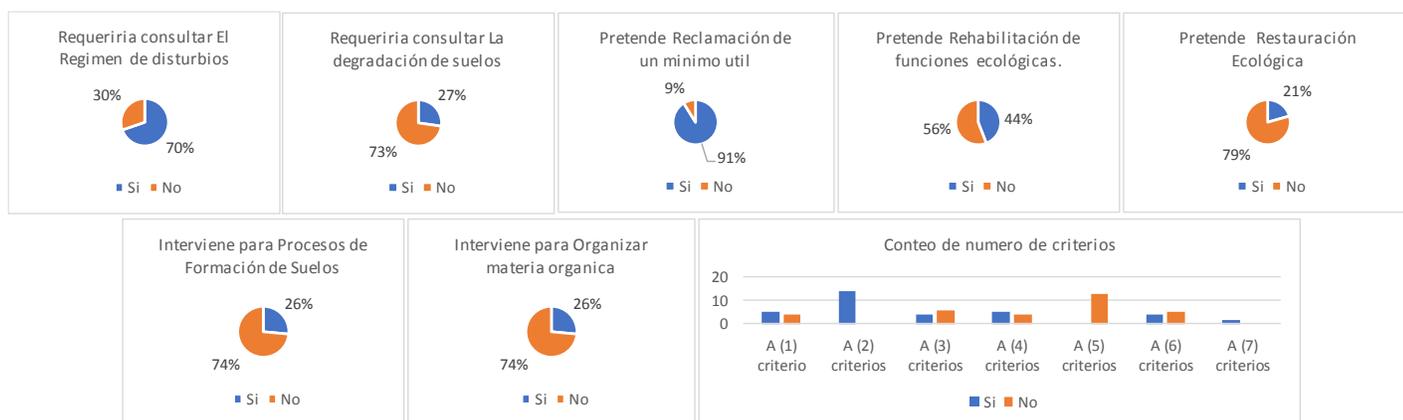
Acorde con el propósito del presente trabajo y siguiendo con las evaluaciones aplicadas a las técnicas existentes en Estados Unidos, Europa, Colombia y de los Cerros Orientales, se propone utilizar los 7 criterios de evaluación de las técnicas de manejo de taludes disturbados para el caso de Soratama:

**Tabla 2-10.** Aplicación de 7 criterios de evaluación de la restauración sobre las técnicas de manejo post-minero en la Cantera Soratama.

Requiere Consultar		Formulación de Tratamientos para la Restauración Ecológica en la Cantera Soratama. Contrato 049/2002 DAMA (Barrera, 2002)	Nivel Ecológico pretendido			Intervención en suelos para	
El Régimen de disturbios	La Degradación de suelos		Reclamación de un mínimo útil	Rehabilitación de funciones ecosistémicas	Restauración	Procesos de formación	Organización de la materia orgánica
No	Si	Biosólidos con mezcla de inertes de arenisca de la misma cantera	Si	Si	Si	Si	Si
No	Si	Biomantos de paja de arroz, pajilla de cebada o trigo o tierra negra	Si	No	No	No	No
No	Si	Plantas trepadoras	Si	Si	No	Si	No
No	Si	Montaje de trinchos de madera	Si	No	No	Si	Si
Si	Si	Regeneración natural	Si	Si	No	Si	No

Fuente 35. El autor a partir de (Barrera, 2002)

**Figura 2-25.** Evaluación de criterios de restauración en 5 técnicas de revegetalización de la Cantera Soratama



Fuente 36. El autor a partir de (Barrera, 2002);(SDA, 2007); (Rodríguez, 2010)

En una tendencia similar a lo evaluado para los otros grupos de técnicas, se observa de las técnicas analizadas, que la degradación de suelos es el punto de partida y que todas pretenden la reclamación de un mínimo útil. Existe una diferencia con respecto a los análisis anteriores que permite evidenciar la importancia atribuida a intervenir en procesos de formación de suelos y una parte con la materia orgánica. Si bien se percibe como muy importante la restauración ecológica, no se considera muy útil investigar el régimen de disturbios.

## 3. Área de Estudio: La Cantera Soratama

### 3.1 Justificación

Ante la pérdida del suelo en la cantera Soratama y específicamente en el sector sur occidental donde no se han llevado a cabo restauraciones activas hasta el momento, se propuso realizar la prueba piloto, usando sustratos de estructura estable que generaran una cobertura fértil para lograr la adherencia necesaria el tiempo mínimo de inicio de edafogénesis, hacia procesos de formación de suelos (PFS). En el trascurso del tiempo se busca construir conectores con la funcionalidad ecosistémica, que finalmente permitieran avanzar en la composición estructura y función ecosistémica similar a la de la trayectoria predisturbio (Clewel et al., 2013).

En el presente estudio se soporta la idea de una Plataforma Instrumental Tecnológica alternativa, con argumentos a favor de mejorar las técnicas para la restauración de suelos dentro de una visión sintética de ecología, capaces de consultar los Procesos de Formación de Suelos (PFS) que evitaren reducir el trabajo a simples traslados recíprocos de suelos (descapote y reubicación). En este contexto, se propone crear mecanismos técnicos que eviten tener que esperar cientos de años en el proceso de formación de suelos, que además integren los elementos y procesos de una Estructura Ecológica de Soporte Mínima (EESM). La validación del objetivo se realizó con una prueba de sustratos aplicados (producidos por el autor) en celdas de la cantera con diferentes condiciones de pendiente, que dieran cuenta de los argumentos estudiados en la revisión de técnicas de manejo de taludes disturbados, aplicados al escenario post minero de los Cerros Nor-orientales de Bogotá. Debido a la incidencia de factores que se enunciaron como barreras ecológicas y sociales del proceso, la dimensión ambiental se convirtió en una herramienta útil para el análisis de restauración de suelos, que contribuyera con la política pública de Gestión Integral Ambiental Sostenible de los suelos (GIAS), así como con el indicador Áreas en Proceso de Restauración (APR) de la SDA.

Respecto de los sustratos usados en la prueba, en los procesos de producción de hongos comestibles se utilizan técnicas como la esterilización e inoculación para simular y hacer factible la producción secuencial de un solo tipo de microorganismo, sin embargo en el

proceso industrial se generan apariciones indeseadas de otros hongos especialmente del género *Trichoderma*, que rápidamente invaden el sustrato, motivo por el cual, constituyen un material de desecho que igualmente ha sido colonizado por un solo organismo. Posteriormente, al acabar su ciclo biológico, se le inocula otro hongo secundario asociado al proceso de degradación en los cultivos y finalmente se termina el ciclo con microorganismos terciarios (levaduras y bacterias), para lograr un sustrato con ciertas características bioquímicas que lo hacen muy favorable a la nutrición vegetal. Igualmente, por la presencia de altas poblaciones microbianas, se genera una estructura coloidal que lo convierte en una matriz con adhesivo natural que lo fija inmediatamente a la roca, aún en taludes verticales. Debido el hecho de estar vivo, presenta mayores probabilidades de sostenerse en el tiempo y meteorizar la roca, pese a los factores meteorológicos adversos. Este es el punto de partida de los sustratos de origen biotecnológico producidos por el autor que se pueden convertir en soluciones asequibles y efectivas para la rehabilitación de suelos.

Teniendo como punto de partida las evidencias observadas a nivel nacional e internacional sobre el no reconocimiento del uso de los procesos de formación de suelos (PFS) en la tarea de rehabilitarlo para hacer restauraciones, y partiendo de lo técnico de una prueba piloto, la intención de este estudio ha sido contribuir a la efectividad de los procesos públicos de restauración ecológica, pasando por la necesaria comprensión de formación de suelos en la cantera Soratama, en condiciones fisiográficas de alta erodabilidad y en contra de barreras sociales y ecológicas. Desde este punto de vista, la gestión adelantada por la Secretaría Distrital de Ambiente en los últimos años, enfocada a la restauración ecológica de la cantera, se ha visto opacada por la falta de éxito en algunas técnicas, pese a su coincidencia con los esfuerzos nacionales y globales. En tal sentido, sólo es posible identificar a priori, éxito en los procesos edafogénicos de las experiencias con biosólidos, así como con las reforestaciones manejadas con Eucaliptos a lo largo de los Cerros Orientales de Bogotá. Estas experiencias son comparables con las referenciadas en algunos experimentos controlados de procesos de formación de suelos como los desarrollados en los últimos 50 años en los lisímetros de San Dimas en Estados Unidos (Bockheim & Gennadiyev, 2009). Igualmente, se observa acierto en la restauración ecológica pasiva con tipología de parches-ecotonos de alta actividad microorganísmica,

dentro de pequeños nichos de alta humedad y taludes que no fueron reconformados morfológicamente.

Por tal motivo, si el eje propuesto es el Proceso de Formación de Suelos (PFS), el trabajo consiste en alcanzar una adherencia mínima del sustrato que le permita permanecer un periodo de tiempo para que se presenten nuevas fases del proceso de horizonación o formación de nuevas capas de material sedimentario, para que surjan espontáneamente los vegetales de la primera etapa de sucesión o idealmente ambas condiciones. Es de reconocer en este caso que factores formadores de suelos como el clima, los materiales parentales, son observados como barreras a la restauración, por lo que incrementan la dificultad de alcanzar los objetivos.

Por tanto, el objetivo final desde lo ambiental debe ser el intentar enriquecer la Plataforma Instrumental Tecnológica (inicialmente local y quizás nacional), respecto de los factores críticos para la restauración de suelos, en escenarios donde predominan las barreras sociales y ecológicas, así como los factores potenciadores que han demostrado incidir en su desarrollo:

**Figura 3-26.** Base conceptual y práctica de la prueba.

### La plataforma Instrumental Tecnológica sobre restauración de suelos



Fuente 37. El autor.

### 3.2 Fases e hipótesis del estudio

La implementación del estudio se desarrolló principalmente en fases (figura 3-27): En la fase pre campo se plantearon las posibles aplicaciones según el potencial de los sustratos, la comprensión de la restauración de suelos y su aplicabilidad ambiental; en la fase preliminar se propuso la revisión de conceptos y técnicas relacionadas con la restauración de suelos y se definió la prueba piloto en la cantera Soratama por ser Aula Ambiental en el tema de restauración. Una vez alcanzadas las autorizaciones formales, en la fase de campo se verificaron los sitios de aplicación, se trasladaron y aplicaron los sustratos, se inició su observación mes por mes hasta el séptimo. Con el desarrollo de la conceptualización técnica acerca de las degradación y restauración de suelos y de la propiedad físico-química denominada estabilidad estructural se propusieron los análisis de laboratorio respectivos y los criterios para evaluar las técnicas en los escenarios internacional, nacional y local. Finalmente, con la verificación de los resultados de restauración de suelos de los sustratos y de evaluar las técnicas en otros lugares, se propuso proponer y comparar la Plataforma Instrumental Tecnológica.

Figura 3-27. Fases de desarrollo del Estudio.



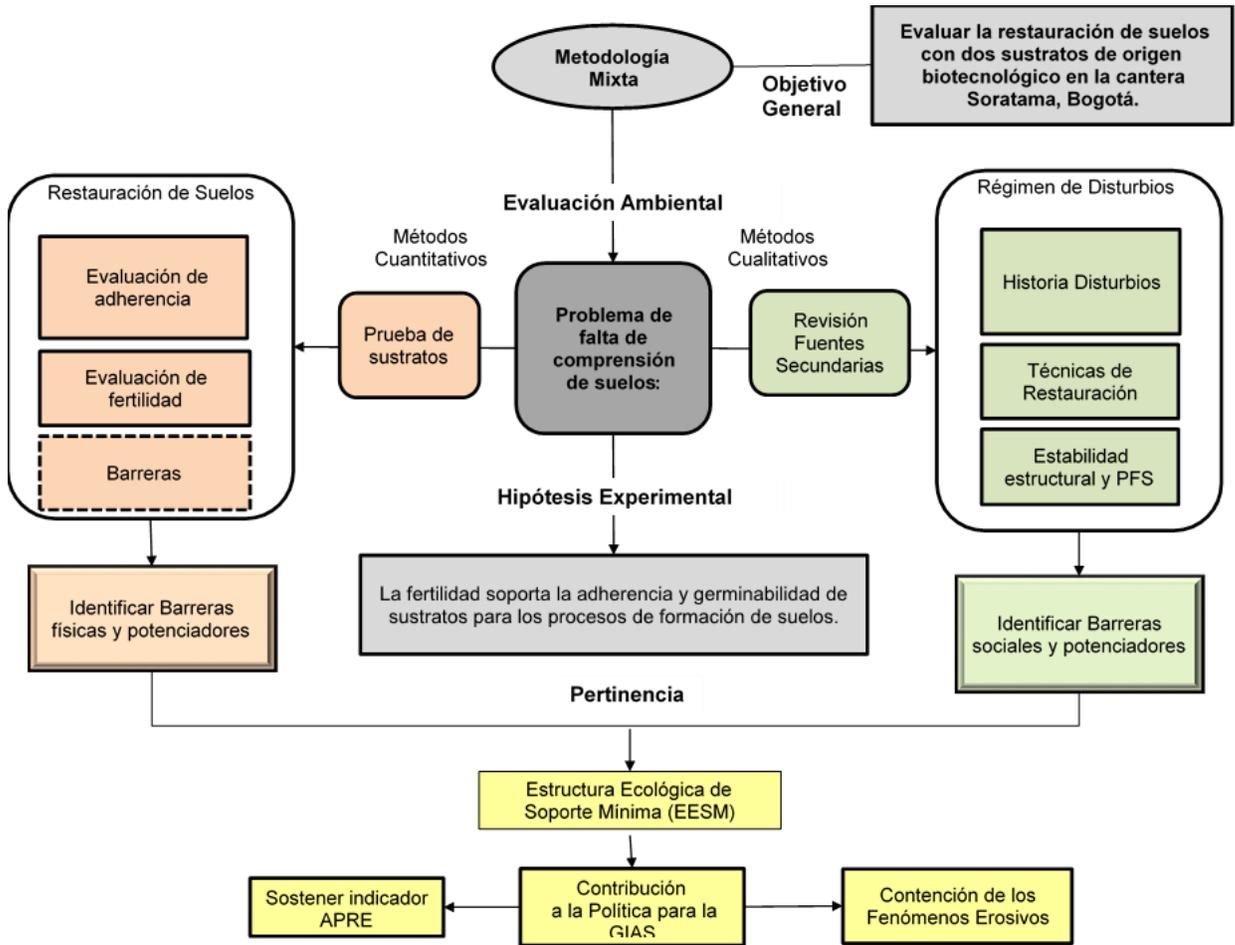
Fuente 38. El autor.

---

Por ende, desde el nivel de análisis ambiental (figura 3-28) se demostró la necesidad de mezclar métodos cualitativos utilizados para soportar la propuesta de la prueba piloto e investigar posibles Procesos de Formación de Suelos (PFS), con métodos cualitativos tanto para la comparación de los 7 criterios establecidos por el autor según su revisión de técnicas de manejo de taludes disturbados en el mundo, en el medio local y en la cantera Soratama, como para revisar los aspectos ambientales que están incidiendo en la visión actual de los procesos de degradación-restauración de suelos.

Todas esta complejidad se agrupó en lo que se denomina una Plataforma Instrumental Tecnológica (Angel, 1995) como solución el problema inicial planteado en este trabajo referido a la no comprensión cultural del fenómeno suelo y de sus procesos en las tareas de restauración y que figuró como *hipótesis general del trabajo*. De igual forma al hacer la revisión de las técnicas de manejo de taludes disturbados en el mundo, el autor compara otras plataformas según criterios técnicos de suelos, históricos de la degradación y ambientales de la definición de ecosistemas de referencia. Es de resaltar, que en la fase preliminar e investigando los ejercicios más exitosos de rehabilitación de suelos en taludes disturbados con alta pendiente en Estados Unidos, se encontraron similitudes importantes con criterios y parámetros físico químicos (CIC, pH, CO, ret./hum enunciados en la tabla 4-10) logrados entre los sustratos producidos por el autor y los compost maduros utilizados por los departamentos de transporte de algunos estados (Demars & Long, 1998; y Demars, Long, & Ives (2000).

Figura 3-28. Aproximación a los métodos mixtos en el trabajo



Fuente: 39. Elaboración propia del autor con base en Pérez (1992); Preciado (2005), Vargas (2007), Márquez & Valenzuela (2008).

Se inicia de esta manera la comprensión de la relación entre la cultura de los grupos afectados e inmersos en el tema, el espacio geográfico, los ecosistemas, con la necesidad de encontrar soluciones técnicas con una mejor comprensión de los aspectos aludidos al suelo.

La prueba piloto de dos sustratos de origen biotecnológico desarrollados por experiencia del autor a partir de sustrato gastado de hongos (SGH) y residuos agroindustriales eutrofizados, se usó para evaluar su potencial restaurador de suelos mediante la adherencia y fertilidad sobre taludes desnudos de alta pendiente en la cantera Soratama. La prueba pretendía verificar en cortos periodos de tiempo Procesos de Formación de

Suelos (PFS), procesos que requieren ser investigados formalmente, pero que permitieron a priori, cuestionar las técnicas de bioingeniería que predominan en el medio actual para restaurar taludes degradados.

Se planteó como *hipótesis cuantitativa*, que la alta presencia microbiana en los sustratos S1 y S2 aplicados en 6 celdas en la Cantera Soratama en Enero de 2017 y producto de su desarrollo artificial secuencial, llega a desencadenar procesos de transformación de la materia orgánica relacionados con la propiedad físico química enunciada como Estabilidad Estructural Ampliada (EEA), lo cual está relacionado con el potencial de germinabilidad y su adherencia (Perez-Arias, 1992; Calderón-Saénz, 2017). La organización de las partículas y agregados a través de procesos de degradación, floculación y cementación, garantiza la disponibilidad gradual de fracciones de materia orgánica, aire, agua y gases para la supervivencia del componente microbiológico, que desarrolla con su entorno coloidal, el adhesivo natural para garantizar la adherencia del sustrato a la matriz de arenisca y que por su fertilidad favorecen la germinación de vegetales hacia el inicio de una fase de restauración ecológica. La aplicación de los sustratos estuvo expuesta a las condiciones climatológicas durante 7 meses, informadas por el reporte del Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para la estación UDCA de los últimos 27 años, sobre humedad relativa, tensión de vapor, temperatura promedio, precipitación promedio, brillo solar, evaporación y nubosidad (IDEAM, 2017).

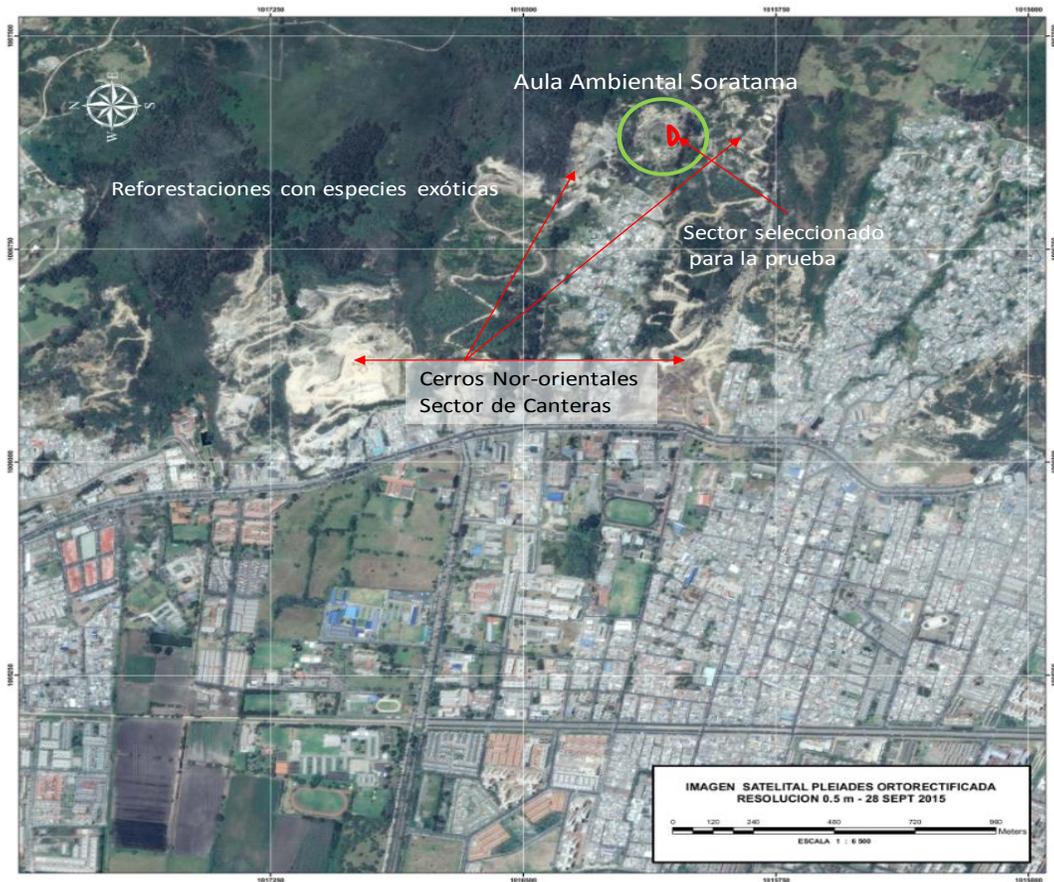
La información recopilada por la prueba sirvió para el diseño, construcción y diligenciamiento de una *fichas-reporte de Ecología de la Restauración* respecto de la fase de rehabilitación de procesos de formación de suelos y restauración de suelos, que no obstante obedecieran a un proceso piloto realizan un aporte al ordenamiento de información para el monitoreo (Anexo I).

Como *hipótesis cualitativa* se planteó el desconocimiento de los procesos de formación de suelo por parte de los ejecutores de las restauraciones ecológicas o manejo de taludes disturbados. Esto se intenta probar a través de la evaluación comparada utilizando los 7 criterios degradación-restauración de suelos propuestos por el autor (figura 2-5) aplicados a una muestra del conjunto de técnicas de manejo de taludes disturbados en Estados Unidos, Europa, Colombia, Cerros Orientales y Cantera Soratama (Anexo H).

### 3.3 Ubicación

Si bien la Secretaría de Ambiente del distrito autorizó realizar la prueba de sustratos en cualquier ubicación de la Cantera, excluyendo aquellas zonas donde se encontraban riesgos de remoción en masa, la escogencia final del lugar tuvo como consideraciones la existencia de taludes de alta pendiente desnudos, la accesibilidad y la posibilidad de resguardo permanente ante el posible daño por parte de los visitantes. El sector seleccionado en el costado suroccidental de la cantera es representativo de los procesos pos mineros evidenciados en el sector Norte de los Cerros Orientales (figura 3-29).

**Figura 3-29.** Aerofotografía de escenarios post mineros y región en los Cerros Nor-orientales de Bogota.

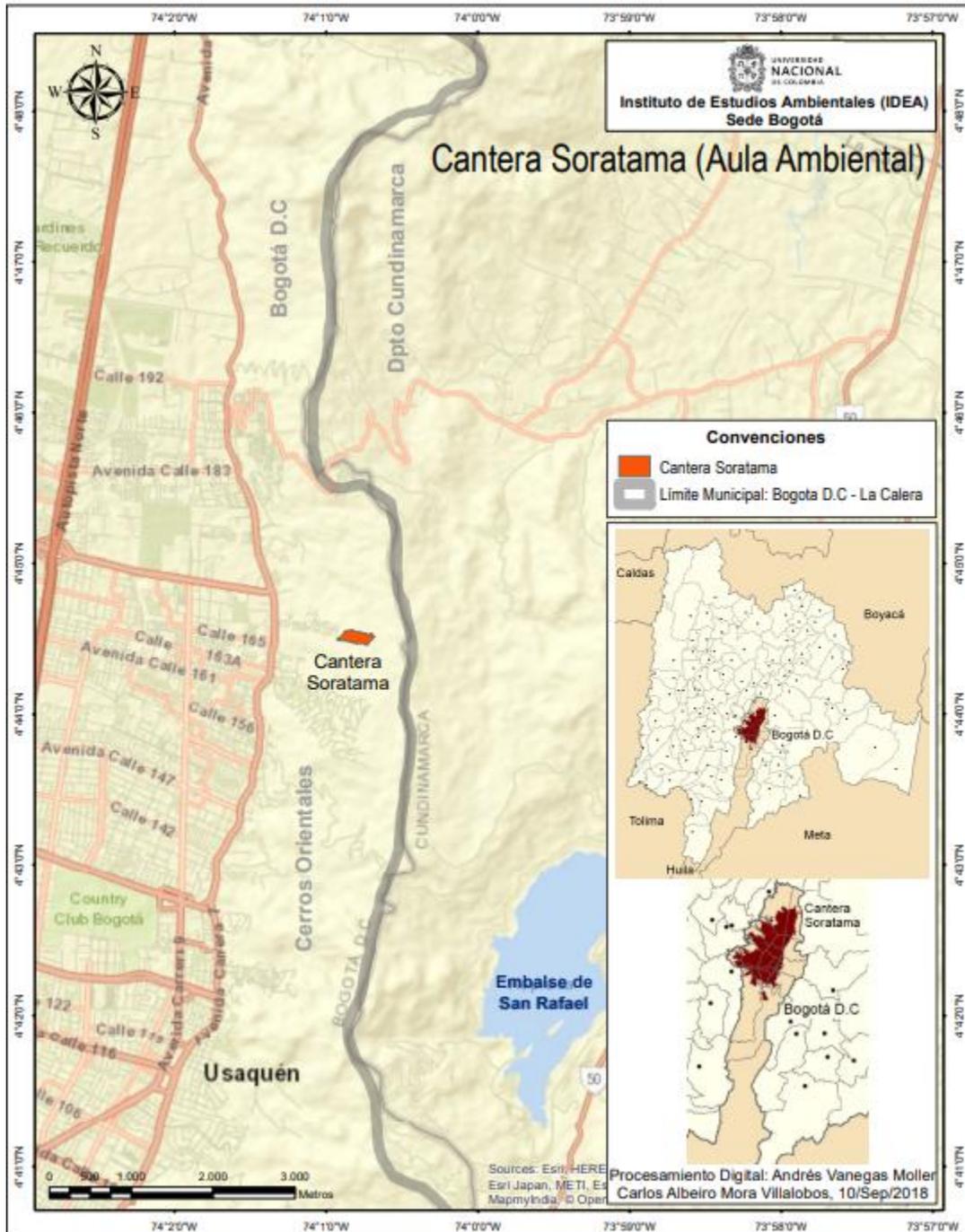


Fuente 40. El autor.

Adicionalmente a los criterios de selección anotados, se escogió el sector de la prueba por no haber sido objeto de reconfiguración morfológica dentro de las actividades del proceso

restaurativo iniciado en el 2006 y que actualmente presenta evidencias de procesos de restauración pasiva (figuras 2-22 y 3-31). Las nueve celdas objeto del estudio, se ubicaron con el criterio de talud desnudo con pendiente de más de 30 grados respecto de la horizontal (figura 3-31). Estas se distribuyeron en seis celdas que albergaron prueba de sustratos (C1,C3,C4,C5,C7 y C9) y tres que sirvieron de control (C2,C6 y C8). Los vértices de cada polígono en cada celda se identificaron mediante coordenadas geográficas levantadas con GPS Garmin OREGON 500 que se encuentran referidas en cada ficha del anexo I. La ubicación geográfica de la prueba piloto se desarrolla en el predio Soratama en los Cerros Nor-orientales de Bogotá (figura 3-30).

Figura 3-30. Mapa Ubicación general Soratama en los Cerros Nor-orientales de Bogotá.



Fuente 41. El autor con base en cartografía IGAC 2015.

Las dimensiones, el tipo sustrato aplicado por celda y la condición de pendiente de las celdas donde se aplicaron los sustratos fueron:

**Tabla 3-11.** Características físicas de las celdas de la prueba.

**Características básicas de las condiciones físicas de las Celdas del estudio**

Característica de Celdas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Tipo de sustrato	S2*	CONTROL	S1	S1	S2	CONTROL	S2	CONTROL	S1
Largo de celda	7,5	10	10	10	10	10	6	8	1,5
Ancho de celda	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	3	1,5
Pendiente en grados	45	65	65	72	72	72	30	72	80

\*Unos sectores fueron completados con S1.

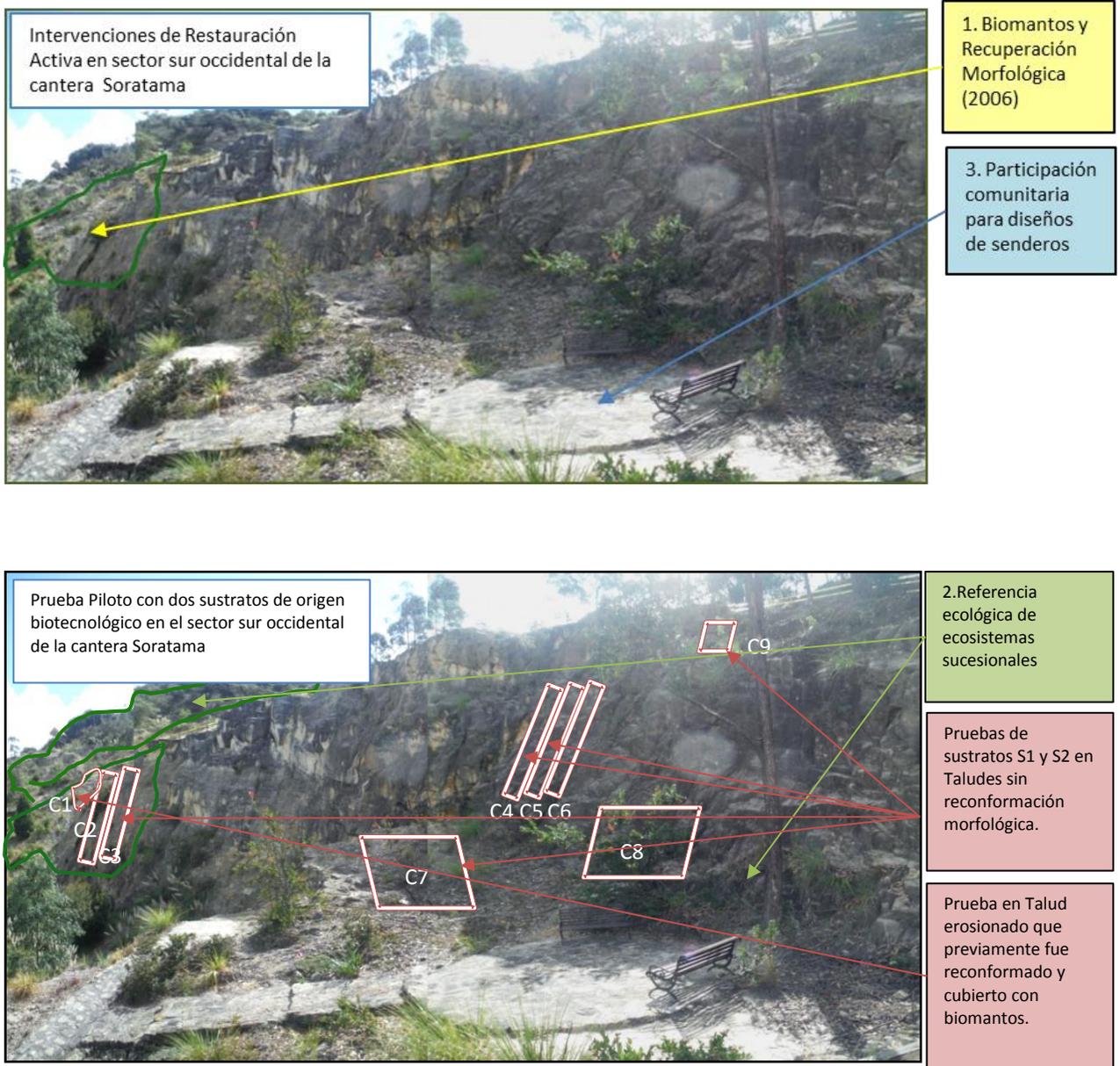
Fuente 42. El autor

La ubicación general de las celdas de la prueba al interior del predio Soratama se visualiza en la tercera imagen de la figura 3-31 y la específica con coordenadas se encuentra en la ficha de ecología de restauración respectiva a cada celda.

**Figura 3-31.** Esquema fotográfico del escenario de Restauración en la Cantera Soratama

**ESCENARIO DE RESTAURACION AULA AMBIENTAL (CANTERA) SORATAMA - 2017.**





Fuente 43. El autor.

### 3.4 Metodología de la prueba

Posterior a la descripción de las fases de desarrollo del estudio e hipótesis y planteado el análisis de los métodos mixtos que conforman la Plataforma Instrumental Tecnológica propuesta por el autor y comparada con otras representativas para el manejo de taludes disturbados, queda pendiente el desarrollo metodológico. Como se ha referido, el estudio tiene un componente cualitativo referido a la comparación de las técnicas del manejo de

taludes disturbados y los aspectos ambientales relacionados con la comprensión de suelo en las restauraciones y uno cuantitativo relacionado con la prueba piloto.

### **3.4.1 Métodos Cualitativos**

Realizada la revisión de conceptos atinentes a los suelos, los Procesos de Formación de Suelos (PFS), su degradación, la estructura como característica predominante de los sustratos agroecológicos y el régimen de disturbios como ordenador histórico de la dimensión ambiental en la degradación-restauración, el autor según su experiencia y conocimiento en la producción y uso de los sustratos propuestos, propone los siete criterios de comparación para las técnicas de manejo de taludes disturbados en Europa, Estados Unidos, Colombia, Cerros Orientales y finalmente en la cantera Soratama. Operó como criterio de selección en la revisión, el de las técnicas de manejo de taludes disturbados aceptadas por instituciones públicas, quienes son el financiador, controlador y finalmente el planeador de la política pública relacionada con las áreas degradadas de suelos.

Si bien algunos procesos de formación de suelos poseen un grado de complejidad inalcanzable principalmente por la escala de tiempo, clima, geomorfología y tectónica, la propuesta en que se basa la prueba es la de transformación de los sustratos aplicados equivalentes al horizonte (O) (detritus superficiales) en un horizonte A, el cual se va lavando y va integrando una mínima fracción de arcilla en un simple proceso de eluviación y ante la llegada de nuevos sedimentos este pasa a ser un tipo de horizonte (B), resultados imperfectos a la escala humana actual y según los conceptos revisados del régimen de disturbios, degradación-restauración y presencia microbiana en los suelos. Por la vía sugerida, se intenta simplificar soluciones de Procesos de Formación de Suelos que eviten llevar la ruta de empirismo de algunas de las citadas técnicas actuales. No se propone probar dentro del presente trabajo la presencia microbiana dentro de los sustratos, que son objeto de los desarrollos biotecnológicos alcanzados por el autor.

### **3.4.2 Métodos cuantitativos**

Respecto a la prueba técnica, esta fue desarrollada una parte en campo y otra en laboratorio en las instalaciones de la Universidad Nacional sede Bogotá. En campo se trabajó en 9 celdas seleccionadas discrecionalmente sobre un sector en el costado sur occidental de la cantera, en donde 6 celdas con áreas variables de 2 a 18 m<sup>2</sup> y pendientes entre 30-80 grados (tabla 3-11), fueron tratadas con una capa promedio de 3,5 cm. de

grosor de uno de los dos tipos de sustratos (S1 y S2) completando un área total de 78 m<sup>2</sup> de taludes disturbados (aplicados a mano pretendiendo moldear y sellar toda la superficie).

Las 3 celdas restantes funcionaron como control y/o verificadores de procesos de restauración pasiva. Las variables medidas en campo dentro del objetivo de un nuevo perfil para la formación de suelo, fueron la adherencia y la fertilidad de los dos sustratos. La información específica de cada celda se encuentra referida en su respectiva ficha de ecología de la restauración.

#### *Medición de Fertilidad a través de la Estabilidad Estructural Ampliada (EEA)*

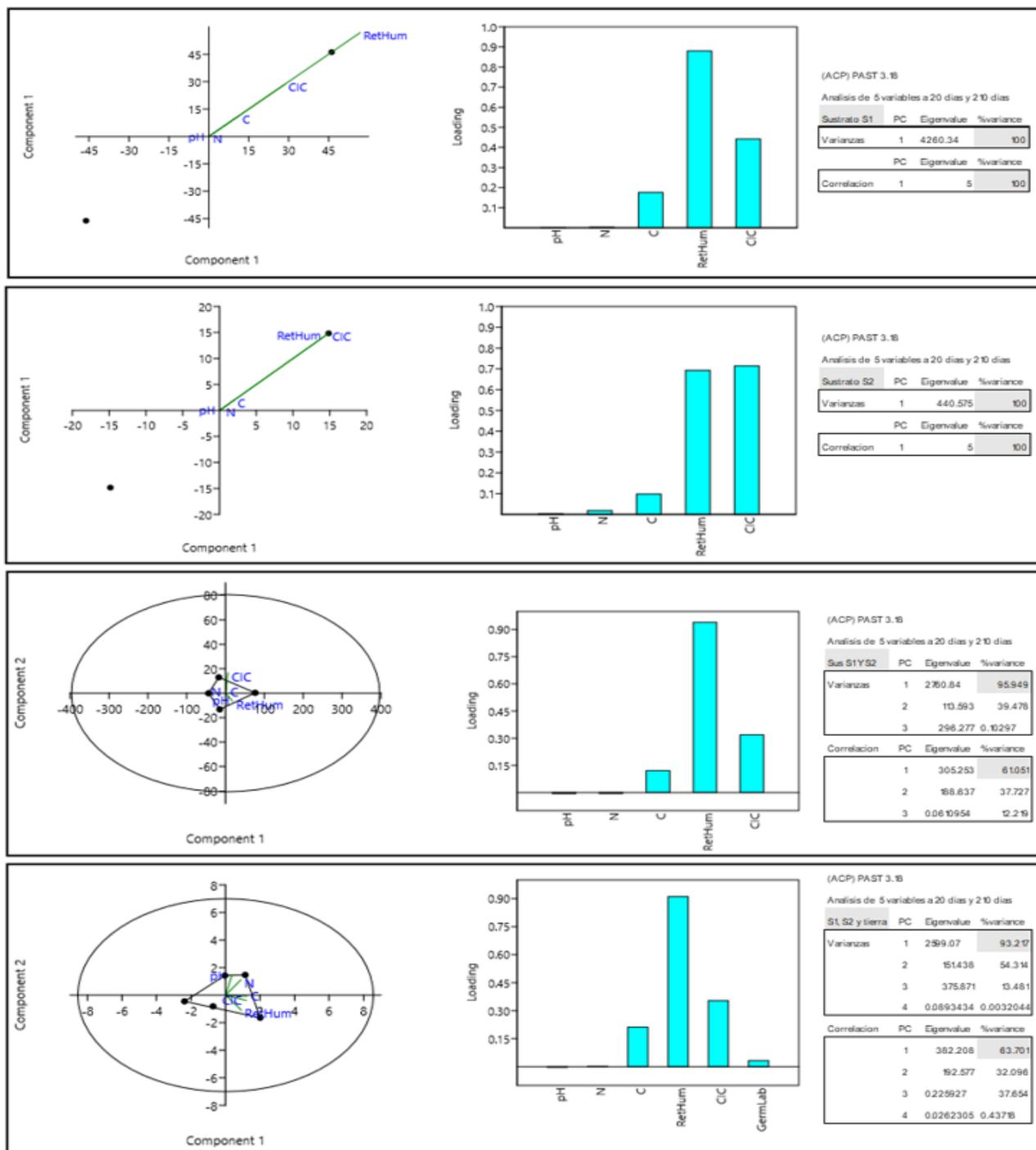
Se utilizaron los resultados de la prueba piloto para colaborar con la construcción de la metodología de evaluación. Una vez alcanzados los resultados de medición de parámetros físico químicos de la prueba se propuso argumentar la fertilidad bajo un índice sintético propuesto por el autor como Estabilidad Estructural Ampliada (EEA).

Esta propuesta se apoyó en el concepto de *Estabilidad Estructural* (EE) y se enunció *Ampliada* por cuanto incluyó el resultado de pruebas de germinación de maíz a 35 días. Al respecto el uso de herramientas de análisis estadístico demostró (software PAST v 3.18) (figura 3-32) la posibilidad de agruparlas por su comportamiento estadístico.

El índice de Estabilidad Estructural Ampliada (EEA) pretendió agregar sintéticamente en torno a un solo factor o índice las variables de suelos de las cuales se obtuvieron datos para los sustratos como pH, relación Carbono Nitrógeno (C/N), capacidad de retención de humedad promedio (%retHum) a 3 presiones (0,3,1 y 5 atm), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y germinación. Pese a la divergencia de unidades y equivalencias de las variables, a través del análisis de varianzas y correlaciones dado por el Análisis de Componentes Principales (ACP) adelantado con el software PAST v. 3.18, se pudo determinar respecto a los resultados de agrupar las muestras de sustratos (S1), (S2), (S1 y S2) y (S1, S2 y Tierra) que el conjunto de varianzas agrupadas en el primer componente es mayoritaria y alta en porcentaje.

**Figura 3-32.** Serie de Análisis de Componentes Principales de los resultados de sustratos y tierra en la prueba para construir la propuesta del índice de Estabilidad Estructural Ampliado (EEA)

Serie de Análisis de Componentes Principales (ACP) de sustratos en la Prueba para proponer el Índice de Estabilidad Estructural Ampliado (EEA)



Fuente 44. El autor con el software PAST v. 3.18.

Se propuso denominar “ampliado” al citado índice porque se complementó con la información suministrada de la realización de pruebas en laboratorio de germinación de los

dos sustratos S1 y S2 comparados con los logrados por tierra negra adquirida. Estas pruebas se efectuaron en un espacio asignado contiguo al departamento de Biología de la Universidad Nacional, donde se construyó una pequeña estructura de 1 m<sup>3</sup> aproximadamente, cubierta en velo traslúcido para la protección de predadores y donde se ubicaron al interior las tres bandejas de germinación, cada una de 35 receptáculos aislados, para ser sembradas con semilla de maíz tipo “porba” adquirido comercialmente. Luego de haber sido sembradas las semillas en cada una de las bandejas con sustrato S1, S2 y tierra comercial, se evaluó en báscula de precisión el peso seco final de las plántulas crecidas hasta los 35 días. Los resultados fueron analizados usando el software PAST versión 3.18.

Es importante citar, que no se pudo utilizar la técnica existente en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Sede Bogotá: Primero, porque la metodología de medición de estabilidad estructural (método de Yoder) sólo mide gradación de partícula de los agregados, lo cual requiere contenidos de arcilla para agregar, la cual no se observa en los sustratos de estudio; Segundo, porque su medición se basa en la respuesta indirecta de la capacidad de los mismos para mantenerse agregados ante intentos de desagregación física y química, lo cual no aplica para los sustratos, porque estos no tienen ese comportamiento.

#### *Muestreos*

Las variables físico químicas de suelos fueron medidas sobre el material recogido mes a mes en los colectores de las celdas C4 (sustrato1), C5 (sustrato2) y C6 (control) de la Cantera hasta alcanzar el séptimo mes de la prueba (anexo E). Para coleccionar el material

**Figura 3-33.** Toma de muestras según método DEMARS & LONG del 1 al 7 mes en celdas C4, C5 y C6 para evaluar fertilidad.



Fuente 45. El autor.

erosionado se adaptó el método referido por Demars & Long (1998) y Demars, Long, & Ives (2000), para las tres celdas con mayor pendiente C4, C5 y C6, consistente en fabricar unos colectores en geotextil a manera de embudo que fueron dispuestos en la parte más baja de la celda, para capturar los sedimentos, direccionarlos a un balde y medir el peso del material caído. La adaptación consistió en tomar la medición en cada mes después de la aplicación y no después de cada fenómeno de lluvia como lo plantea el autor. Adicionalmente, se efectuaron los análisis de las mismas variables en los dos sustratos S1 y S2 al iniciar la prueba, referido a los 20 días de aplicación como el momento de inicio  $t_0$ . Finalmente, se practicaron estos mismos análisis a una muestra de tierra negra adquirida en el Jardín Botánico de Bogotá, así como al material erodado y recogido de la Celda C6, donde no se aplicó sustrato alguno, pero se verificó mensualmente la caída de sedimentos en el balde colector. Los resultados se presentan en la tabla 3-12 y la metodología específica para cada ensayo de laboratorio aparece referida en el reporte del citado laboratorio (anexo E).

#### *Medición de la Adherencia por evaluación visual*

A través de información visual de campo, se evaluó la adherencia de los dos sustratos por su área de cobertura en el tiempo (tabla 3-15). En primer lugar, se midió la adherencia sobre las 6 celdas aplicadas con sustratos S1 y S2, mediante la proyección de una retícula virtual de 12 filas por 36 columnas ajustadas al tamaño del polígono sobre las fotografías tomadas, para luego hacer la comparación Inter temporal a los 20 y 210 días después de aplicación de los sustratos. Se clasificaron las observaciones de cada recuadro como de Alta cobertura (T) ( $>80\%$ ), media cobertura (S) ( $80\% > x > 10\%$ ) y baja cobertura (D) ( $<10\%$ ).

De manera paralela y para contrastar los resultados se realizó la medición de coberturas de las celdas C3, C4, C5 y C7 a 210 días de haber sido aplicados los sustratos usando el software ArcGIS v 10.5, categorizando la cobertura observada en las mismas fotografías, en adherencia fuerte, media o baja.

Como tercera forma de verificación se utilizó la adaptación de la metodología planteada por Demars & Long (1998) y Demars, Long, & Ives (2000), pesando el material recolectado mes por mes desde el primero hasta el séptimo (tabla 3-14) y restándolo del inicialmente aplicado. El objetivo final de estas mediciones ha sido el cuantificar al cabo de 210 días de medición o 7 meses, cuanto material del aplicado inicialmente aún continuaba adherido y

había protegido el suelo de la erosión, sin poder verificar el grosor remanente en cada caso.

Se utilizaron las celdas C2 como control del C3, la C6 como control de las celdas C4 y C5, y la celda C8 como control para verificación de restauración pasiva contiguas a las celdas C4, C5, C6 y C7.

### **3.5 Variables**

Las variables consideradas para medir y contrastar la hipótesis cuantitativa fueron la fertilidad y adherencia, cuyos métodos, hipótesis, cuantificadores y propuestas de análisis estadístico aparecen en la figura 3-34.

Es de aclarar que la fertilidad en el presente trabajo obedece a un conjunto de propiedades y procesos físicos, químicos y microbiológicos que permiten al sustrato permanecer el tiempo suficiente y adherirse a una matriz litológica desnuda. Si bien esta fertilidad conjuga la biodisponibilidad edáfica con un microcosmos desarrollado artificialmente, se observan grandes virtudes de adherencia por cuenta de la armazón coloidal alcanzada. Así, para el presente trabajo, la condición es comparable con los compost maduros y adecuados utilizados en EEUU (Demars & Long, 1998; Demars, Long, & Ives, 2000). Quizás se pueda llegar a demostrar la relación entre fertilidad y adherencia y/o su aparente causalidad.

La fertilidad se evaluó como una agregación sintética dentro del concepto *Estabilidad Estructural Ampliada* (EEA) tomando las mediciones del conjunto de 5 variables edafológicas (pH, C,N, %retHum y CIC) de S1, S2 y Tierra, obtenidas por los resultados de laboratorio de Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, e integradas a la medición de la capacidad de germinabilidad y desarrollo de los sustratos S1,S2 y tierra para receptáculos sembrados con maíz y preservados por 35 días bajo cuidado del autor en las instalaciones del departamento de Biología.

**Figura 3-34.** Hipótesis, variables, indicadores, cuantificadores, fuentes de información y propuesta de análisis estadístico de la Prueba de dos sustratos S1 y S2 en la Cantera Soratama, Bogotá.

Hipotesis	Variable	Indicadores	Codigo	Cuantificadores	Fuentes de Información	Propuestas de Análisis estadístico
-La estabilidad estructural y adherencia de S1 y S2 en las condiciones climáticas y de material parental de la cantera Soratama inician Procesos de Formación de Suelos (PFS) Y evitan la erosión.	Fertilidad Estabilidad Estructural Ampliada (EEA)	Estabilidad Estructural	V1-1	ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE GRUPOS S1, S2 y TIERRA>  -pH -Contenido de materia orgánica (C). -Contenido de Nitrógeno (N). -Porcentaje de retención de humedad a 0,3 bar 1 bar y 5 bar. -CIC	Laboratorio de Aguas y Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias UNAL.	ACP de (S1), (S2), (S1 y S2) y (S1,S2 y tierra comercial) con el software PAST v 3.18 y ANNOVA de una vía para comparar S1 y S2 a 20 días con tierra comercial
		Sustrato Biotecnológico	(No evaluado)	Sustrato Gastado de Hongos eutrofizado e inoculado con microorganismos terciarios.	Experiencia y conocimiento reservado del autor.	
		Germinabilidad favorable en laboratorio	V1-3	COMPARACION DE MEDICION DE TRES TRATAMIENTOS S1,S2 Y TIERRA: Crecimiento de biomasa sobre bandejas de 35 plántulas a 35 días con sustrato S1, S2 y tierra comercial ubicados en invernadero cubierto a condiciones ambiente en la UNAL.	Verificación de peso de los grupos de plántulas cosechados, lavados y secados. Se utilizaron deshidratador y bascula electrónica del laboratorio de ecología UNAL.	ANNOVA de una vía para comparar S1 y tierra comercial y S2 con tierra comercial, a 20 días con el software PAST v 3.18
		Adherencia	Adherencia de los sustratos a la matriz de arenisca en el tiempo	V2-1 V2-2 V2-3	COMPARACION DE MEDICION DE SUSTRATOS ADHERIDOS EN LAS 6 CELDAS POR TRES METODOS: -Fotointerpretación manual de imágenes de las celdas a 210 días comparada con la imagen a 20 días. -Fotointerpretación por software ARCGIS versión 10.5 de las imágenes a 210 días. -Adaptación del método de DOT (EEUU ) para coleccionar material caído.	Fotografías mes a mes tomadas por el autor y recolección del materia acumulado en los colectores de as celdas C\$,C5 y C6.

Fuente 46. El autor.

Estos datos obtenidos para los tres tratamientos S1, S2 y Tierra fueron confrontados mediante test de ANNOVA de Krustall-Wallis. Se verificó esta posibilidad de agrupación según el Análisis de Componentes Principales (ACP) con el software PAST v.3-18, para poder comparar las propiedades físico químicas asociadas a la estabilidad estructural y relacionarlas con la potencialidad de germinación de los sustratos S1 y S2 en condiciones de laboratorio. Estas variables fueron objeto de afectación por parte de condiciones fisiográficas como la pendiente del terreno, el clima, materiales parentales y geología, pero debido a la baja representatividad de las muestras en la prueba piloto no se pudo

correlacionar con los datos obtenidos de la serie de 27 años de clima de la estación IDEAM-UDCA.

### **3.6 Fichas de Ecología de la Restauración**

Para superar la metodología de evaluación de las prácticas de restauración ecológica por los indicadores de ejecución y recibo de contratos de obra que se impone en el medio, las fichas son una propuesta desarrollada para intentar agrupar la mayor cantidad de información pertinente de un proceso de Restauración Ecológica específico y que deben corresponder a información acumulable de Ecología de la Restauración. Si se comprende que la etapa inicial de todo proceso de restauración es la rehabilitación de funciones de suelo, los parámetros a medir dentro de su evaluación deberán obedecer a criterios edafológicos, dentro de los cuales los procesos de formación de suelos y las propiedades de los mismos pueden ser criterios a ubicar como indicadores. De igual manera se debe observar la virtud de reducir variables y concretar preguntas o hipótesis específicas para reducir incertidumbres y construir conocimiento. Aunque sean claras las implicaciones sobre la complejidad de la dimensión ambiental en el estudio, se requiere ir acumulando conocimiento sobre variables críticas, una a una, en la búsqueda de eficiencia de uso de los recursos públicos en cada trabajo, o hasta cuando se desarrollen métodos complejos que puedan integrar toda la información

Las fichas referidas a las Celdas C3, C4, C5, C6, C7 y C9 se encuentran reseñadas en el anexo I, y recogen información en cada fase como introducción, ubicación, fechas iniciales y finales, variables, líneas base por variables, indicadores, fotografías, observaciones, soportes de mediciones, análisis estadístico entre otros.

### **3.7 Resultados**

Se presentan como resultados cuantitativos de la prueba los siguientes acerca de los sustratos S1 y S2, tanto a los 20 días de aplicado como a los 210 días y se comparan con los de la tierra obtenida comercialmente:

**Tabla 3-12.** Resumen del Reporte de Resultados Ensayos de Laboratorio de Aguas y Suelos FCA UNAL de sustratos de la prueba

**Reporte de Resultados de Analisis de Suelos**

**14 de Noviembre de 2017**

Denominacion de Muestra	pH	C	N	C/N	Ret/H 0,1 Bar	Ret/H 3 Bar	Ret/H 5 Bar	CIC
1. Sust S1 inicial en celda C4	5,99	1,37	47,5	34,6	228,2	226	217,9	105,8
2. Sust S2 Inicial en celda C5	6,92	2,56	37,2	14,5	105,1	92,1	94,7	87,9
3. Sust S1 en celda C4 a 210 dias	5,82	1,01	31,3	30,8	113,9	100,5	94,4	65
4. Sust S2 en celda C5 a 210 dias	6,82	2,01	34,3	17,1	66,1	66,8	65,1	66,7
5. Tierra comercial	6,05	0,32	8,83	27,9	64,6	57,9	46,8	56,8
6. Control Celda C6 a 210 dias	6,47	1,35	25,7	19,1	57,1	69,8	53,5	50,7

Fuente 47. Adaptado del autor del reporte (anexo E).

Luego de haber obtenido los análisis de laboratorio de las 6 muestras, esta información se complementó con los resultados de germinabilidad logrados en laboratorio:

**Tabla 3-13.** Reporte de resultados de germinabilidad a 35 días en laboratorio.

**Resultados de germinabilidad en laboratorio**

**30 de Mayo y 30 de Junio de 2017**

Denominacion de Muestra	Peso Seco de Biomasa en grs.
1. Sust S1 inicial en Celda C4	8
2. Sust S2 Inicial en Celda C5	7,02
3. Sust S1 en celda C4 a 210 dias	3,45
4. Sust S2 en celda C5 a 210 dias	5,13
5. Tierra comercial	2,92

Fuente 48. El autor.

**Tabla 3-14.** Reporte Final de resultados de colección mensual de material erodado en colectores

**Resultado mensual de Peso (grs.) de material capturado en colectores**

Fecha de Colecta	Celda C4 sust S1	Celda C5 sust S2	Celda C6 control
02/03/2017	746,92	1582,17	305,29
02/04/2017	2097,6	3950,1	841,4
05/05/2017	1849,75	2268,3	420,46
01/06/2017	624,17	463,45	152,53
30/06/2017	1287,88	1412,6	241,55
27/09/2017	2292,9	3786,2	674,2
Total	8899,22	13462,82	2635,43
Aproximado aplicado	150000	150000	
% erodado en 7 meses	6%	9%	

Fuente 49. El autor.

**Tabla 3-15.** Reporte de Resultados de Medición de Adherencia de los sustratos en las celdas.

**Reporte de Resultados de Medición de Adherencia**

Celda	Medición manual a 20 días de haber sido aplicado	Medición manual a 210 días de haber sido aplicado	Medición ARCGIS	Tipo Sustrato
C1	0,986111111	0,886574074	0,95	S1 y S2
C3	0,965277778	0,844907407	0,9268	S1
C4	0,981481481	0,844907407	0,8163	S1
C5	0,988425926	0,743055556	0,5441	S2
C7	0,979166667	0,944444444	0,968	S2
C9	0,925925926	0,659722222	0,66	S1

Fuente 50. El autor.

Si bien el proceso de desarrollo de la prueba estuvo marcado por una falta de aleatorización del proceso que incidió en que algunas herramientas de análisis estadístico no pudieran ser aplicadas y en otras pueden existir error de magnitud significativa, los resultados alcanzados, brindan información respecto de la hipótesis planteada y proyecta la posibilidad para futuras posibles investigaciones.

Los resultados se pueden agrupar:

- 1- Con respecto a la variable adherencia los resultados de estadística descriptiva de los sustratos aplicados demostraron que continuaron adheridos en los taludes en

promedio en el 81,57% (sin evaluar su grosor final) del área de las celdas al cabo de 7 meses de evaluación a la intemperie, lo cual produjo una barrera efectiva al control de erosión e iniciaron en la mayor parte de los casos Procesos de Formación de Suelo (PFS). Sobre la variable fertilidad, primero por estadística descriptiva que los sustratos sostuvieron establemente como primer componente de la fertilidad según los elementos de estabilidad estructural (gradación de partículas, contenido de materia orgánica, relación carbono nitrógeno, pH, porcentaje de retención de humedad y capacidad de intercambio catiónico) en conjunto y promedio un 146% adicional respecto de la tierra usada comercialmente en los biomantos. Como segundo componente de la fertilidad la capacidad de germinación, se logró en laboratorio un 110% adicional comparado con la tierra negra comercial. En campo se evidenció una regeneración espontánea de vegetales de alrededor un 7% sobre el área aplicada.

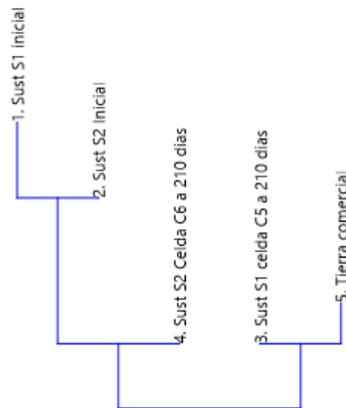
- 2- Según ANOVA (prueba de Dunn y prueba de Tukey) practicado entre los sustratos S1 y S2 comparados por separado con tierra negra a los 20 días y a los 210 días se determinó que existe suficiente evidencia estadística de la diferencia existente (negación de  $H_0$ ) para las variables capacidad de retención de humedad, contenidos carbono y nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico cuando se analizan por separado (Anexo J).
- 3- Para verificar el índice sintético de Estabilidad Estructural Ampliada (EEA) se practicó un ANOVA bajo la prueba de Krustall-Wallis con el software PAST v 3.18 a los mismos conjuntos de parámetros de fertilidad y germinación de los sustratos S1, S2 y Tierra comercial, pero ahora no considerándolos como variables o tratamientos independientes sino como mediciones de los tres tratamientos S1, S2 y Tierra, de tal modo que la comparación se realizara en conjunto. La prueba determinó (confirmación del  $H_0$ ) que no existe diferencia estadística para el conjunto de las 6 mediciones en su comportamiento conjunto entre los sustratos S1, S2 y Tierra. Esto puede sugerir que el patrón de comportamiento de este conjunto de variables agrupadas sintéticamente es similar para los tres tratamientos. (Anexo J).
- 4- Respecto de la adherencia no se lograron comparar sino entre los sustratos S1 y S2 y ante dos pruebas de ANOVA una de Krustall Wallis y la otra de Welch adelantadas con el software PAST v. 3.18 se determinó que la evidencia estadística

confirma la hipótesis  $H_0$  es decir no existe diferencia significativa entre la adherencia de los dos sustratos.

- 5- Los intentos por realizar análisis de regresión y encontrar la posible relación de causalidad entre la fertilidad y la adherencia, no contó con la suficiente información, lo cual debió plantearse desde el diseño de la prueba.

De igual manera se puede observar la categorización que realiza el software PAST v 3.18 en un análisis de agregación de clúster (figura 3-35) con respecto a la medición de las variables de fertilidad para los dos sustratos S1, S2 y la tierra comercial, la cual le dá preeminencia al sustrato S1 inicial, luego al S2 inicial, posteriormente S1 y S2 a 210 días y finalmente la tierra.

**Figura 3-35.** Agregacion de cluster de Fertilidad medida con el indice propuesto de Estabilidad Estructural Ampliada (EEA) para relacionar los dos sustratos S1, S2 a 20 dias y 210 dias y la tierra comercial



Fuente 51. El autor con el con el Software PAST v. 3.18.

Aunque los resultados que confirman la hipótesis de formación de suelos (PFS) se lograron para las celdas C1, C3 y C7, el más claro es el desarrollado en esta última celda según figura 3-36.

**Figura 3-36.** Fotografías de Procesos de Formación de Suelos en las Celda C7 (izquierda) y C5 (derecha)



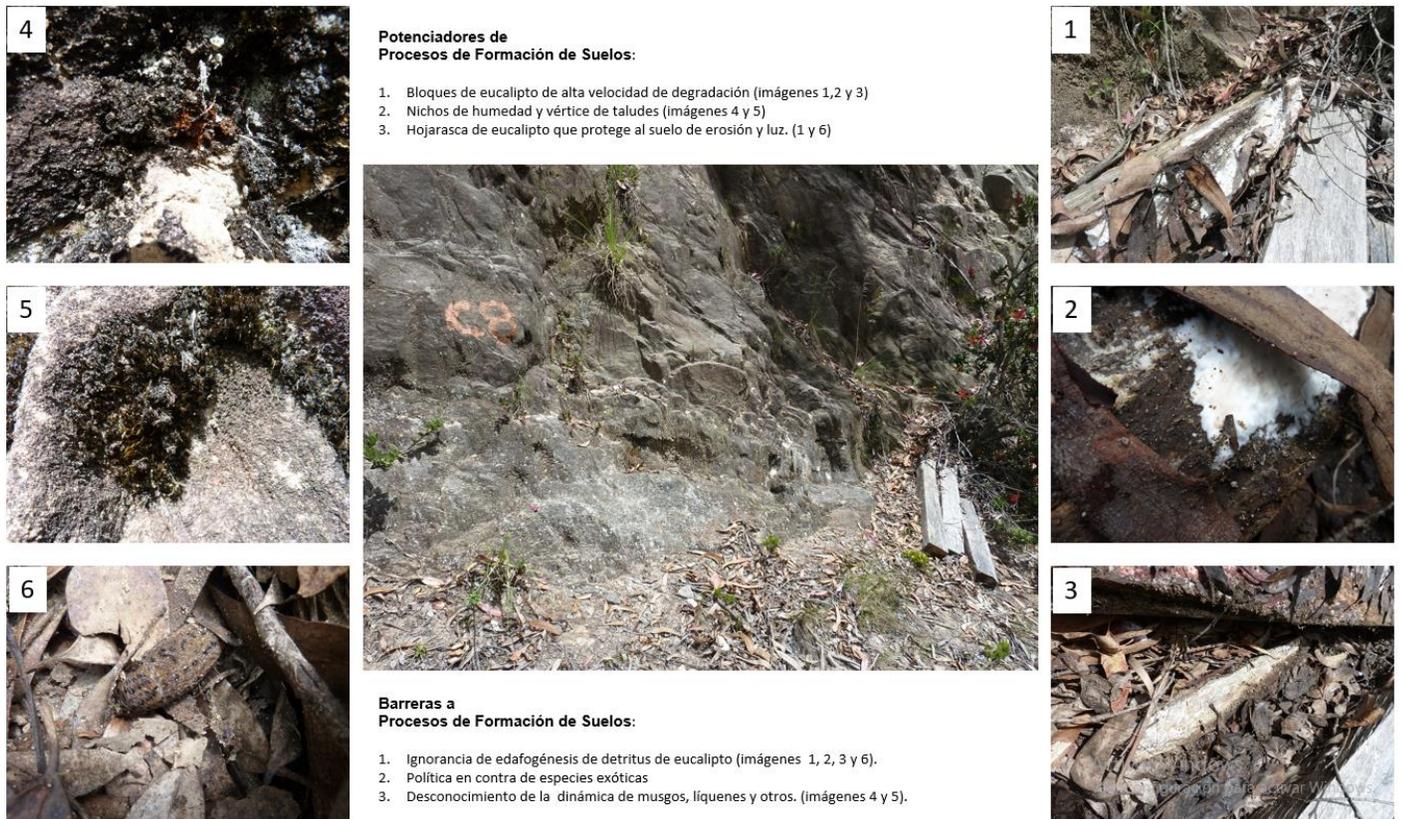
Fuente 52.El autor.

### 3.8 Restauración Pasiva en la Celda C8

Existen múltiples evidencias de procesos de Restauración Ecológica Pasiva que se encuentran en la cantera y que no han sido estudiados. Estos procesos muestran como la naturaleza utiliza los Procesos de Formación de Suelos (PFS), logra la estabilidad de taludes y se protege contra la erosión, luego de más de 20 años de inactividad minera en los taludes verticales no reconformados. Coadyuvan hongos lignocelulósicos primarios, líquenes y detritus de una especie leñosa que logra proliferar en estas difíciles condiciones, el Eucalipto. Así, los procesos edafogénicos que inician con la caída de material lignocelulósico de Eucalipto se dan por su descomposición a partir de las enzimas de hongos primarios (figura 3-37) con el único requisito de alta humedad relativa y temperatura de incubación de 17 grados centígrados, proporcionando el detritus inicial que está en un estado precario de descomposición. Luego aparecen los hongos secundarios cuyas poblaciones requieren, descomposición de lignina previa, presencia de hongos mesófilos y bacterias, un nivel más alto de nitrógeno y mayor humedad para conformar lo que se denomina un horizonte O. Luego la iluviación de las fracciones orgánicas de este material ingresan al material parental cuarcillolítico, generando porosidad e ingreso de agua donde los líquenes encuentran la posibilidad de establecimiento en una capa que

inicia con una película oscura que ha recubierto todos los taludes post-mineros de la región y que con el tiempo se acumula en una cubierta que no supera los 3 centímetros de grosor pero que confirma restauración ecológica.

**Figura 3-37.** Procesos no visibilizados de restauración pasiva en la Celda C8.



Fuente 53. El autor.

## 4. Consideraciones Ambientales

La manera como la restauración de suelos se ha venido ejecutando en el escenario posminero de los Cerros Nor-orientales de Bogotá y la posibilidad de hacer restauración frente a los intereses y valores prevalentes, justifica la ampliación del espectro para vincularle a la recuperación de este cuerpo biofísico complejo, las relaciones con la cultura que lo rodea, como una Plataforma Instrumental Tecnológica o de adaptación que avance en su conservación. *“Si el suelo es en verdad un cuerpo natural, una entidad real con sus propias leyes de organización, el progreso debe ser hecho en términos de buscar conocimiento global desde un punto de vista holístico”* (Catizzone, 1998).

Establece la Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo (GIAS) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018): *“A la luz del concepto de las funciones y servicios ecosistémicos de los suelos que adopta la presente política, la zonificación que se ha venido usando en el país obedece únicamente al servicio de oferta de suelos para la producción de biomasa, cultivos y su relación con la seguridad alimentaria y la producción de bioenergía, entre otros. Así, la metodología que viene siendo utilizada desconoce la evaluación de otros servicios como son la regulación del ciclo hidrológico, del clima y de la calidad del aire, y en general, la regulación de los ciclos biogeoquímicos, la conservación de la biodiversidad y la resiliencia al cambio climático, entre otros.”*

### 4.1 Objetivos ambientales de la Restauración de suelos

Partiendo del problema enunciado: *“Existe en Colombia y quizás a nivel global, una falta de claridad conceptual acerca del fenómeno suelo, la cual puede estar determinando el bajo nivel de efectividad de la recuperación de suelos post-disturbios, específicamente con las técnicas existentes para la rehabilitación de taludes y restauración ecológica de*

*canteras*”, se propuso utilizar la dimensión ambiental para dirigir la revisión de conceptos, conocimientos y prácticas del manejo de taludes disturbados y así poder contribuir con los indicadores de gestión sostenible de los suelos del mundo.

De esta manera, en la dimensión ambiental de escala regional y nivel de paisaje aplicada a los escenarios post-mineros de los Cerros Nor orientales de Bogotá, haber utilizado los procesos de formación de suelos (PFS) y la estabilidad estructural (EE) como guías teórico-prácticas de las restauraciones de suelos apunta a mejorar los métodos y quizás los objetivos de una prioridad del ordenamiento territorial y de la Estructura Ecológica. Sin embargo y aunque se están haciendo evidentes algunos elementos de reflexión, faltan mayores y mejores pruebas para que estas técnicas trasciendan y se conviertan en líneas transgresoras de un orden social que no está mostrando los resultados pretendidos en el tema.

Un primer acercamiento a la integralidad propia de la dimensión ambiental, la puede otorgar el inventario de las disciplinas que han venido haciendo parte de las restauraciones ecológicas en Soratama (figura 4-38) y que en algún sentido han entrado o pueden ayudar a enriquecer los planteamientos:

**Figura 4-38.** Inventario de disciplinas involucradas en la restauración ecológica en Soratama

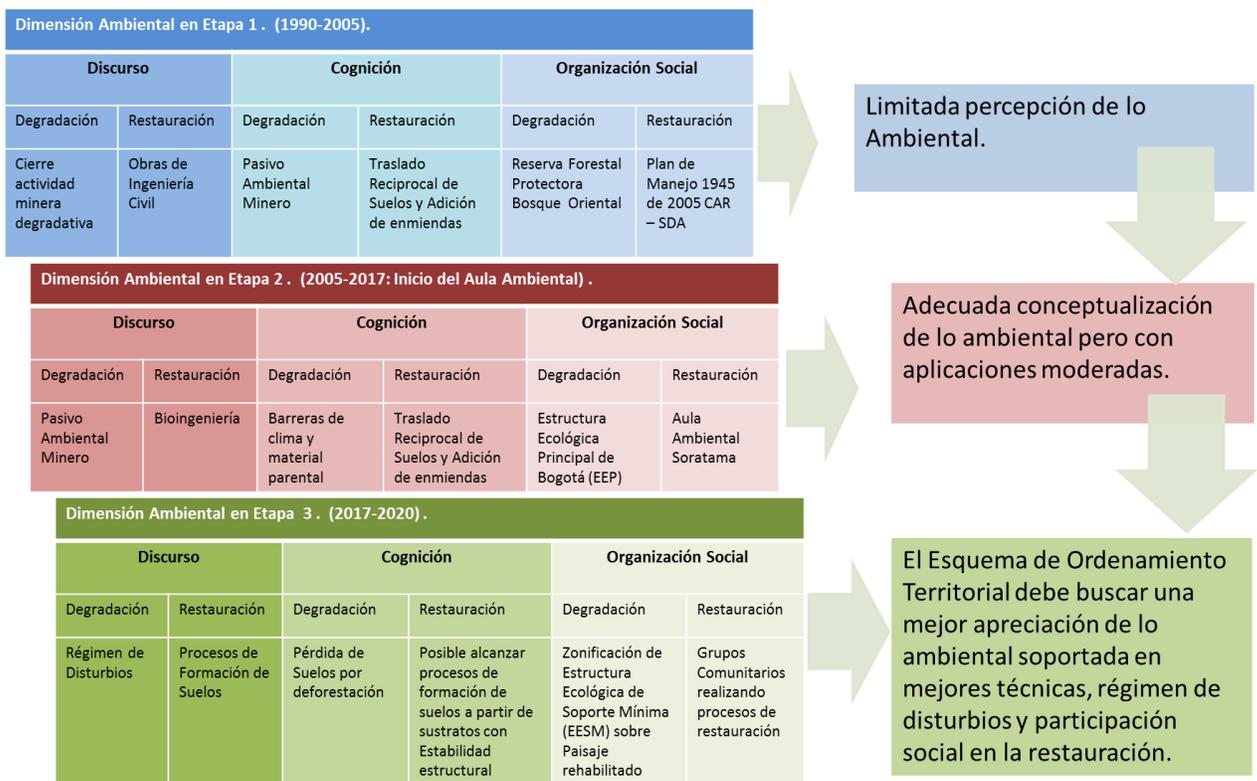


Fuente 54. El autor.

Un segundo nivel de interpretación se logra utilizando el análisis propuesto por Hortua (2016) respecto a la triada discurso, cognición y sociedad para analizar el flujo de lo Simbólico Ambiental (relaciones ecosistema cultura) donde se pueden identificar inicialmente tres etapas para la restauración en la Cantera Soratama que contribuyen con el objetivo de restauración y conservación de este corredor ecológico (figura 4-39).

Así, si la dimensión ambiental que inicia con el objetivo social de arrebatarle este ecosistema a la minería, mejora al reconocer una mejor Plataforma Instrumental Tecnológica de restauración que dé cuenta de los factores de degradación de suelos de siglos atrás y de la utilización de procesos de formación de suelos para la restauración, puede impactar los objetivos de las instituciones y la política pública.

**Figura 4-39.** Tres etapas del componente ambiental en la restauración de la Cantera Soratama



Fuente 55. El autor.

Si bien se comprende la necesidad de integrar a la sociedad para enriquecer su discurso y poder contrarrestar las barreras que están evitando que la Secretaria de Ambiente Distrital mejore en sus indicadores de logro, igualmente se debe reconocer la imposibilidad

financiera de ejecutar la restauración de esta vasta zona de la ciudad con recursos del municipio. Por tanto, se requieren mecanismos de participación tanto para ejecutarla como para que los intereses de los contratistas no prevalezcan, y de comprender que colectivamente se puede hallar una forma de rehabilitar estos pasivos mineros, investigando y extrapolando el conocimiento para esta zona degradada de la reserva forestal protectora.

#### **4.1.1 Pasivo Ambiental**

Un efecto generalizado de la explotación de canteras de areniscas que se ha adelantado en el nororiente de Bogotá durante la segunda mitad del siglo XX es la generación de taludes descubiertos sin fertilidad, con gradientes de pendientes muy pronunciados y alturas que hacen inviable su recuperación morfológica, los cuales generan entre otros, riesgo de movimientos en masa, gran dificultad para la recuperación de la habitabilidad humana y pérdida en la provisión de los servicios ecosistémicos (Guacaneme & Barrera, 2007; SDA, 2007; DPAE, 2007; Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, Banco Mundial, & Región de América Latina y El Caribe, 2012).

Contrario a lo que ocurre con las actividades sobre el suelo donde la responsabilidad civil puede estar compartida, la responsabilidad sobre este pasivo ambiental recae sobre el estado implícitamente como propietario y direccionador de las actividades sobre el subsuelo a partir de las cuales se produjeron las explotaciones mineras y que por diversas causas al abandonarlas dejan el terreno en esas condiciones (Carrizosa, 2008; Aramburo & Olaya, 2012). Explícitamente el estado se hace responsable por el artículo 181 del Decreto 2811 de 1974 o Código Nacional de los Recursos Naturales, por el Plan de Ordenamiento Territorial y así como por los compromisos globales adquiridos por Colombia. El citado Decreto en su artículo 8 numeral b, definió la degradación, la erosión y el revenimiento de suelos y tierras como uno de los factores que deteriora y amenaza el medio ambiente, igualmente en su artículo 180 insta a todos los habitantes de la república a colaborar con las autoridades en la conservación, el manejo y recuperación de los suelos por las actividades que afecten o puedan afectarlos. Los compromisos internacionales adquiridos por Colombia principalmente las metas de Aichi basadas en el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB, 2011) y que se traducen en la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (MADS, 2012) y en el Plan

Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Degradadas (MADS, 2014), señalan nuevamente la responsabilidad en cabeza del estado. Pero ahora establecen como mecanismo, encauzar técnicamente recursos e iniciativas para disminuir la vulnerabilidad del país generada por las dinámicas de ocupación del territorio, a través de una primera fase de investigación, desarrollo y consolidación de protocolos de proyectos de restauración.

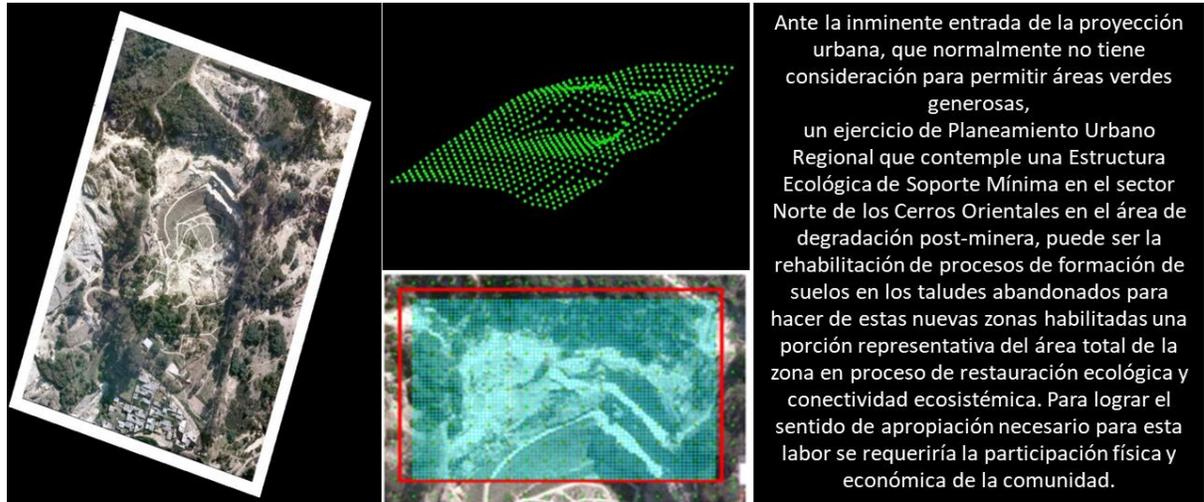
#### **4.1.1 Un ejercicio de Estructura Ecológica de Soporte Mínima (EESM) para el sector de Soratama en los Cerros Nor-orientales de Bogotá**

Se plantea desfavorable un Esquema de Ordenamiento Territorial que consulte el encuentro entre: La proyección de un área con conflictos por ser *Prioritaria para la Conservación* según el Mapa del Uso del suelo (figura 2-19), con unas coberturas predominantes de *Tierras desnudas y degradadas* según el Mapa de coberturas (figura 2-20) que podrían avanzar solo hacia *vegetación secundaria, pastizales, o a tejido urbano*, sobre la base de unos materiales parentales de areniscas que perdieron los *depósitos volcánicos superficiales* (figura 2-15), con unas condiciones climáticas adversas como se analizará en este capítulo y sin la cobertura vegetal de las especies forestales exóticas.

Esta situación se puede acrecentar por los intereses económicos de los propietarios de grandes terrenos que esperan recibir la autorización de la expansión suburbana o por la poca factibilidad económica de la restauración.

Aunque se proyecte sobre terrenos particulares, se podría proponer un ejercicio de comunidades utilizando sus desechos agroindustriales para restaurar taludes desnudos de la zona (figura 4-40) con el objetivo de integrarlos al corredor ecológico mientras se genera la posible expansión urbana

**Figura 4-40.** Ejercicio de Estructura Ecológica de Soporte Mínima para el sector Norte de los Cerros Orientales con presencia de taludes huérfanos.



Fuente 56. El autor.

Es de resaltar que la CAR y el DAMA elaboraron varios estudios biofísicos y socioeconómicos que determinaron el POMCO o Plan de Ordenamiento y Manejo de los Cerros Orientales, donde se establece que existen áreas que deben ser dedicadas exclusivamente a la preservación y restauración de los ecosistemas, por cuanto existen usos que no son compatibles con la conservación de los bosque allí existentes, pero que el ordenamiento debe hacerse “ con miras a realizar un manejo coherente con la situación real del territorio, es decir de acuerdo a sus potencialidades, alteraciones degradaciones y presiones de ocupación. “(Resolución 463 de 2005).

## **4.2 Restauración de suelos como Adaptación social al entorno post-minero en los Cerros Orientales**

Si bien se muestra como preponderante en el planeamiento territorial la visión institucional de proyección de la zona como posiblemente urbana, se plantea la restauración de suelos como una oportunidad de generar conectividad con los Cerros Orientales y no perder la posibilidad de articular ambos propósitos. De esta manera la ruta que se propone es la

búsqueda de sustratos con estructura y reconocimiento de los elementos y procesos del suelo, que tengan la capacidad ecológica de integrarse a la matriz geológica y por su adherencia en el mediano plazo, generen la opción de desarrollo para vegetales en la primera fase del proceso de recuperación de la degradación.

Se propone seguir el desarrollo de prácticas de “producir” sustratos vivos, que busquen estar integrados a factores de formación, en procesos elementales de suelo y que persigan el objetivo de integrarse efectivamente a la matriz geológica (Bockheim & Gennadiyev, 2009). Esto debe permitir educar según Gadamer, (1975) acerca de la necesidad de preservar el poco suelo inalterado existente y adicionalmente brindar la posibilidad a diferentes actores no solamente especialistas, para proponer restaurar simple pero eficazmente el que ha sido disturbado.

Se debe priorizar el componente microbiológico en el análisis complejo de este cuerpo biótico-abiótico, multivariable y dinámico. Optimizar la aplicación de los esfuerzos y recursos para la restauración implica asumir la investigación aplicada, para la comprensión de estas interacciones de la población microbiana de difícil identificación, domesticación y simulación (Sánchez, Archilla, & Botella, 2005; Harris, 2009). Esta interacción relacionada con la meteorización, es lo que se ha reconocido como el diálogo necesario entre la ecología de la restauración y la ecología de suelo (Callahan, Rhoades, & Heneghan, 2008). Así la pedología, podría apoyar a la botánica o a la ingeniería, disciplinas que de manera tácita han sido las encargadas de proponer y desarrollar los trabajos de revegetalización en los procesos de rehabilitación ecológica de ecosistemas disturbados por degradación de suelos en vías y canteras en Colombia

Producir sustratos útiles en este propósito solo requeriría acercarse a los mismos criterios que se han establecido para la elaboración de compost adecuados en Estados Unidos:

**Tabla 4-16.** Especificaciones CONEG de compost para manejo de taludes disturbados

Criterio	Manto de compost	Berma Filtrante
Tamaño de partícula	Malla 3/8 – ½ in y malla 2-3 in. (radio de 3:1).	Malla 3/8 – ½ in y malla 2-3 in. (radio de 1:1).
Contenido de Humedad	20-50%	20-50%
Sales solubles	3.0-6.0 mmhos/cm	4.0-6.0 mmhos/cm
Materia orgánica	40-70%	40-70%
pH	6.0-8.0	6.0-8.0

Contenido de nitrógeno	0.5-2.0%	0.5-2.0%
Inertes humanos	0.0-1.0%	0.0-1.0%
Tasa de aplicación	¾" a 3" de profundidad	¾" a 3" de profundidad
Madurez	Alta	Alta

Fuente 57. Traducido de American Association of State Highway and Transportation officials. CONEG Coalition of Northeastern Governors.

### 4.3 Barreras a la Restauración

La percepción del suelo como cuerpo susceptible de ser descrito y clasificado para que pueda ser guardado y transferido, en un traslado recíproco, adicionalmente a ciertas técnicas y términos de referencia de los procesos de revegetación aceptados por las obras civiles, los imaginarios sociales que idealizan los prados o pastizales como referencia ecológica, los intereses económicos de empresas en desarrollar procesos cuantificables y entregables en el plazo inmediato, entre otros, son barreras sociales al proceso de restauración de los taludes desnudos de canteras y vías en Colombia y que igualmente se padecen en España (Jorba & Vallejo, 2008). Por otra parte, existen algunas barreras ecológicas como la mezcla de fenómenos erosivos que producen amenaza por desprendimiento de rocas y el desconocimiento de ciertos procesos de parches-ecotonos de restauración pasiva ya existentes en microambientes de la cantera. Todos pueden estar soportando la idea generalizada de deterioro irreversible o la destrucción de las opciones resilientes y finalmente, la dificultad de financiación de los costos de los procesos de restauración. Se sugiere que estos factores pueden ser solucionados por otros denominados potenciadores que van a surgir en parte del conocimiento generado por la comprensión ecosistémica de lo que sucede hoy en día en la cantera, lo cual debe provenir de las investigaciones de ecología de la restauración de Soratama, complementada con el análisis medio ambiental que involucre a las comunidades vecinas.

Hasta el momento en los procesos de restauración en la cantera Soratama, se puede observar la incidencia de estas barreras en las prácticas de restauración del modelo de coberturas denominado **biomantos** y aplicados bajo el concepto de enmiendas orgánicas. Independientemente a los dos sustratos biotecnológicos usados en la prueba, la metodología de rehabilitar por diversos métodos los procesos de formación de suelos debe ser el camino. Como se ha comprendido, no se trata de buscar la adición de nuevos

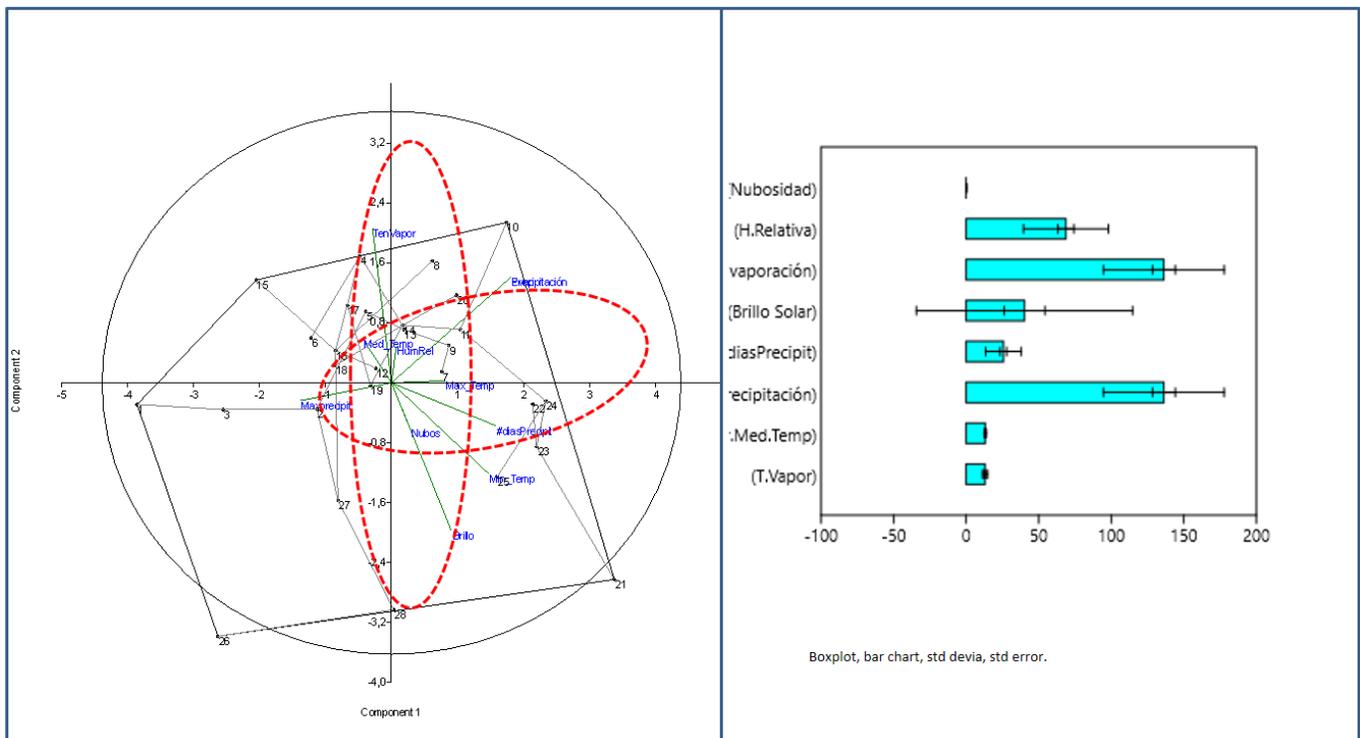
productos sino la implementación de visión de proceso. Observar si se produjo la aparente incidencia en el medio parental para iniciar un proceso de formación de suelos, que expresara estructura como propiedad básica para la edafogénesis, debe ser evaluado desde la perspectiva propuesta por la Secretaria de Ambiente de Bogotá para esta cantera en los objetivos de controlar la erosión, adquirir cobertura vegetal y educar a la población acerca de la posibilidad de restauración.

### **4.3.1 Cambio Climático**

El análisis con el software PAST versión 3.18 aplicado a las variables climáticas medidas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en la Estación Meteorológica No. 21206260 ubicada en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, con Latitud 447 y Longitud 7402 del periodo 1989 a 2016, contribuye a través del análisis gráfico (figura 4-42) con el objeto de establecimiento de una tipología climática de la región. Se pretenden validar dos hipótesis: La primera, resultado del Análisis de Componentes Principales (ACP), que hay un grupo de variables medidas a través de su media, la Tensión de Vapor, la Temperatura, la Humedad Relativa, el Brillo Solar y la Nubosidad, que según el software se agrupan por estar relacionadas en el componente 1, con una suma del 27,59% de correlación. Esta agrupación en el mismo componente muestra la relación positiva entre temperatura y tensión de vapor y opuesta con Humedad Relativa, Nubosidad y Brillo Solar. Esto quiere decir, que un posible incremento de temperatura observado a nivel global y que tiene ciertos elementos de confirmación en los datos confirmados por la mencionada estación, esto es una tasa de variación media de 0,002 °C en 27 años, puede llegar a tener repercusiones no previstas y de magnitud incremental desproporcionada sobre la humedad relativa, del brillo solar y la nubosidad. En otro componente distinto según el mismo ACP, se encontrarían agrupadas y relacionadas las medias de Evaporación, Precipitación y Días de Precipitación, variables no relacionadas directamente con la temperatura y la humedad relativa pero que por su cambio en magnitud pueden representar un incremento de probabilidad de impactos por riesgos asociados.

Como segunda hipótesis referida a la parte derecha de la ilustración 2-14, se tiene como comportamiento de variables climáticas tomadas por esta estación de 1989 al 2016, que existen variabilidades fuertes de la precipitación, evaporación y humedad relativa, muy fuertes en brillo solar y muy suaves en temperatura y tensión de vapor. Esto implica que cambios leves en las variables más sensibles como temperatura o tensión de vapor pueden desencadenar cambios fuertes y abruptos en las otras variables que ostentan alta sensibilidad.

**Figura 4-41.** Gráfico de Variables climáticas de estación UDCA 1989-2016 con software PAST v 3.18. (Izquierdo) Análisis de Componentes Principales de las variables, (Derecho) grafico de tendencia de las variables.



Fuente 58. El autor con base en el software PAST. Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica 4(1): 9pp.

Es importante reconocer que esta situación es acentuada por la intervención antrópica, que ha modificado irreversiblemente las condiciones fisiográficas para desencadenar parámetros micro climáticos diferentes. Así, la deforestación reduce la capacidad

ecosistémica de albergar humedad, contrarrestar la erosión eólica y de reducir la misma velocidad del viento, por lo cual, los suelos son lavados o erosionados.

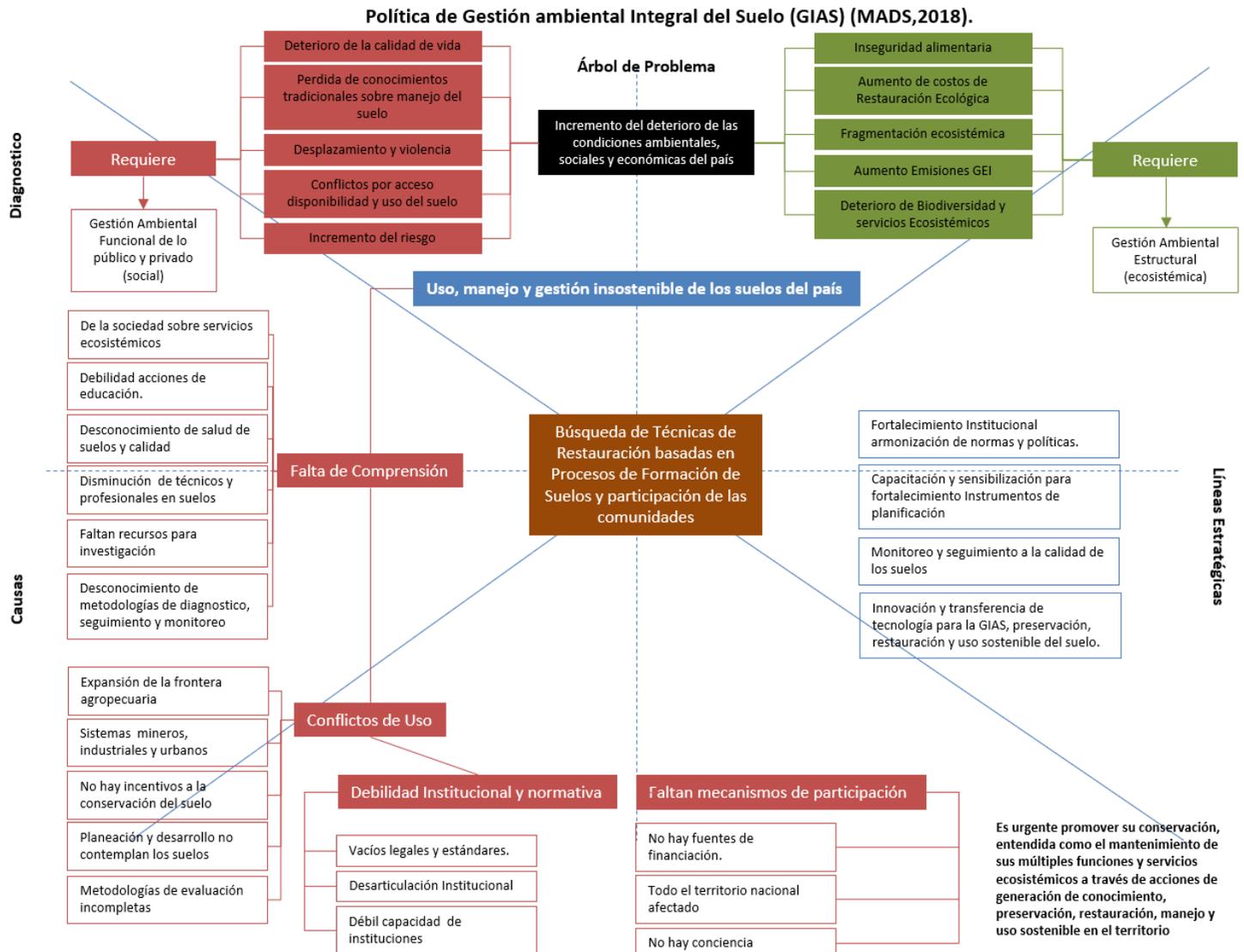
#### **4.3.1 Usos del suelo**

El uso del suelo oficial para la zona de la Cantera Soratama corresponde al de *Conflictos Zonas de Discrepancia* (IGAC-Conflictos), Zona Urbana (figuras 2-19 y 2-20) y Áreas prioritarias para la conservación (figura 2-19). El análisis de Erosión que es aplicado a todo el departamento, en esta zona particular no es tomado en cuenta, quizás porque no se ha realizado el levantamiento respectivo o se asume no necesario por la zonificación urbana. En la base de datos Z-AGRO del IGAC (2015) aparece sin embargo sin usos principales identificados.

### **4.4 Contribución a la política de Gestión Integral Ambiental de Suelos (GIAS) de Colombia y al Indicador Áreas en Proceso de Restauración Ecológica (APRE) del Distrito Capital**

El Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo más otras instituciones del SINA y la Universidad Nacional han formulado la Política para la Gestión Sostenible de los suelos, la cual fue aprobada por el Consejo Nacional Ambiental el 13 de Agosto de 2015 (MADS et al., 2015). En esta política se establecen los problemas, causas y líneas estratégicas del tema de los suelos para el país (figura 4-42), que en conjunto brindan argumentos a favor de la tecnología de sustratos implementadas en este trabajo:

**Figura 4-42.** Árbol de Problema, causas y líneas estratégicas de la Política de Gestión Ambiental Integral de Suelos del país (GIAS), relacionada con las técnicas de sustratos y PFS.



Fuente 59. Adaptado por el autor de la Política de Gestión Integral Ambiental de suelos.

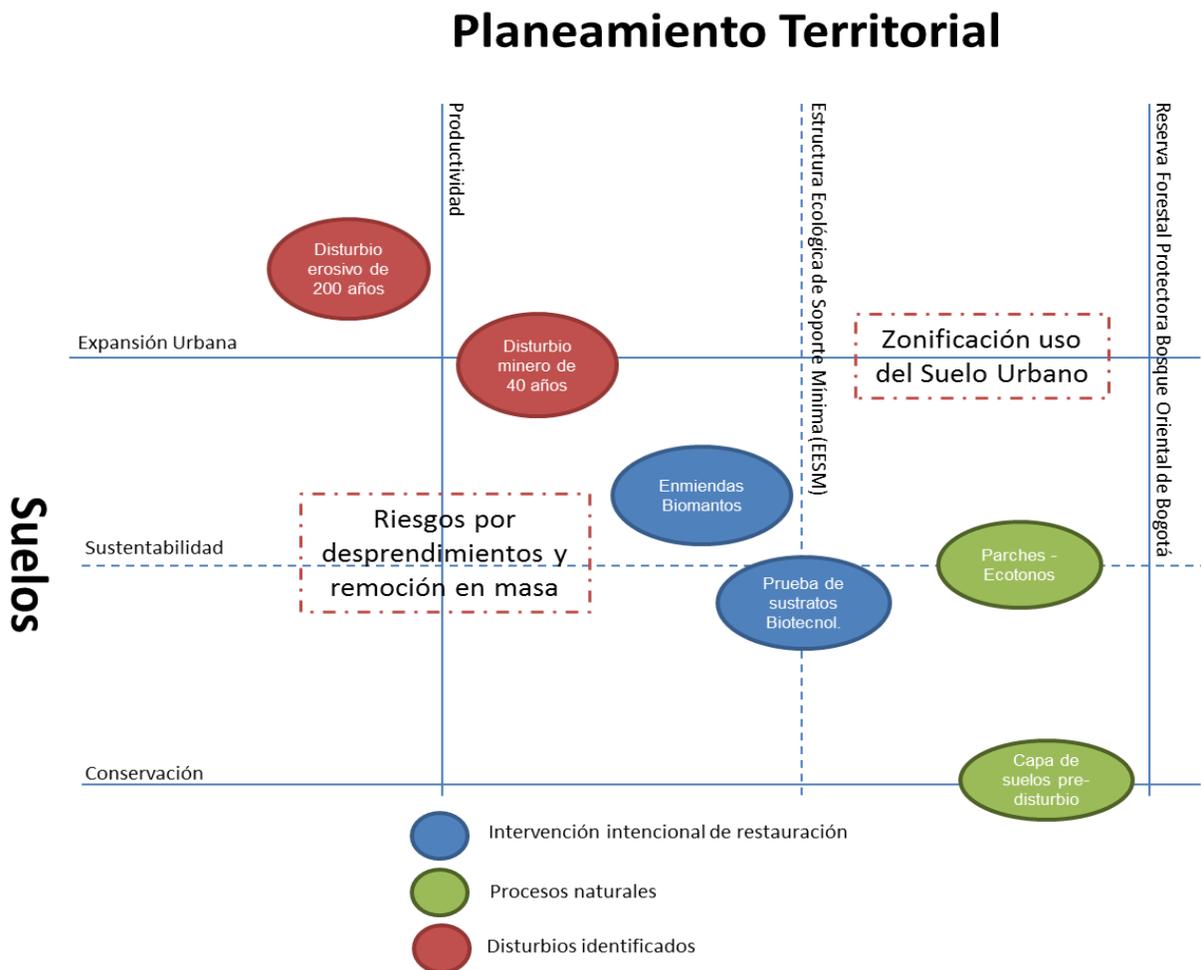
De igual manera el IDEAM viene liderando desde el año 2010 el programa de monitoreo y seguimiento a la degradación de suelos y tierras del país, encontrando dentro de sus definiciones, que este es considerado como un componente del ambiente renovable en el largo plazo, contrario a lo establecido por la FAO (2007) y la UE (2010) para quienes lo consideran un recurso no renovable. Esta divergencia aparentemente simple puede

incrementar las posibilidades de restauración de los suelos con sustratos y no solamente con trasplantes de suelos.

### 4.5 Análisis de la Gestión Ambiental en Soratama

Como se ha descrito, la Plataforma Instrumental Tecnológica de restauración puede ayudar al Planeamiento Territorial del escenario posminero de los Cerros Nor-orientales de Bogotá para alcanzar una Estructura Ecológica de Soporte Mínima:

**Figura 4-43.** Análisis de la Gestión Ambiental con el Uso de sustratos de origen biotecnológico en la cantera Soratama.



Fuente 60. El autor.

## 5. Conclusiones

- Iniciar la Ecología de la Restauración de un ecosistema que ha sido degradado con miras a rehabilitarlo o restaurarlo, requiere en todos los casos, (más si involucra bienes comunes y recursos públicos), la comprensión de los suelos para poder definir a través de investigaciones, el estado ecológico, los procesos edafogenéticos, las trayectorias de referencia posibles, usos compatibles y los resultados de las prácticas de restauración ecológica si las ha habido.
- A una escala de Bogotá-región, en el periodo actual y pensando trabajar el nivel ecológico paisaje es necesario clarificar los objetivos y herramientas de la restauración, para llegar a incidir positivamente en los casos particulares de degradación de suelos donde los valores culturales e intereses sociales se muestran como críticos en los procesos. Así, es necesario ampliar el espectro de la simple técnica a lo que se denomina Plataforma Instrumental Tecnológica o de Adaptación, para integrarle a los procedimientos la historia de adaptación socio-ecosistémica, las normas, la influencia de otros ambientes, los discursos, conocimientos y prácticas. Que se continúe el reduccionismo de utilizar sólo la técnica, genera problemas desde la planeación hasta la ejecución, por cuanto el modelo restauración es desagregado por la percepción y práctica del restaurador, así como en la definición de la adecuada Referencia Ecológica, que desconoce el Régimen de Disturbios y la posibilidad de participación de la ciudadanía en las actuales condiciones culturales.
- Técnicamente se pudo apreciar en la prueba, que la simple adición de sustratos orgánicos o de tierra negra no es la solución, la adherencia de tales sustratos brinda un elemento crítico del proceso y este se puede lograr por una alta presencia microbiana y un sustrato con unas características óptimas de retención facultativa de humedad, con la electroquímica apta para la adherencia a la matriz cuarcilolítica y con una liberación progresiva de contenidos nutricionales. De igual manera la percepción del tema suelos es necesaria para que la comunidad, los evaluadores y nuevos ejecutores comprendan y puedan seguir los procesos que son de mediano y largo plazo.

- La mezcla indisoluble entre conceptualización y técnicas en un proceso de aprendizaje continuo sobre un medio ambiente específico debe ser la ruta a seguir y por esto se justifica la comprensión ambiental del tema. No obstante, para aprender de estos mecanismos, hay que aceptar investigar bajo el método científico variables aisladas de éxito, soporte de la ecología de la restauración, aun pretendiendo articular saberes de las comunidades en los procesos de restauración. Se reducirían las posibilidades de error al reducir las variables y ampliando la comprensión de los patrones y escalas, para saber si el manejo adecuado de alguna sobre un medio altamente disturbado fue la activadora de las resiliencias biológicas, en qué medida y sobre que escala de tiempo.
- Los resultados de la prueba con los dos sustratos de origen biotecnológico determinaron que la conjugación de fertilidad y adherencia de los sustratos aplicados fue efectiva para mantenerse, propiciar la germinación espontánea de vegetales y rehabilitar los procesos de formación de suelos.

Algunas referencias al interior del trabajo suscitan otras discusiones que deberán ser probadas posteriormente:

- Se requieren nuevas metodologías ambientales que contemplen la restauración de suelos.
- Según el Régimen de Disturbios la deforestación fue la causa principal de degradación de suelos en los Cerros Nor-orientales de Bogotá, sin embargo, las propuestas de restauración deben analizar los objetivos a escala regional y de paisaje para entender que no se pueden plantear como soluciones la reforestación con especies nativas en las condiciones fisiográficas actuales a menos que se restaure el suelo.
- No existen evaluaciones integrales de los procesos de restauración en Colombia, tomando el caso de las entidades públicas, los mecanismos de verificación y control obedecen a indicadores de gestión de los recursos o de cumplimiento de los contratos de obra.
- La aplicación de técnicas de bioingeniería tomadas por las propuestas de restauración está ignorando los efectos edafogenéticos de procesos de reforestación previos como los adelantados hace más de 50 años con las siembras

de especies exóticas (pino y eucalipto) en los cerros orientales y en la Sabana de Bogotá.

- Se debe establecer con mayor precisión tanto la línea base del ecosistema predisturbio, así como las metas que se proyectan, por cuanto existen distorsiones respecto a los objetivos de los procesos de restauración.
- El análisis de efectividad de las restauraciones puede mostrar la importancia de tener en cuenta los procesos de formación de suelos, pero cuando se busca la forma técnica se desvía como sucede con el concepto de enmiendas.
- Si se tienen en cuenta las dimensiones globales del proceso de desertificación, puede estarse ignorando la validez del rol que puedan llegar a tomar los usuarios de los suelos, que somos todos, aún sin estar formalmente acreditados para recuperar el suelo.
- En las últimas dos décadas, la restauración en Colombia se ha integrado a la visión y estrategias del mundo en el objetivo de adoptar mecanismos concretos para sostener la Diversidad Biológica, como bien público y eje de los Servicios Ecosistémicos (CBD, 1992; CDB & PNUMA, 2010; MADS et al., 2012). Si bien esto se plasma en las metas de Aichi del Convenio para la diversidad biológica 2011-2020 (CDB, 2011) que en su Objetivo estratégico D plantea a nivel global la restauración del 15% de las áreas degradadas de suelos para incrementar la resiliencia de los ecosistemas y avanzar en la lucha contra la desertificación, a nivel nacional no se sabe cómo se plantea realizar de manera concreta la restauración de un millón de hectáreas degradadas (MADS, 2015) según el Plan Nacional de restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas degradadas.
- El disturbio preminero fue mucho más duradero y decisivo en modificar el ecosistema de Soratama, por lo cual se deben establecer claramente las causas y hacia cual trayectoria de referencia se debe apuntar, si al bosque sucesional sub-xerofítico actual o a recuperar condiciones del Bosque Alto Andino.

## BIBLIOGRAFIA

- Angel, A. (1995). *La Fragilidad Ambiental de la cultura*. (Sección Publicaciones Universidad Nacional de Colombia & Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Estudios Ambientales, Eds.).
- Angel, A. (1996). *La Aventura de los Símbolos: Una visión ambiental de la historia del pensamiento*. (Ecofondo, Ed.) (Primera). Bogota: Ecofondo.
- Aramburo, M. A., & Olaya, Y. (2012). Problemática De Los Pasivos Ambientales Mineros En Colombia. *Gestión Y Ambiente*, 15(3), 125–133. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36286/43158>
- Armenteras, D., & Vargas, O. (2015). Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. *Acta Biológica Colombiana*, 21(1), 229–239. <https://doi.org/10.15446/abc.v21n1sup.50848>
- Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, Banco Mundial, & Región de América Latina y El Caribe. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas*. (Equilatero, Ed.) (Primera). Bogota: Banco Mundial.
- Barrera, J. I. Formulación de Tratamientos de Restauración Ecológica en la Cantera Soratama de la Localidad de Usaquén, Bogota D.C., Pub. L. No. Contrato 049/2002, 213 (2002). DAMA.
- Barrera, J. I., Contreras, S., Garzón, N., Moreno, A., & Montoya, S. (2010). *Manual para la Restauración Ecológica de los Ecosistemas disturbados del Distrito Capital*. (Pontificia Universidad Javeriana - Escuela de Restauración Ecológica & Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Eds.). Bogotá: Subdirección Imprenta Distrital - DDDI.
- Barrera, J. I., & Valdés-López, C. (2007). Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Universitas Scientiarum*, 12, 11–24. Retrieved from <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49912203>
- Bermoudes, O., & Velandia, F. (2002). *Modelo Hidrogeologico conceptual de la Sabana de Bogota, INGEOMINAS-OIEA COL 8019*. (Instituto colombiano de Geología y Minería, Ed.) (Primera). Bogota: OIEA-Ingeominas.
- Bockheim, J. G., & Gennadiyev, A. N. (2000). The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the World Soil Reference Base. *Geoderma*. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(99\)00083-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(99)00083-X)
- Bockheim, J. G., & Gennadiyev, A. N. (2009). The value of controlled experiments in

- studying soil-forming processes: A review. *Geoderma*.
- Calderón-Saénz, F. (2017). La estabilidad estructural del suelo.
- California Department of Transportation. (2003). *Caltrans Erosion Control New Technology Report* (No. CTSW-RT-03-049). Sacramento.
- Callaham, M. A., Rhoades, C. C., & Heneghan, L. (2008). A striking profile: Soil ecological knowledge in restoration management and science. *Restoration Ecology*, 16(4), 604–607.
- Cámara Colombiana de la Infraestructura. (2008, July). Emergencias viales en el país un viacrucis que se debe superar. *Infraestructura Y Desarrollo*, 9–16.
- Carrizosa, J. (2008). *Prologo Instituciones y Ambiente en: Gobernabilidad, Instituciones y Medio Ambiente en Colombia*. Bogota.
- Catizzone, M. (1998). For an agreement on the soil, Volume with the Introductory Conferences and Debate. In *16th World Congress of Soil Science* (p. 118). Montpellier, France.
- CDB, & PNUMA. Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 y las Metas del AICHI, Decenio de las Naciones Unidas sobre la Biodiversidad § (2010). Secretaria del Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- Clewell, A., Aronson, J., & Winterhalder, K. (2004). The SER. *Ecological Restoration*, 2(2), 206–207. <https://doi.org/S34>
- Clewell, A., Society for Ecological Restoration International, & Aronson, J. (2013). *Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession* (Second). Washington: Island Press.
- Comín, F. (2010). Ecological Restoration a Global Challenge. *CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS*.
- Demars, K., & Long, R. (1998). *Field Evaluation for Source-separated compost and CONEG model procurement specifications for Connecticut DOT projects*. Connecticut.
- Demars, K., Long, R., & Ives, J. (2000). *Use of wood waste materials for erosión control. Technical report prepared for the New England Transportation Consortium*. Connecticut.
- Diaz Triana, J. (2007). El suelo como Barrera para la Restauración Ecológica. In E. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Grupo de Restauración Ecológica, & Convenio Interinstitucional Acueducto

- de Bogotá – Jardín Botánico – Secretaría Distrital de Ambiente. (Ed.), *Guía Metodológica para la RESTAURACION ECOLOGICA del bosque Altoandino* (Primera, pp. 74–76). Bogotá.
- Dobrovolskii, G. V., Nikitin, E. D., & Karpashevskii, L. O. (2001). New approaches to the concept of soil place in the biosphere. *Eurasian Soil Sci*, 34, S1–S5.
- DPAE. Remoción en Masa: Medidas de Reducción del Riesgo, Pub. L. No. Resolución 227 de 2006, 5 (2007).
- Gadamer, G. H. (1975). *Verdad y Metodo. Sígueme*. Salamanca.
- Guacaneme, S., & Barrera, J. I. (2007). Efecto de la Aplicación de Biosolidos, como enmienda orgánica, en la recuperación de un suelo disturbadoS por la actividad extractiva en la Cantera Soratama, Localidad de Usaquen, Bogotá. *Universitas Scientiarium-Revista de La Facultad de Ciencias Pontificia Universidad Javeriana*, 12, 85–98.
- Gualdrón-Acosta, R. (2011). *Cerrejón: Hacia la rehabilitación de las tierras intervenidas por la minería a cielo abierto*. (Panamericana Formas e Impresos, Ed.) (Primera). Bogotá: Carbones del Cerrejón.
- Harris, J. (2009). Soil microbial communities and restoration ecology: facilitators or followers? *Science (New York, N.Y.)*, 325(5940), 573–574.
- Hortua, S. E. (2016). *Representaciones discursivas sobre la palma de aceite en Colombia 2002-2012: Análisis Crítico del Discurso (ACD) desde una perspectiva ambiental*. (U. N. de C. Centro Editorial Facultad de Ciencias Economicas, Ed.) (Primera). Bogota: Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) IDEAS 28.
- Hugget, R. J. (1997). *Environmental Change: The Evolving Ecosphere*. Routledge, London.
- IDEAM. (2017). *Sistema de Informacion Estacion 21206260 C.Univ.Agrip. UDCA. Latitud 447 N Longitud 7402 W, Altura 2560 msnm*. Bogota.
- IGAC. (2007). *Atlas de Cundinamarca*. (Imprenta Nacional de Colombia, Ed.) (Primera). Bogota: Subdirección de Geografía y Cartografía.
- IGAC. (2014). *Manejo de Suelos Colombiano*. (Subdirección de Agrología, Ed.) (Primera). Bogotá: IGAC.
- IGAC. (2015a). *Suelos y Tierras de Colombia*. (Imprenta Nacional de Colombia, Ed.) (Primera). Bogota: Subdirección de Agrología.
- IGAC. (2015b). *Suelos y Tierras de Colombia* (Primera). Bogota: IGAC.
- Instituto Alexander von Humboldt. (2015). *Monitoreo a procesos de restauración*

- ecológica aplicado a ecosistemas terrestres.* (Mauricio Aguilar-Garavito y Wilson Ramírez, Ed.) (Primera). Bogota: Editorial Alexander von Humboldt.
- J., L., & A., A. (2012). The role of organic amendments in soil reclamation: A review. *Canadian Journal of Soil Science*. <https://doi.org/10.4141/CJSS2010-064>
- J.G. Bockheim, A.N. Gennadiyev, R.D. Hammer, J. P. T. (2004). Historical Development of key concepts in pedology. *GEODERMA SCIENCE DIRECT*.
- Jardín Botánico de Bogotá JCM. (2005). *Guía Técnica para la Restauración Ecológica de áreas afectadas por incendios forestales.* (Subdirección Científica Grupo Ecología de la Restauración, Ed.) (1st ed.). Bogota.
- Jorba, M., & Vallejo, R. (2008). La restauración ecológica de canteras : un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riegos. *Ecosistemas*, 17(3), 119–132.
- Jordan, W., Gilpin, M., & Aber, J. (1987). *Restoration Ecology : A synthetic approach to ecological research.* (First). Cambridge: Cambridge University Press.
- Keane, R. E., McKenzie, D., Falk, D. A., Smithwick, E. A. H., Miller, C., & Kellogg, L.-K. B. (2015). Representing climate, disturbance, and vegetation interactions in landscape models. *Ecological Modelling*, 309–310(Supplement C), 33–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.04.009>
- Krull, E., Baldock, J., Skjemstad, J., CRC for Green house Accounting, & CSIRO Land and Water. (2001). Soil Texture Effects on Decomposition and Soil Carbon Storage. *NEE Workshop Proceedings*, 18–21.
- Lal, R., Blum, W., Valentine, C., & Stewart, B. A. (1997). *Methods for assesment of soil degradation.* (Library of Congress United States., Ed.) (I). Boca Ratón: CRC press LLC.
- León, T. (2002). Desde La Arcilla y el sudor hasta la Vida misma. *Tierra Agroecología-Medio Ambiente-Desarrollo Rural*. Retrieved from ISSN 1692-0376
- León, T. (2007). *Medio Ambiente, Tecnología y Modelos de Agricultura en Colombia. Hombre y Arcilla.* (ECO, Ed.) (Ideas 8). Bogotá: IDEA, Universidad Nacional de Colombia.
- MADS. (2015). *Plan Nacional de Restauración. Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas.* Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental (Primera). Bogota: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental.

- MADS. (2016). *Política para la gestión sostenible del suelo. D.C.: Colombia.* (MADS, Ed.) (I). Bogotá.: Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental – Centro de documentación.
- MADS, IDEAM, & UDCA. (2015). *Estudio Nacional de la Degradación de suelos por Erosión en Colombia* (1st ed.). Bogotá: IDEAM.
- Márquez, G., & Perez, M. E. (2001). De la abundancia a la escasez: La transformación de Ecosistemas en Colombia. In Telar de Agua (Ed.), *Naturaleza en disputa: Ensayos de Historia Ambiental de Colombia 1850-1995.* (1st ed., pp. 323–480). Bogota: Unal Facultad de Derecho Ciencia Políticas y sociales, Departamento de Biología, IDEA, IMANI, ICAH, COLCIENCIAS.
- Marquez C., G., & Valenzuela, E. (2008). ESTRUCTURA ECOLÓGICA Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL AMBIENTAL: APROXIMACIÓN CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA A PARTIR DEL PROCESO DE ORDENACIÓN DE CUENCAS. *Gestión Y Ambiente.* <https://doi.org/ISSN 0124-177X>
- Marshall, J., Donohoe, A., Ferreira, D., & McGee, D. (2014). The ocean's role in setting the mean position of the Inter-Tropical Convergence Zone. *Climate Dynamics.* *Climate Dinamics*, 42(7–8), 12.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Transporte, A. S. e I. C. (2007). *GUIA DE MANEJO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA—SUBSECTOR VIAL.*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo, Pub. L. No. 1, 138 (2018). nteradministrativo Número 25 de 2013 suscrito entre el MADS y la Universidad Nacional.
- Montenegro, A., & Vargas, O. (2008). Caracterización de bordes de bosque altoandino e implicaciones para la restauración ecológica en la Reserva Forestal de Cogua (Colombia). *Biología Tropical*, 56(3), 1543–1556.
- Montenegro, H. (1991). Interpretación de las propiedades Físicas del Suelo (Textura, Estructura, Densidad, Aireación, etc.). In *Seminario-Taller “Fundamentos para la interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para riego”.* (p. 50). Bogota D.E.: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo,.
- Murcia, C., & Guariguata, M. (2014). *La Restauración Ecológica en Colombia: Estado actual, tendencias, necesidades y oportunidades.* (Centro para la Investigación Forestal (CIFOR), Ed.). Bogotá.
- Nicolau Ibarra, J. M., Martin Duque, J. F., Perez Domingo, S., Comin, F., Martin Moreno,

- C., & Vela, A. L. (2009). La reconstrucción del relieve en la restauración de la minería a cielo abierto. In Jose Ignacio Barrera Cataño, Sandra Contreras Rodriguez, Adriana Ochoa Carreño, Sonia Perilla Castro, Natasha Garzón Yepes, & Diana Rondon Camacho (Eds.), *Restauración Ecológica de áreas afectadas por minería a cielo abierto en Colombia* (1st ed., p. 297). Bogota.
- NOAA. (2017). <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.coads.1deg.html>.
- Palacio, G. (2001). Ensayos de historia ambiental de Colombia 1850-1995. In Unibiblos (Ed.), *Naturaleza en disputa* (1st ed., p. 29). Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Pérez-Arias, J. (1992). *Estudio de la Estabilidad Estructural del Suelo en relación con el complejo de cambio (comportamiento de algunos suelos característicos españoles)*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Preciado, J. (2000). La estructura ecológica principal de la Sabana de Bogotá. In *Disertación en los martes del planetario de la Sociedad Geográfica de Colombia* (p. 37). Bogota: CAR.
- Preciado, J. (2015). *Desarrollo Regional y Medio Ambiente: Desafíos para la construcción de la región metropolitana de Bogotá*. (Colección Tierra y Vida, Ed.) (1st ed.). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Preciado, J., Leal, O., & Almanza, C. (2005). *Historia Ambiental de Bogotá, Siglo XX: Elementos históricos para la formulación del medio ambiente urbano* (1st ed.). Bogota: UDFJC.
- Regents of the University of California. (2007). *Compost Use for Landscape and Environmental Enhancement* (No. IWM 04073). Sacramento.
- Rider, D. ., Curtis, M. J., & Claassen, V. P. (2010). *Compost Use for Erosión Control and Improved Stormwater Quality : Literature review*. Davis, CA.
- Risse, M., & Faucette, B. (2015). Compost Utilization for Erosion Control (B1200).
- Rodriguez, N. (2010). *Estado Actual de la Vegetacion y del suelo en parcelas enmendadas con biosolidos seis anos despues de su implementacion en la Cantera Soratama, Localidad de Usaquen, Bogota D.C*. Pontificia Universidad Javeriana de Bogota.
- Runge, E. C. A. (1973). Soil development sequences and energy models. *Soil Sci*, 115, 183–193.
- Sánchez, M. G., Archilla, A. I. L., & Botella, J. A. (2005). Ecología microbiana.

- Ecosistemas*, 14, 1–2.
- SDA. (2007). *Aula Ambiental Soratama en la Tierra del Sol*. (MJ editores, Ed.) (Primera). Bogota: Alcaldía Mayor de Bogota.
- Secretaría Distrital de Planeación - Alcaldía Mayor de Bogota. (2012). *Documento Técnico de Soporte - Líneas Estratégicas Ambientales para la Región Capital*. Bogota.
- SER, Clewell, Aronson, J., & Winterhalder, K. (2004). The SER International Primer on Ecological Restoration. In Society for Ecological Restoration International (Ed.), *SER (Society for Ecological Restoration International)* (pp. 206–207). Tucson.
- Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2010). Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation : A Review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*. [https://doi.org/Available at: http://scholarworks.umass.edu/intljssw/vol3/iss2/13](https://doi.org/Available%20at%3Ahttp%3A%2F%2Fscholarworks.umass.edu%2Fintljssw%2Fvol3%2Fiss2%2F13)
- Singh, H. (2006). *Mycoremediation: Fungal Bioremediation*. *Mycoremediation: Fungal Bioremediation*. <https://doi.org/10.1002/0470050594>
- Skousen, J., Zipper, C., Burger, J., Angel, P., & Barton, C. (2011). SELECTING TOPSOIL SUBSTITUTES FOR FORESTRY MINE SOILS. *Journal American Society of Mining and Reclamation*. <https://doi.org/10.21000/JASMR11010591>
- Stamets, P. (2005). *Mycelium Running: How Mushrooms Can Help Save the World*. (H. K. Colorcraft Ltd, Ed.) (First). Berkeley: Ten Speed Press.
- Targulian, V. O., & Sokolova, T. A. (1996). Soil as a biotic/abiotic natural system: a reactor, memory and regulator of biospheric interactions. *Eurasian Soil Sci*, 29, 30–41.
- Van der Hammen. (1995). Plioceno y Pleistoceno del Altiplano de Bogotá y alrededores. *Análisis Geográfico*, 24(IGAC), 15.
- Van der Hammen, T., & Andrade, G. (2003). *Estructura ecológica principal de Colombia. Informe final. Instituto de Hidrología, Meteorología y ....*
- Vander Hammen, T., & Andrade, G. (2003). *Estructura Ecológica Principal de Colombia*. (IDEAM, Ed.) (1st ed.). Bogotá.
- Vargas, O. (2007). *Guía metodológica para la RESTAURACIÓN ECOLÓGICA del bosque altoandino*. (Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Grupo de Restauración Ecológica, & Convenio Interinstitucional Acueducto de Bogotá – Jardín Botánico – Secretaría Distrital de Ambiente., Eds.) (Primera). Bogota.
- Wallace, A., & Wallace, G. A. (1994). Water-Soluble Polymers help protect the

- Environment and correct Soil Problems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25, 105–108.
- Ward, G., Hadar, Y., & Dosoretz, C. (2004). The Biodegradation of Lignocellulose by White Rot Fungi. *Fungal Biotechnology in Agricultural, Food and Environmental Applications*, 21, 393–407.
- Whitbeck, K. L., Oetter, D. R., Perry, D. A., & Fyles, J. W. (2016). Interactions between macroclimate, microclimate, and anthropogenic disturbance affect the distribution of aspen near its northern edge in Quebec: Implications for climate change related range expansions. *Forest Ecology and Management*, 368(Supplement C), 194–206. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.013>
- Wortley, L., Hero, J. M., & Howes, M. (2013). Evaluating ecological restoration success: A review of the literature. *Restoration Ecology*, 21(5), 537–543.
- Zeh, H. (2007). *Ingenieria Biologica - Manual Tecnico*. (Federacion Europea de Ingenieria del Paisaje y Federacion Europea de Bioingenieria del Suelo, Ed.) (Primera). Zurich.

## A. Anexo: Definiciones de suelo, énfasis y autores

Concepto	Énfasis	Autor
El suelo ha sido visto como manto de roca suelta y meteorizada	Pedología	Shaler, 1891; Hilgard, 1906; Coffey, 1912; Ramann, 1928; Targulian, 2001
Piel excitable de la parte subaerea de la corteza terrestre, que evoluciona hacia arriba o hacia abajo dependiendo de la erosión o la sedimentación	Pedología	Nikiforoff, 1959
Medio para el crecimiento de las plantas, denominado concepto edafológico del suelo. Esta visión todavía es preponderante, por cuanto la fertilidad es el aspecto primario en que se concentra el análisis como atributo físico y químico para el crecimiento de las plantas, sin considerar mucho las condiciones externas al medio de la raíz.	Edafología	Simonson, 1968
Polipedón como primera unidad de paisaje sujeta a clasificación que expresa los enlaces entre geología, pedología y geomorfología como ciencias del suelo, haciendo énfasis en el tiempo como tercer factor en importancia para la formación de suelo.	Pedología	Cline, 1961
Clasificación francesa. Define la pedología como la ciencia de la evolución del suelo, que debe tener una estructura científica de grandes grupos del mundo, para realizar las clasificaciones amplias y coherentes de un cuerpo que presenta como particularidad su no discontinuidad.	Pedología	Duchaufour, 1963
Modelo de energía basado en los vectores de energía operativos en los suelos.	Pedología	Runge, 1973
Suelos como sistemas, que espontáneamente se mueven a través de un estado de equilibrio y que en el proceso de meteorización preferentemente mueven los componentes de las capas superiores y mantiene una inmovilidad relativa de los horizontes bajos.	Sistema complejo	Chesworth, 1973
Sistema suelo paisaje que transforma y transmite poder a las plantas, cuyos insumos son energía y materiales, las salidas incluyen sedimentos clásticos, coloides y material soluble, que conforman un cuerpo más grande que un pedón (unidad más pequeña de suelo aproximadamente poligonal de 1 a 10 m <sup>2</sup> ) o polipedón debido al factor clave de migración-percolación ladera abajo de material disuelto y suspendido.	Sistema complejo	Hugget, 1975
Según la hipótesis de GAIA una nueva visión de la atmosfera como parte constitutiva de la biosfera y no solo como ambiente necesario para la vida, acercando los ciclos biológicos y el equilibrio inorgánico, clarifican las dinámicas del suelo.	Sistema complejo	Lovelock&Margulis, 1974
Dentro de la perspectiva de Dokushaev se define el suelo como un Exón natural que tiene propiedades desarrolladas como resultado de la influencia de organismos autótrofos y heterótrofos sobre los constituyentes del suelo y resultado de transformaciones exogénicas.	Pedología	Dmitriev, 1996

Se considera el suelo como un reactor, memoria y regulador de la interacción biótico-abiótico de la biosfera.	Pedología	Targulian&Sokolova, 1996
Servicio ecosistémico. Suelo como componente de la biosfera con funciones ecológicas responsables de biodiversidad y productividad entre otros.	Edafología	Vernadskii, 1926; Dobrovolskii et al., 2001
Membrana Planetaria. Como sistema bio-abiótico polifuncional, enlace entre los ciclos de materia biológicos y geológicos, con numerosas funciones biosféricas, enfatizando que funciona como un hábitat, acumulador y fuente de sustancias para todos los organismos terrestres.	Sistema complejo	Nikitin, 2001
Ciencia Sistema de la Tierra. (EarthSystemScience -ESS) Muestran desde las investigaciones recientes una visión de la tierra como sistema interactivo de escala global con una red compleja de procesos químicos, físicos, biológicos y dinámicos que unen la tierra la atmosfera, el océano y la tierra, así como los organismos marinos y terrestres. Estos procesos ayudan a determinar el clima regional y global, así como el control de los ciclos biogeoquímicos e hidrológicos esenciales para la vida.	Sistema complejo	Lawton, 2001
Tierra Sostenible. Propone basado en la "calidad del suelo" y el "manejo sostenible de la tierra" que se puede derivar un procedimiento para definir indicadores de estos dos conceptos que reflejen el impacto del clima en el comportamiento del suelo.	Meteorología	Bouma, 2002
El suelo es un recurso natural vivo que cumple unas funciones dentro del ecosistema como servir de medio de soporte donde se reciclan los nutrientes para mantener una cubierta vegetal natural específica, y por lo tanto una biomasa, una edafofauna, flora y un microclima; donde se regula y almacena el agua del ciclo hídrico y en donde en conjunto se establece una dinámica de flujo de materia y energía que identifican un ecosistema.	Sistema complejo	MAVDT, UNCCD, & PNUD, 2005
También se ha definido como un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas.	Cuerpo natural	FAO

## B. Anexo: Procesos de Formación de Suelos y su presencia en la prueba

Proceso de Formación de Suelo (Bockheim & Gennadiyev, 2000)	Posible Presencia en la Prueba de dos sustratos de origen biotecnológico en Soratama	Proceso de Formación de suelo característico (Bockheim & Gennadiyev, 2000)
Gleización	Improbable	Transformación del Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> al FeO de color gris azulado propio de lugares con temperatura baja y humedad alta, de abundante vegetación herbácea, lenta descomposición de la M.O. y una gran acumulación de M.O. turbosa, debajo de las cuales hay una capa de suelo saturadas con agua.
Podzolización	Solo probable si se logran algunos elementos	Por la M.O. en la superficie se generan ácidos orgánicos (fúlvicos) que forman con el lavado de sustancias (bases, coloides y óxidos de hierro y aluminio), el horizonte Eluvial (E) de color gris ceniza, compuesto en su mayor parte de SiO <sub>2</sub> , predomina en climas húmedos y fríos.
Vertización o vertisolización	Improbable	Colección de procesos en vertisoles en el que el suelo compuesto en un 60% de arcillas smectíticas se contraen y se expanden tanto a nivel microscópico, pedón o paisaje
Cryoturbación	Improbable	En suelos afectados por permafrost, la mezcla con hielo se manifiesta en horizontes irregulares y rotos, bandas texturales, acumulación de materia orgánica y material de suelo deformado.
Salinización y desalinización	Improbable	Colección de subprocesos que facilitan la acumulación de sales solubles de Na, Ca, Mg y K, así como cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos. Es un proceso dominante en aridisoles, en algunos grupos hálicos de inceptisoles y en vertisoles (TS).
Enriquecimiento biológico de base catiónica	Probable	La vegetación juega un papel importante en mantener las bases catiónicas (Ca, Mg, K y Na) contenidos en alfisoles y molisoles. Pastos y bosque caducos son especialmente efectivos en retornar grandes cantidades de bases catiónicas en hojarasca, caídas de hojas, flujos de tallos y procesos subterráneos como la exudación de raíces. Se da una versión del enriquecimiento de base catiónicas en los inceptisoles TS. En WRB luvisoles y lxisoles son enriquecidos en bases.
Solonización	Improbable	También referida como alcalinización, este proceso ocurre cuando suelos sujetos a salinización son drenados. Como el exceso de sales solubles es lixiviado los coloides se empiezan a dispersar bajo la influencia del sodio desarrollando una fuerte reacción alcalina. Es reacción dominante en grupos nátricos de alfisoles, aridisoles, molisoles, vertisoles (TS) y solonetztes (WRB).
Solodización	Poco Probable	Este proceso incluye argiluvación de coloides dispersos como los manifestados en el desarrollo de un horizonte ácido A con muy poco material coloidal sobreponiendo un horizonte B enriquecido con arcillas. Es evidente en grupos nátricos de alfisoles y molisoles.
Calcificación y decalcificación	Improbable	Acumulación de carbonatos secundarios y yeso en suelos semi-áridos y áridos o la redistribución de carbonatos en las regiones más húmedas. El CaCO <sub>3</sub> o CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O inicialmente llenan

		los microporos, pero su acumulación por milenios, resulta en horizontes petrocálcicos o petroyésicos fuertemente cementados. La calcificación ocurre en grandes grupos cálcicos de aridisoles, moltisoles, vertisoles (TS), gypsisoles, calcisoles y kastanozems (WRB) y yésicos en aridisoles y vertisoles.
Argilluviación	Probable (pese a limitada presencia de arcillas)	Movimiento de la arcilla en el suelo. El horizonte argílico debe contener un incremento de arcilla proveniente del horizonte eluvial o de una capa inferior y mostrar evidencia de movimiento de arcilla. Es un proceso propio de alfisoles (>35% de saturación de bases) y de ultisoles (<35% de bases de saturación) pero también puede ocurrir en molisoles, aridisoles, grupos kandicos de oxisoles, grupos alficos de spodosoles, también en gelisoles, inceptisoles y otros ordenes (TS). Presente en albelvisoles, nitisoles, luvisoles y lixisoles (WRB).
Andisolización	Poco probable	Resultan de suelos en los cuales la fracción fina de tierra es dominada por compuestos amorfos. Debe tener propiedades andicas, como altas cantidades de Aluminio y Hierro extraíbles por ácido-oxalatos, baja densidad bruta, alta retención de fosfatos y abundancia de vidrio volcánico en suelos alofánicos. Son referidos como andisoles en TS y andosoles en WRB.
Paludización y maduración	Poco probable	Este es un término para la acumulación de materia orgánica en profundidad (>40 cms de materiales hísticos) usualmente en áreas pantanosas. Funcionan en Histosoles, gelisol, inceptisol (TS). La maduración se refiere al subproceso de la paludización de cambios físicos, químicos y biológicos posteriores al drenaje y aireación de la materia orgánica.
Melanización (humificación- encafecimiento)	Poco probable	Algunos suelos se caracterizan por acumulación de materia orgánica húmeda dentro de una capa superior mineral. En la clasificación TS los epipedones mólicos se dan cuando la melanización es enriquecida con bases y si estas bases han sido agotadas entonces se generan epipedones úmbricos. En TS el horizonte debe tener al menos 0,6% de materia orgánica y tener más de 18 cms de grosor, incluye grupos de alfisoles, ultisoles e inceptisoles. En la clasificación WRB horizontes mólicos suceden en Chernozems, Kastanozems, Phaeozems y umbricos en umbrisoles.
Ferralización o lateralización	Improbable	Producto de la meteorización primaria y secundaria los suelos de regiones intertropicales se da el proceso de concentración de Al y Fe y la pérdida de Si en el perfil. Duchaufour (1982) lo dividió en Ferralitización, ferralitización y ferruginación. Ferralitización es preminente en oxisoles, pero también ocurre en ultisoles TS.
Lixiviación de base catiónica	Probable	Es el proceso opuesto al enriquecimiento de bases catiónicas e involucra la eluviación de Ca, Mg, K y Na del suelo bajo condiciones extremas de lixiviación (Homman et al. 1992), primero en ultisoles y spodosoles y algunos grupos de inceptisoles, vertisoles (TS), alisoles y lixisoles (WRB).
Silicificación	Probable	Acumulación secundaria de silicio con frecuencia debido a periodos de altas lluvias en regiones áridas y húmedas. El silicio es cementado en un material llamado duripan, que es común en Durids, soborden de aridisoles y grupos duri de alfisoles, andisoles, inceptisoles, molisoles, spodosoles y vertisoles TS. Silicificación es reconocida en grupo Durisol en WRB.
Antrolización	Probable	Este proceso es la colección de procesos geomórficos y pedológicos resultantes de las actividades humanas que incluyen el arado, fertilización intensiva, adición de materiales extraños, irrigación con aguas ricas en sedimentos y cultivo anegado. Es reconocido en Entisoles, inceptisoles y aridisoles

---

		TS. En WRB los antrosoles deben contener horizontes hortic, irragric, plaggic, terric y antrarquic.
--	--	---

Fuente 61. Elaboración propia a partir de (Bockheim & Gennadiyev, 2000)

## C. Anexo: Afectaciones del Suelo metapedogénicas

Table 11.2 Ejemplos de modificaciones del suelo metapedogénicas (causadas por el hombre)

Manipulación	Principales procesos observados en el suelo
<b>Características topográficas</b>	
Terraceo o nivelación	Reducción de la erosión, incremento del contenido de humus, rejuvenecimiento del proceso pedogénico, alteración de pendiente diferenciada
Construcción de presa	Detención de la sedimentación y lavado, nivel de agua cambia, acumulación de sales
Secado de humedales y minería	Subsistencia de la superficie
<b>Factores Hidrológicos</b>	
Drenaje, reducción de nivel del agua	Mejora oxidación, formación de estructura, cambio de permeabilidad
Plantaciones rompevientos	Cambia el régimen de humedad, altera saturación de bases, lavado de carbonatos
Drenado de bahías y humedales	Adición de materiales de drenaje a otros suelos no disturbados
Innundación de campos	Regimen de agua hidromorfo, reduce oxidación, gleisado
Cambio del ciclo hidrológico por riego	Incremento potencial de lavado y traslocación, acumulación adicional de sales solubles
<b>Factores Químicos</b>	
Irrigación con agua sodica	Absorción del sodio, degradación estructural, reducción de permeabilidad
Llenado con arcillas	Cambio de textura en horizontes superiores, cambio regimen de humedad, saturación de bases alterada
<b>Factores de cultivo y cosecha</b>	
Deforestación y arado en áreas templadas	Mezclado de horizontes superiores, cambio en el pH; retardación de la podzolización o depodzolización
Deforestación y cambio de cultivos en áreas tropicales	Erosión; deshidratación de óxidos de hierro
Sobrepastoreo	Erosión de horizontes de superficie, reducción en infiltración

Fuente: Yaalon and Yaron (1966) and Bidwell and Hole (1965).  
 Schaetzl & Anderson (2005). Soils: Genesis and Geomorphology

## D.Anexo: Evaluación de 7 criterios sobre técnicas de manejo de taludes disturbados en EEUU, Europa y Colombia

Requiere Consultar		Técnicas de Control de erosión en taludes del Departamento de Transporte de California (California Department of Transportation, 2003)	Nivel Ecológico pretendido			Intervención en suelos	
1. El Régimen de disturbios	2.La Degradación de suelos		3.Reclamación de un mínimo útil	4.Rehabilitación de funciones ecosistémicas	5.Restauración	6.Procesos de formación	7.Organización de la materia orgánica
No	Si	Bioestimulantes Se incorporan enmiendas orgánicas del suelo con ácidos húmicos en el suelo para mejorar el crecimiento de la planta. También conocido como "Fertilizante natural orgánico". Formulaciones líquidas o secas construir la estructura del suelo y la biota del suelo para mejorar el crecimiento de la planta sin altas entradas de nitrógeno o fósforo.	Si	Si	Si	No	Si
No	Si	Reparación biotécnica de corte. La reparación consiste en conducir palos o estacas de sauce verticales directamente aguas abajo del corte.	Si	Si	No	No	No
No	Si	Cepillo de Barrera. Filtro de cepillo colocado en el borde del área de construcción o en el contorno para proporcionar un nicho para el establecimiento de la planta.	Si	Si	No	Si	No
Si	Si	Cepillos de represamiento. Se usa en pequeñas cárcavas de 2 a 5 metros para evitar que siga la escorrentía.	Si	Si	Si	Si	No
No	Si	Capa de cepillado. Conformación de trinchos perpendiculares a la pendiente, contruidos con material vegetal que es rellenado a manera de terrazas.	Si	Si	No	Si	No
No	Si	Colchón de cepillado. Una densa capa de material de tejido se usa para detener la erosión en pie de taludes, clavado y asegurado.	Si	No	No	No	No
No	Si	Enmienda de compost y mulch. Se basa en la descomposición termofílica y la estabilización de la materia orgánica. Se usa para reconstruir la biota del suelo, potenciar el crecimiento de las plantas, reconstruir suelo, proveer nutrientes de lenta liberación, prevenir costra, retener humedad, controlar impacto de la lluvia, prevenir área crítica y compactación.	Si	Si	Si	Si	Si
No	Si	Arrugas del contorno. Técnica de arrugado de la superficie que evita la continuidad.	Si	Si	Si	Si	No
No	Si	Cubierta de fibra en rollo con cuerda resistente y anclajes.	Si	No	No	No	No
No	Si	Reforzamiento de fibras del suelo. Fibras de polipropileno de 2-5 cms que se mezclan con el suelo para fortalecerlo.	Si	No	No	Si	No
No	Si	Filtro profundo. Se pone una capa filtrante de grava detrás del suelo y se le adicionan plantas que lo atan al suelo en el talud.	Si	Si	No	Si	No
No	Si	Relleno reforzado de terreno con intercalado de cepillado.	Si	Si	No	Si	No
No	Si	Reparación del corte del relleno con capas de cepillado y geotextil.	Si	Si	No	No	No
No	Si	Arrugas plantadas del talud.	Si	Si	No	Si	No
No	Si	Impresiones en forma de v en el terreno plantadas.	Si	Si	No	Si	No
No	Si	Anclajes vivos unidos con cuerdas	Si	No	No	No	No
No	Si	Estacas vivas	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Reparación de material suelo del corte superior.	Si	Si	Si	Si	No

No	Si	Micro-anclajes con barras de acero	Si	No	No	No	No
No	Si	Inoculación con micorrizas de suelo.	Si	Si	Si	No	No
No	Si	Drenajes ramificados en fajinas en material vivo.	Si	Si	Si	Si	Si
No	Si	Plantación de estacas gruesas vivas.	Si	Si	Si	No	Si
No	Si	Rollos de suelo revegetados.	Si	Si	No	No	Si
No	Si	Rocas con relleno intersticial.	Si	Si	No	Si	No
No	Si	Pendiente aserrada	Si	Si	No	Si	No
No	Si	Red de madera atada y rellena con suelo	Si	Si	No	No	No
Si	Si	Escalonamiento de las pendientes.	Si	Si	No	No	No
Si	Si	Terraceo con recubrimiento de suelo	Si	Si	No	Si	No
Si	Si	Recubrimiento con suelo saludable	Si	Si	Si	Si	Si
No	Si	Recubrimiento con confinamiento celular.	Si	Si	No	No	No
No	Si	Red de matriz tridimensional reforzada con vegetación perenne.	Si	No	No	No	No
Si	Si	Muros de tablados intercalados vegetados.	Si	No	No	No	No
No	Si	Césped en rollos	Si	No	No	No	No
Si	Si	Gaviones vegetados	Si	Si	No	No	No
No	Si	Vegetación de intermedios rocosos	Si	Si	No	Si	No
No	Si	Revestimiento con muro de estacas de sauce	Si	Si	Si	No	Si
No	Si	Berma con viruta de madera	Si	Si	Si	Si	Si

Requiere Consultar		Acciones de Bioingeniería para construir drenajes, sujecciones, anclajes, protección de desprendimiento de piedras, protección frente al viento, protección de la erosión, construcciones hidráulicas de la FIEP (Europa).	Nivel Ecológico pretendido			Intervención en suelos para	
El Régimen de disturbios	La Degradación de suelos		Reclamación de un mínimo útil	Rehabilitación de funciones ecosistémicas	Restauración	Procesos de formación	Organización de materia orgánica
No	No	Cubierta con material procedente del trillado o cosecha.	Si	Si	Si	Si	No
Si	No	Acolchados de paja de flora autóctona ricos en semillas.	Si	Si	Si	Si	No
No	Si	Revestimiento con frutos o semillas de especies herbáceas anuales y de rápido crecimiento.	Si	Si	No	Si	No
No	No	Hidrosembras de semillas sobre el terreno que puede llevar abonos, agentes colantes y estimuladores de crecimiento de plantas (ejemplo cultivo de bacterias).	Si	Si	Si	No	No

No	No	Siembra con acolchado a máquina de abonos, semillas agentes colantes (brea, biolgen, verdylol, ecotec, terravest).	Si	No	Si	No	No
No	No	Siembra con acolchado de paja de fibra larga para zonas extremas e inaccesibles y abono orgánico, se fija con emulsión estable de brea en frío y se utiliza alambre para fijar.	Si	Si	Si	Si	No
Si	No	Siembra de flores silvestres.	Si	Si	Si	No	No
No	Si	Hidrosiembra de semillas leñosas para la formación de un sustrato de vegetación.	Si	No	Si	No	No
No	Si	Siembra localizada y en huecos de semillas de especies leñosas.	Si	Si	Si	No	No
Si	Si	Siembra con limo para sitios en rocas con hendiduras, en taludes pendientes y rocosos se aplica manualmente o con máquina.	Si	Si	Si	No	Si
No	No	Manta orgánica presembrada (materiales biodegradables papel, aserrín, paja, algodón preferible a los sintéticos) se aseguran con grapas.	Si	Si	No	No	No
No	Si	Siembra con manta o red en condiciones de alto riesgo de erosión se cubren con geotextiles o redes metálicas y se adhieren al terreno o se clavan, las mantas deben quitarse luego del crecimiento de la semilla.	Si	No	No	No	No
Si	Si	Cobertura con terreno vegetal no cultivado, que contiene semillas con espesor de 5- 15 cms para terreno desnudo y obtener un rápido control de la erosión superficial.	Si	Si	Si	Si	No
Si	Si	Inoculación con micorriza y bacterias fijadoras de nitrógeno, trayendo tierra que lleve anos de la misma asociación vegetal.	Si	Si	Si	Si	Si
No	Si	Plantaciones con vegetación joven que alcanza el clímax antes que con la sucesión natural.	Si	No	No	Si	No
No	Si	Plantación con fragmentos de plantas añadiendo tierra vegetal, compost y riego.	Si	Si	Si	Si	No
No	No	Plantación de plantas a raíz desnuda sin tierra dependiendo de las características estacionales y especies, procedentes de vivero.	Si	Si	No	No	No
No	Si	Plantación de plantas con cepellón de tierra y se protegen con tejido de yute para el transporte.	Si	Si	No	No	No
Si	Si	Plantación en hoyos, en zonas áridas el hoyo es dos a tres veces más largo que ancho.	Si	Si	Si	Si	No
No	No	Plantación de plantas desarrolladas en grandes hoyos con tierra preparada con tierra vegetal o compost, tutorados y con riego, más protección solar.	Si	Si	Si	Si	Si
No	Si	Plantación en hendidura en ángulo con una azada, se siembra la planta y se cierra con cuidado.	Si	Si	Si	No	No
Si	Si	Plantación en hilera o surcos a favor de la pendiente, en la parte superior de los surcos se plantan árboles añadiendo tierra vegetal.	Si	Si	No	Si	No
Si	Si	Plantación de especies colonizadoras, con acolchados.	Si	Si	No	Si	No
No	Si	Plantación en gradas o terrazas construidas con varas y sembradas con especies leñosas.	Si	Si	No	Si	No
Si	Si	Reforestación a tresbolillo sobre superficies desnudas, con plantas autóctonas.	Si	Si	Si	Si	No
No	Si	Plantación de especies herbáceas y gramíneas en contenedor y en maceta.	Si	Si	No	No	No
No	Si	Plantación de rizomas y estolones de especies que se reproducen por vía vegetativa recubiertos con tierra.	Si	Si	Si	No	No
No	Si	División de mata de gramíneas.	Si	No	No	Si	No
Si	Si	Plantación de tallos de canizo en las orillas y en zonas inundables	Si	Si	No	No	No

No	No	Lechos de canas en un estrato a modo de lecho de ramaje.	Si	Si	Si	Si	No
No	Si	Estaquillas.	No	Si	Si	No	No
Si	Si	Estacas en vallados o setos vivos para reforzamiento de taludes con riesgo de deslizamiento.	Si	No	No	Si	No
Si	Si	Construcción de empalizadas en zanjas que no siempre llevan agua, en suelos sueltos con barro o limo.	Si	No	No	No	No
Si	Si	Construcción de cepillo y peines vivos con estaquillas para reducir la corriente y favorecer la sedimentación.	Si	No	No	Si	No
Si	Si	Empalizada trenzada para estabilización de pendientes, mantenimiento de capa superior de suelo y reforzamiento de la orilla con estacas y varas vivas, relleno con tierra vegetal.	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Empalizada trenzada diagonal para estabilizar pendientes, sujeción de la capa superior de suelo y desarrollo de la vegetación arbustiva, cubierta después con tierra vegetal.	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Fajina de rivera para protección de orillas ante el oleaje y crecidas; sucesión de fajinas y ramas para reforzamiento de taludes.	Si	No	No	Si	No
Si	Si	Fajinas vivas conectadas al curso de agua emisor en taludes, abriendo zanjas diagonales a la pendiente, clavadas con estacas y cubiertas con tierra.	Si	No	No	Si	No
Si	Si	Haz de estacas vivas de drenaje cuando se necesita un drenaje profundo en pendientes con deslizamientos.	Si	No	No	Si	No
Si	Si	Cobertura de ramas muertas y vivas en taludes hasta con una pendiente de 2:3 en riveras, después se cubre con tierra.	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Lecho de ramaje o estabilización profunda de taludes creando bermas excavadas en la pendiente y cubierta con ramas vivas que rebroten.	Si	Si	Si	Si	Si
No	Si	Lecho de plantas, ramaje y plantas enraizadas crea en una sola operación una vegetación pionera y la siguiente comunidad arbórea, para revegetación en pendientes deslizantes.	Si	Si	Si	Si	No
Si	Si	Emparrillado vivo con especies leñosas en zonas de sedimentación y orillas de impacto.	Si	Si	No	No	No
No	Si	Consolidación arbustiva de regatos con ramas vivas o muertas en la zanja de arriba hacia abajo, sujeta con estacas y cubriendo con tierra para facilitar el brote de las ramas.	Si	Si	No	No	No
Si	Si	Rampas de lecho vivas trenzadas para favorecer el depósito de materiales en regatos y zonas de desprendimientos superficiales.	Si	Si	No	No	No
Si	Si	Vegetación espontánea se dejan áreas sin intervención humana (sucesión natural) y con tierra no traída.	No	Si	Si	Si	No
No	Si	Trasplante de vegetación natural para conservar vegetación valiosa con cepellón, en áreas preparadas, fijar al suelo y regar.	Si	No	No	Si	Si
No	Si	Avivamiento de trasplantes en una cama de tierra vegetal sobre pallets agujereados para que luego se puedan separar fácilmente.	Si	Si	No	No	No
No	Si	Tepes de césped cortados y extraídos para las áreas seleccionadas y se fijan con clavijas.	Si	No	No	No	No
No	Si	Rollos de césped precultivadas equipados con estructuras de malla o geotextiles se deben cocer lateralmente y clavar.	Si	No	No	No	No
No	Si	Cunetas encespedadas recolectadas in situ o precultivadas y se fijan con grapas.	Si	No	No	No	No
No	Si	Muro de césped entre poniéndose como si fueran tejas y cubriendo con tierra, usando barras de acero para mayor consolidación.	Si	Si	No	No	Si
Si	Si	Entramado de madera vivo con obra transversal para estabilización del lecho y de taludes, con troncos o vigas, se rellenan con materiales drenantes, ramas vivas o plantas leñosas enraizadas.	Si	Si	No	Si	Si
Si	Si	Entramado de madera roma según cordellini, con troncos o vigas para estabilizar taludes, relleno con tierra inserta, más una malla metálica plastificada o geotextil para repartir la carga, insertas estacas que enraícen.	Si	Si	Si	Si	No
No	Si	Entramado vivo de ribera verticales o casi verticales para taludes de arroyos que no puedan tenderse más.	Si	Si	Si	No	No
Si	Si	Peldaño de leña para consolidar superficialmente pendientes fuertes, con vigas clavadas a estacas y ancladas al terreno y relleno con ramas secas.	Si	No	No	Si	No
Si	Si	Enrejado de madera vivo para taludes y desprendimientos pendiente máxima de 55 grados y longitud de 20 metros, fijando los anclajes al	Si	Si	No	Si	No

		subsuelo, rellena con tierra, lechos de ramaje, plantas enraizadas o siembra posterior.						
Si	Si	Cuneta verde para estabilizar los surcos formados por la erosión del agua con estacas, tablas o vigas.	Si	Si	No	No	No	No
Si	Si	Empalizada filtrante vecino a cuerpos de agua.	Si	No	No	No	No	No
Si	Si	Deflector arbustivo vivo.	Si	Si	Si	Si	Si	No
Si	Si	Cono drenante vegetal para sanear deslizamientos cóncavos, desprendimientos y áreas húmedas al pie de taludes, echando los materiales drenantes con máquina y compactando al intermedio la capa de ramas y plantas tratando de alcanzar con las ramas el subsuelo.	Si	No	No	No	No	No
No	Si	Revegetación de aportaciones de piedras sueltas en taludes pendientes y con piedras con aristas vivas que se pueden introducir en mallas de red metálica y se cosen después.	Si	No	No	No	No	No
No	Si	Escollera viva o empedrado verde.	Si	No	No	No	No	No
No	Si	Muro seco revegetado usando piedras naturales apropiadas, manual o con máquina y en combinación con materiales vivos, tierra vegetal o en tepes, introduciendo plantas.	Si	Si	No	No	No	No
Si	Si	Roca estructural revegetada para taludes rocosos, abriendo la zona de contacto entre la roca compacta y la friable, verter el suelo disponible desde arriba, trasplantar, hidro sembrar especialmente leñosas y estaquillas.	Si	Si	Si	No	Si	Si
Si	Si	Rampas vivas en arroyos intermitentes.	Si	No	No	No	No	No
Si	Si	Canal de lecho rugoso vivo con piedras en zanjas de drenaje de fuerte pendiente.	Si	No	No	No	No	No
No	Si	Césped sobre grava para áreas impermeables se aporta una capa de tierra encima, se siembra y se comprime.	Si	No	No	No	No	Si
No	Si	Celosías de hormigón encespedadas.	Si	No	No	No	No	No
Si	No	Muro modular verde con estructuras modulares en vez de muros de concreto, rellenos con lechos de plantas, ramas y suelo fértil.	Si	Si	No	No	No	Si
Si	Si	Malla tridimensional para zonas inestables con pendientes, fijadas con anclajes, grapas y rellenas con materiales filtrantes.	Si	No	No	No	No	No
No	Si	Gaviones revegetados entre las capas de piedra se aporta una capa de tierra fértil, estacas vivas o lechos.	Si	No	No	No	No	Si
No	Si	Gaviones cilíndricos revegetados con ramas y especies con capacidad de enraizamiento.	Si	No	No	No	No	Si
No	Si	Revestimiento elástico de rivera con cable de acero entre grandes piedras, gaviones cilíndricos y escalones.	Si	No	No	No	No	No
No	Si	Manta orgánica para la protección de taludes, sembrada con semillas y fijadas al sustrato se usan geotextiles de yute, coco, cáñamo, paja etc., estacas y ganchos de alambre.	Si	Si	No	No	No	No
No	Si	Geo celdas de nido de abeja o romboidales para taludes con escaso suelo o gravas sueltas, de material sintético tridimensional, cada celda se rellena con terreno vegetal y se siembra, se usan estacas.	Si	Si	Si	No	No	No
No	Si	Muro verde en tongadas con mantas de geotextil para estabilización de taludes y defensa de ribera, que se rellenan con tierra se comprimen y doblan estando ligeramente inclinadas hacia atrás, sobre ellas se introduce lecho de ramaje con capacidad de enraizamiento que se cubre con capa de tierra, también se puede hidro sembrar o plantar;	Si	Si	Si	No	Si	Si
No	Si	Biorrollos, debajo del nivel de crecida se ponen mantas de fibras naturales, en esta se introduce vegetación herbácea o rizomas y suelo fértil y se hace un rollo que se puede poner al lado del talud y fijarlo.	Si	Si	Si	No	No	No
No	Si	Vegetación con sacos de alambre, taludes con pendiente máxima de 45 grados, una red de alambre galvanizado con manta orgánica o geotextil formando un saco capaz de contener tierra vegetal para el crecimiento de hierba y especies arbustivas, fijados a la roca con barras metálicas.	Si	Si	No	No	No	No
No	Si	Revegetación con geotextil y red metálica en taludes de roca compacta o suelta, recubrimiento con una manta orgánica sobre la que se coloca una malla de alambre galvanizado, la fijación al terreno se hace por barras metálicas, atadas en la parte superior e inferior con guayas de acero, el revestimiento se hidrosiembrar y se insertan arbustos autóctonos y estacas.	Si	No	No	No	No	No

No	Si	Colchón de malla metálica relleno de tierra y manta tridimensional sintética unida a la roca con barras metálicas, el colchón se rellena con tierra y se cose, en la superficie se siembra o hidrosiembra.	Si	No	No	No	No
No	Si	Tierra reforzada revegetada, con geotextiles y malla de acero, doblados, se rellena con tierra y se siembra entre los dobleces.	Si	Si	No	No	No
Si	No	Pantalla anti ruido verde.	Si	Si	No	Si	No
Si	Si	Fajina sumergida.	Si	Si	No	No	Si
Si	Si	Muro verde de sacos de arena, se puede armar introduciendo barras de hierro o parrillas de acero.	Si	No	No	No	No
Si	Si	Deflectores vivos de bloques con piedras de escolleras.	Si	Si	No	Si	No
Si	Si	Deflectores de entramados de madera con piedras.	Si	Si	No	Si	Si
Si	Si	Deflectores vivos de plantas y ramas.	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Cavar para suelos que tienen fácilmente al encharcamiento, forman una costra que se puede romper cavando la superficie con objeto de que las plantas no se ahoguen.	Si	Si	Si	No	No
Si	No	Abonar con abonos minerales, orgánicos, compost es necesario en suelos vírgenes o suelos pobres, se debe aplicar luego de un análisis riguroso del suelo.	Si	No	No	No	Si
Si	No	Regar en sitios secos en condiciones desfavorables o periodos de sequía.	Si	Si	Si	Si	No
Si	Si	Drenar.	Si	Si	No	No	No
Si	Si	Acolchado aporte de materiales alrededor de plantas leñosas recién sembradas para favorecer el crecimiento y reducir competencia de otras plantas espontáneas.	Si	Si	No	Si	No
Si	Si	Segar con máquina o manual para acolchado o para amontonarlo retirándolo de las orillas.	Si	Si	Si	Si	No
No	No	Escardar o quitar malas hierbas.	Si	No	No	No	No
No	No	Pastoreo temporal de ganado de poco peso.	No	Si	No	Si	Si
Si	Si	Airear y esponjar el suelo en suelos limosos arcillosos.	No	Si	Si	Si	Si
No	No	Colocación de tutores y sujeción de árboles de más de 1,5 ms.	Si	Si	No	No	No
No	No	Poda de mantenimiento para su regeneración y aumentar su vitalidad.	Si	Si	No	No	No
No	No	Mochar y quitar anualmente las yemas que se usan para obras.	No	Si	Si	No	Si
Si	Si	Aclarar y eliminar árboles demasiado grandes que sombreen mucho.	Si	Si	No	No	Si
Si	Si	Quebrar árboles de leñosas con capacidad de regeneración y de aporte de madera muerta.	Si	Si	Si	Si	Si
Si	No	Talar y dejar al tocón el corte debe ser liso y con pendiente para que el agua pueda correr, la mayoría vuelve a brotar.	Si	No	No	No	Si
No	Si	Madera muerta, dejar sobre el terreno los árboles muertos con objeto de dejarlos en descomposición natural para crear hábitats que favorecen la biodiversidad natural de hongos, pájaros, insectos, lirones, aves rapaces etc.	Si	Si	Si	Si	Si
No	Si	Desbrozar en cañizales, praderas, juncales, con mucha vegetación arbustiva se cortan las plantas leñosas al ras del suelo, se sacan los tocones para mantener el área libre de plantas leñosas.	Si	Si	Si	No	Si
Si	Si	Triturar restos de poda y utilizar para calefacción, acolchado y compost; montones de ramas, entre y al lado de las plantas leñosas existentes son descompuestos por hongos e invertebrados.	Si	Si	Si	Si	Si
No	Si	Montón de restos vegetales secos en pilas de un metro y se voltean varias veces.	Si	Si	No	Si	Si
Si	No	Pilas de piedras.	Si	No	No	No	No
Si	No	Apoyo a la vegetación espontánea, se retiran las plantas no deseadas para favorecer la sucesión natural.	No	No	Si	No	No

Si	No	Eliminación de la vegetación herbácea en cauces.	No	Si	Si	No	No
Si	Si	Vallar para proteger la vegetación sembrada.	Si	Si	No	Si	No
No	No	Prevención de danos cinegéticos por mordisqueo de animales.	No	No	No	No	No
Si	No	Control biológico de plagas.	No	No	No	No	No
No	No	Control químico de plagas.	No	No	No	No	No
No	No	Postes para aves rapaces.	Si	Si	No	No	No
Si	Si	Arboles colgados.	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Resembrar.	Si	Si	Si	No	No
Si	Si	Reposición de marras si ha habido fallas en las plantaciones revisando las causas.	Si	Si	Si	No	No
No	Si	Desempedrar.	Si	No	No	No	No
Si	Si	Dragar.	Si	No	No	Si	No
Si	Si	Retirar los materiales de arrastre.	Si	No	No	No	No

Requiere Consultar		Acciones de Bioingeniería para construir drenajes, sujeciones, anclajes, protección de desprendimiento de piedras, protección frente al viento, protección de la erosión, construcciones hidráulicas de la FIEP (Europa)	Nivel Ecológico pretendido			Intervención en suelos	
El Régimen de disturbios	La Degradación de suelos		Reclamación de un mínimo útil	Rehabilitación de funciones ecosistémicas	Restauración	Procesos de formación	Organización de la materia orgánica
Si	No	Reperfilado de la coronación del talud en deslizamientos y en taludes de excavación, extrayendo la parte que sobresale y redondea el perfil con un radio de 5 metros	Si	Si	No	Si	No
Si	No	Reducción de la pendiente se perfilan hasta obtener estabilidad estática	Si	No	No	No	No
No	No	Remodelado y nivelación de taludes para impedir la separación de segmentos de roca o talud a causa de la erosión, lograr no muy irregular y porosidad	Si	Si	Si	No	No
No	No	Construcción de terrazas o bermas para aumentar el perfil de mojado, facilitar la accesibilidad y favorecer el drenaje.	Si	No	No	Si	Si
No	No	Desvío de aguas subterráneas por drenaje subterráneo, por captación y que emergen de laderas y taludes o pueden aflorar a la superficie por debajo del área de riesgo de erosión	Si	No	No	No	No
No	No	Canales de desviación de aguas superficiales, que no pueden ser aprovechadas por la vegetación y que no se infiltra al terreno	Si	No	No	No	No
Si	No	Canales de fondo rugoso, con grandes piedras para mitigar aguas torrenciales, fosos de drenaje rellenos con material que permita la percolación del agua	Si	No	No	No	No
Si	No	Fosos de drenaje que se rellenan con material para permitir la percolación del agua	Si	No	No	No	No
Si	No	Cono filtrante para permitir las aguas superficiales se rellena con grava u otro material, formando una capa filtrante	Si	No	No	No	No
Si	No	Piquetas para estabilizar terrenos y anclar diversas tipologías de actuación	Si	No	No	No	No
Si	No	Valla para contener los horizontes superiores en terreno no cohesionado en dirección normal o perpendicular a la máxima pendiente anclada con piquetes	Si	Si	Si	Si	Si
Si	No	Muros de contención con tablas y tabloncillos para sujetar taludes, márgenes o excavaciones	Si	Si	No	No	Si
		Muro de contención en seco con piedras, concreto o sacos de arena	Si	Si	No	No	No

Si	No	Vallas anti-taludes de contención para la nieve	Si	No	No	No	No
No	No	Anclajes para sustratos de tierra y roca con clavos en filas paralelas insertadas mediante taladros, perforación y vibración.	Si	Si	No	No	No
No	No	Tirantes prensados o inyección de concreto al subsuelo quedando las capas de suelo perforadas comprimidas	Si	No	No	No	No
Si	No	Clavija para estabilizar deslizamientos en suelos blandos y catástrofes se usan estructuras de madera, acero o concreto, estableciendo conexiones rígidas en la parte superior de la pila	Si	No	No	No	No
No	No	Tierra reforzada para taludes de elevada pendiente se introducen en el suelo cintas protectoras metálicas armadas o elementos prefabricados de concreto, o geotextiles con malla electrosoldada.	Si	No	No	No	No
Si	No	Mallas de contención para el anclaje superficial de los taludes inestables en roca y para prevenir la caída de piedras se fijan mallas metálicas eventualmente elevadas mediante distanciadores adecuados.	No	No	No	Si	No
Si	No	Pared de contención para contener la nieve y piedras en deslizamientos usando palos tablas o tabloneros y con un drenaje duradero	Si	No	No	Si	No
Si	No	Dique de contención y las balsas de laminación sirven para interceptar el movimiento de nieve, tierra o rocas y las traviesas impiden el desbordamiento lateral se usa tierra y piedras.	Si	No	No	No	No
Si	Si	Pantallas para protección contra el viento que son de funcionamiento temporal	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Vallas de dispersión de nieve o arena para carreteras y taludes obligándolas a mantenerse limpias	No	No	No	No	No
Si	No	Capas de ramaje muerto de herbáceas de grandes dimensiones que permita la sucesión y colonización espontánea, para proteger los canales de erosión para que no se profundicen y el terreno superficial	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Malla de ramas colocadas verticalmente contra la erosión eólica	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Intervención y protección de cárcavas para estabilizar y proteger los canales de erosión e impedir la profundización con ramas.	Si	Si	Si	No	Si
Si	Si	Protección de taludes y márgenes de ríos sometidos a erosión con mantas geotextiles sujetas con estacas o clavos	Si	Si	No	No	No
No	Si	Gaviones planos sobre laderas de roca destinadas a una revegetación extensiva.	Si	No	No	No	No
No	No	Recubrimiento de taludes con piedras de gran tamaño siempre que se pueda acceder con maquinaria creando una superficie rugosa	No	Si	No	No	No
Si	No	Serie de bloques de piedra para estabilización del pie del talud fijándose con cables o pilotes oportunamente colocados	Si	No	No	No	No
Si	Si	Umbral de troncos para impedir el descenso del cauce se colocan bridas de troncos transversales a la dirección del flujo, los intersticios se tapan con piedras de pequeño grosor, ramas, geotextiles.	Si	No	No	No	No
Si	Si	Entramados de piedra y madera como defensa longitudinal de márgenes, se debe tener especial atención al anclaje de la obra y sus laterales	Si	Si	No	Si	Si
Si	Si	Rampas de troncos de madera para prevenir la excavación excesiva y el descalce al pie de obras transversales en torrentes.	Si	Si	No	No	No
No	No	Arboles enteros talados en los ríos que favorecen la sedimentación	Si	Si	Si	No	Si

Requiere Consultar		Acciones de Empradización (numeral 4) para Restauración de Taludes disturbados Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura - Subsector Vial de Colombia (Presidencia de la Republica, MAVDT, INVIAS, 2011)	Nivel Ecológico pretendido			Intervención en suelos para	
El Régimen de disturbios	La Degradación de suelos		Reclamación de un mínimo útil	Rehabilitación de funciones ecosistémicas	Restauración	Procesos de formación	Organización de la materia orgánica
No	No	Siembra directa de semillas. De gramíneas o leguminosas más adición de abonos orgánicos y químicos cada dos meses durante un año entre otros.	Si	Si	No	No	No
No	No	Establecimiento de cespiones, se requiere disponer de una capa orgánica o arena con abonos orgánicos, una pendiente de entre 3:1 a 1,5:1, utilización de estacas para fijarlos e impedir su movimiento mientras las raíces se fijan al suelo, riego de dos veces al día en época de verano,	Si	No	No	No	No

		uso de insecticidas, fungicidas o cualquier otro tratamiento para evitar el deterioro del pasto durante un año.						
No	Si	Siembra de vetiver para áreas con fuertes pendientes, por su alta tolerancia a condiciones adversas del suelo y clima, se debe expandir tierra orgánica, libre de palos, raíces, troncos o elementos extraños, adicionarle una tercera parte de abono orgánico, material de siembra homogéneo y certificado	Si	No	Si	No	No	No
No	No	Hidrosiembra este método es muy recomendado para pendientes severas. El sistema de siembra consiste en la proyección de una mezcla homogénea de agua, semilla, mulch (cubierta superficial del suelo de naturaleza orgánica), adherentes y fertilizantes mediante un equipo de alto caudal, que permite proyectar mediante aspersión una solución completa sobre el terreno desnudo". De esta manera se siembra, abona, y se cubre de mantillo el suelo de una vez. Con el fin de mejorar las características edáficas del sustrato se puede incorporar a la mezcla estabilizadores químicos tales como polímeros químicos biodegradables, resinas sintéticas, extractos acuosos de algas marinas entre otros. El espesor deberá ser lo suficiente para que pueda crecer la cubierta vegetal de forma adecuada como mínimo 6 mm o una cantidad de mezcla de 3-5 lt/m2. No se puede hacer en épocas de lluvia.	Si	No	No	Si	No	
No	No	Fibras naturales, se les conoce como los llamados mantos, compuestos con fibras naturales y diseñados para detener la erosión superficial desde el momento de su instalación, favoreciendo la germinación y crecimiento de la vegetación a través de ellos. Generan un efecto invernadero al darse retención de humedad, disminución de radiación y creación de microclima, posteriormente al biodegradarse aporta nutrientes y materia orgánica. Requiere para su establecimiento pendientes inferiores a 45 grados, anclaje con grapas (6 por m2), superficie libre de protuberancias, surcos y cárcavas. El perfil orgánico se hace mezclando tierra negra, abono orgánico, fertilizante químico y un hidrotendedor. Riego cada 6 días durante dos meses	Si	Si	No	No	Si	
No	Si	Trinchos vivos para estabilizar taludes y cárcavas, disipar la energía de un cauca de agua conformados con guadua verde intercalada con estacas de nacedero, para la formación de una malla con las raíces que retiene el suelo con gran capacidad de amarre	Si	Si	Si	Si	No	

## E. Anexo: Reporte de Resultados

Laboratorio de Aguas y Suelos  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Sede Bogotá



### REPORTE DE RESULTADOS

Recibido:	06/10/2017	Solicitante:	Andrés Vanegas Moller	Tipo de muestra:	Varios
Entregado:	14/11/2017	Dirección:	Calle 29 Bis 5-18	Departamento:	Bogotá
No. recibo:	No reporta	Teléfono:	3057947879	Municipio:	Bogotá

#### RESULTADOS

No. Lab.	Lote	pH	N	C	C/N	Curva de retención de agua (%)			CIC meq/100 g
						0,3 bar	1 bar	5 bar	
C197	1. Sustrato S1 Inicial	5,99	1,37	47,5	34,6	228,2	226,0	217,9	105,8
C198	2. Sustrato S2 Inicial	6,92	2,56	37,2	14,5	105,1	92,1	94,7	87,9
C199	3. Sust S1 Ceida C5 a 210 días	5,82	1,01	31,3	30,8	113,9	100,5	94,4	65,0
C200	4. Sust S2 Ceida C5 a 210 días	6,82	2,01	34,3	17,1	66,1	66,8	65,1	66,7
C201	5. Tierra comercial	6,05	0,32	8,83	27,9	64,6	57,9	46,8	56,8
C202	6. Control Ceida C6 210 días	6,47	1,35	25,7	19,1	57,1	69,8	53,5	50,7

Los resultados de este reporte corresponden únicamente a las muestras suministradas por el usuario para ser analizadas en el laboratorio.

#### MÉTODOS DE ANÁLISIS

pH: Pasta saturada. %C (carbono total): Análisis elemental. N (nitrógeno total): Análisis elemental. Curva de retención de agua: (como agua gravimétrica); Plato y olla de tensión. CIC: Capacidad de Intercambio catiónico. Saturación con acetato de amonio 1M pH 7, y posterior desplazamiento del NH<sub>4</sub> intercambiado con NaCl.

*Martha Cecilia Henaó Toro*

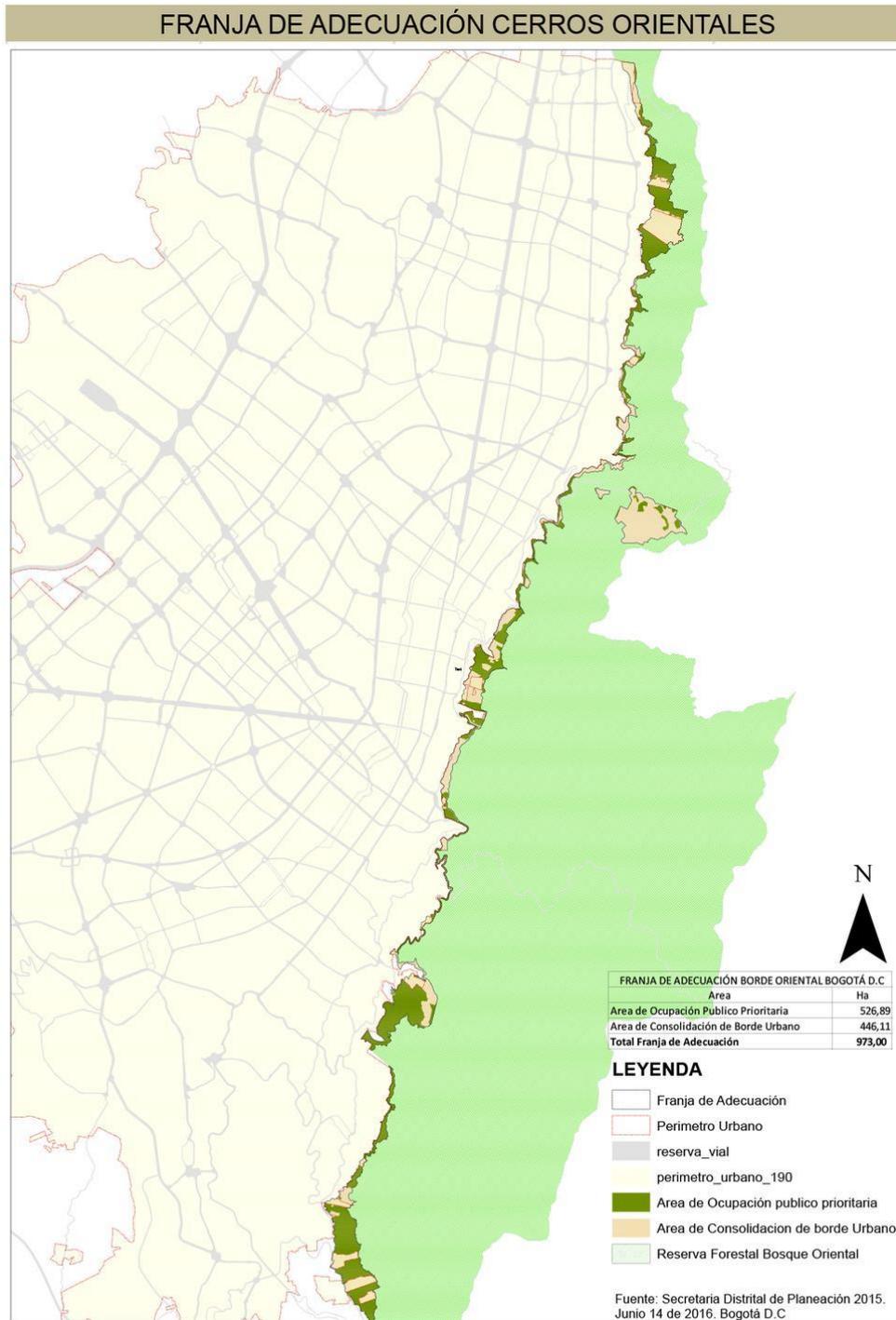
MARTHA CECILIA HENAO TORO  
Directora laboratorio

## F. Anexo: Cuadro Resumen de Inversiones en la Cantera Soratama

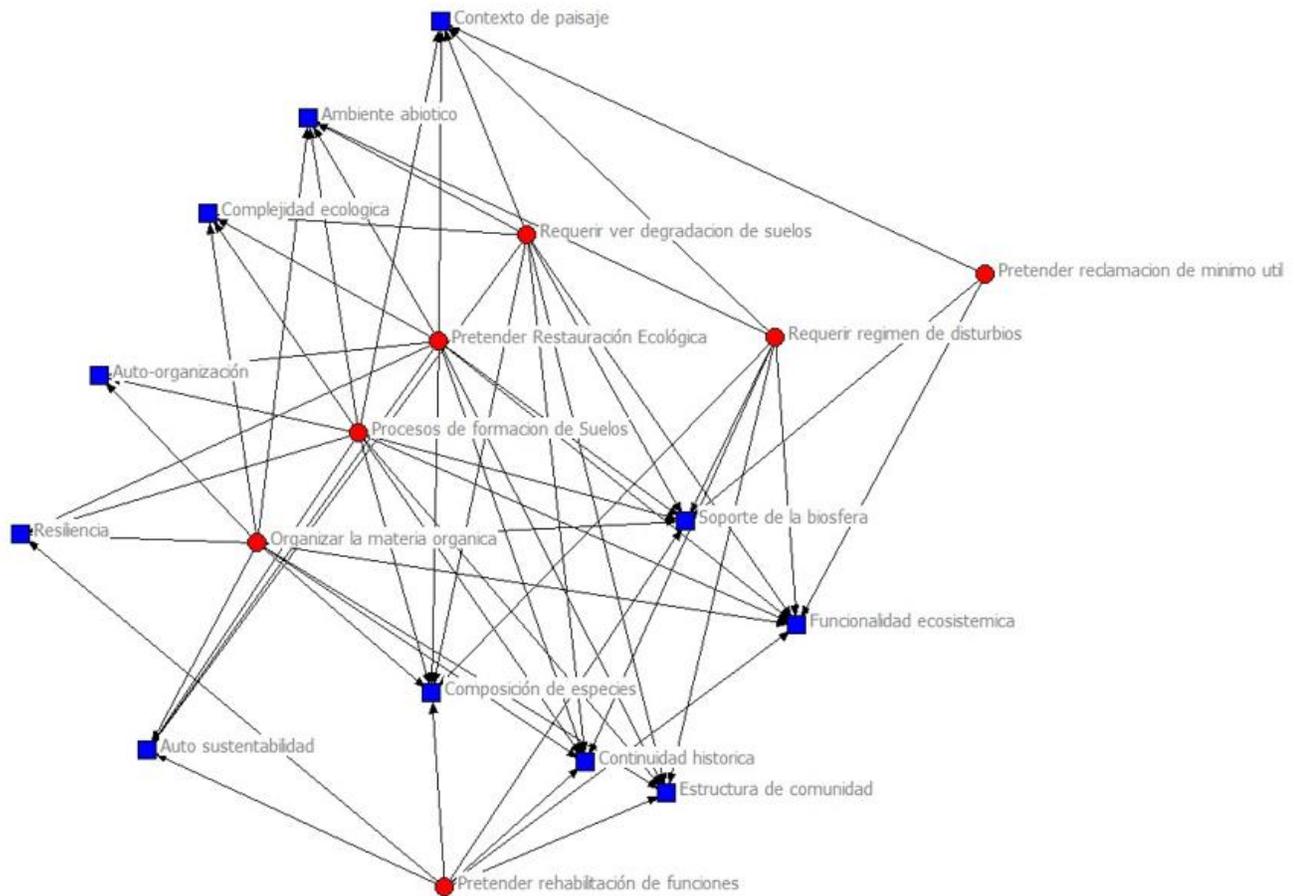
### CONTRATACION DAMA 2000-2005

No. DE CONTRATO / CONVENIO	VALOR
1. Convenio 004/2000 – DAMA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	\$220.000.000
2. Contrato Interadministrativo 041/02 – DAMA-UNIVERSIDAD NACIONAL	\$11.970.000
3. Convenio 042/02 - DAMA-MINERCOL	
3.1 Aportes DAMA	\$286'520.000
3.2 Aportes del Fondo Nacional de Regalías a través de MINERCOL	\$1.660'392.161
4. Contrato UEL – DAMA No.01-09-00-02	\$61'822.200
5. Contrato 049/02	\$25'896.947
6. Orden de Servicios No 161/02	\$2'500.000
7. Contrato 228/03	\$18'000.000
8. Contrato No 118/02	\$36'623.289
9. Convenio de Asociación No 017/03 – DAMA – UNIVERSIDAD JAVERIANA	0
9.1 Aportes DAMA	\$30'000.000
9.2 Aportes U. Javeriana	\$82'677.714
10. Contrato 1142/03	\$82'141.610
11. Orden de Servicios No 101/05	\$12'000.000
11. Orden de Servicio No 096 de 2006	\$8'200.000
12. Contrato de obra No 367 de 2005 (Con recursos del Convenio No. 042 de 27 de diciembre 2002 – Estado del Acta de iniciación el 28.12.05 - Suspendido: 30.12.06).	\$1.595'155.629
13. Contrato de Prestación de Servicios Profesionales No 056/06 (Estado en Ejecución)	\$28'800.000
14. Guardianes Compañía Líder de seguridad (Vigilancia Cantera Soratama).	\$187'648.125
<b>TOTAL, RECURSOS DESTINADOS PARA PROYECTO CANTERA SORATAMA</b>	<b>\$ 2.755'192.046</b>

## G. Anexo: Imagen Franja de Adecuación de los Cerros Orientales según SDP-Bogotá.



## H. Anexo: Red de relaciones UCINET entre atributos ecológicos SER y criterios de evaluación de degradación- restauración de suelos



# I. Anexo. Fichas de Ecología de Restauración C1,C3,C4,C5,C6,C7,C8 y C9

<b>F-1. Ecología de la Restauración</b>		Proyecto: PMAD-UNAL Andrés Vanegas 2017		Cantera Soratama <b>Celda C1</b>	
<b>Fase I – Rehabilitación de procesos de formación de Suelo</b>		Coord. 1 Celda N W Alt c1 4,74167 74,01268 2883,59		Coord. 2 N W Alt 4,74163 74,01266 2886,1	
Introducción: Se realiza la aplicación alternativamente pero no mezclada, de los dos sustratos S1 y S2 en una celda de 2,5 mts x 7,50 en el extremo sur-oriental de un talud que había sido objeto de reconfiguración morfológica y restauración con biomantos en el año 2008, pero actualmente con avanzado proceso erosivo, sin formación de suelos y una exigua vegetación que estaba permitiendo la transformación del proceso erosivo laminar hacia el de cárcavas. El S1 se aplicó en los segmentos de mayor pendiente de más de 60 grados y el S2 en segmentos que estaban reconfigurados a 35 grados.		Periodo Evaluado:		28/01/2017-29/01/2017	
Métodos: Una vez delimitada con hilos el área de la celda, se aplicaron los sustratos S1 y S2 con la mano, habiéndolos sobresaturado de agua previamente por cuanto el terreno estaba totalmente seco y erodado. Se aplicó moldeando cada geoforma para garantizar de que no quedara ningún espacio sin sustrato adherido dentro del paralelogramo irregular. Se pudo observar que en la celda habían sido ubicados biomantos en el 2008, según vestigios de algunas fibras y las estacas con que fueron clavadas.		Autores Investigación:		Vanegas, Andrés.	
		<b>Variable1</b>		Línea Base1:	
		Adherencia		Resultado1:	
		<b>Variable2</b>		Línea Base2:	
		Fertilidad		Resultado2:	
		<b>Variable3</b>		Línea Base 3:	
				Resultado3:	
		Indicador: Sustratos S1 y S2 aplicados en un talud que había sido objeto de biomantos sobre un área de 18,75 m2 y que venía en proceso erosivo laminar fuerte. Se logró una adherencia de los sustratos del 98,61% a los 20 días de aplicación, pese a haberlo puesto inicialmente en toda la superficie.			
FotografíaC1-1. Línea Base		FotografíaC1-2. Al terminar la aplicación en el Periodo Evaluado 29/01/2017			
					
<b>Observaciones:</b>					
<b>Fase II – Restauración de Suelos</b>		Parcela:		<b>C1</b>	
Introducción: Para poder empezar a observar Procesos de Formación de Suelos (PFS) en un periodo de tiempo de 7 meses, sólo se contaba con la medición de adherencia de los sustratos y de la fertilidad, esta última integrada por los componentes de Estabilidad Estructural y por su potencialidad a la germinación de plántulas espontáneas en campo y sembradas en laboratorio. Sin embargo, se empezaron a observar parches dentro de la celda de un color claro que parecían evidenciar la desnudez del terreno original por caída del sustrato, pero en realidad consistió en una nueva capa de material erodado de arena que le está cayendo por escorrentía en algunos sectores a los sustratos constituyéndose en iluviación como primer reporte de (PFS)		Periodo Evaluado:		28/01/2017-27/08/2017	
		Autores Investigación:		Vanegas, Andrés.	
		<b>Variable1</b>		Línea Base1:	
		Adherencia		ResultadoV1-1: ResultadoV1-2: ResultadoV1-3:	
		<b>Variable2</b>		Línea Base2:	
		Fertilidad		ResultadoV2-1: ResultadoV2-2: ResultadoV2-3:	
		<b>Factor Limitante1</b>		Clima	
		<b>Factor Limitante2</b>		Material parental	
		<b>Factor Limitante3</b>		Usos del suelo	
		Indicador: Sustratos que permanecen en el 91,82% de los 18,75 m2 de talud que había tenido restauración con biomantos los cuales no habían podido detener el proceso erosivo pese a la reconfiguración de la pendiente. No se tiene claridad sobre el espesor de la capa que permanece adherida.			
Métodos: <b>Variable1. Adherencia.</b> Verificación primera (V1-1) por fotointerpretación manual a los 210 días sobre 432 micro celdas (12*36) superpuestas sobre el área aplicada. Verificación segunda (V1-2) por fotointerpretación con el software ARCGIS versión 10.5. Verificación tercera (V1-3) por adaptación del método de colectores usados por los departamentos de Transporte en Estados Unidos. <b>Variable2. Fertilidad.</b> Verificación primera (V2-1) por la medición en laboratorio en el momento de aplicación y su variación a 210 días de gradación de tamaño de partículas, contenido de C, N, relación C/N, curva de retención de humedad a diferentes presiones, pH y CIC. Verificación segunda (V2-2) germinación espontánea comparada de plántulas a 210 días de aplicación con la celda control. Verificación tercera (V2-3) germinación en laboratorio a 35 días de semillas de maíz con los dos sustratos comparados con la tierra comercial.		Reporte Estación IDEAM UDCA		Depósitos de Cenizas volcanicas	
		Urbano- Reserva Forestal			
Fotografía C1-3 Línea Base		Fotografía C1-4. Sustrato S1 y S2 totalmente integrados y con germinación vegetal espontánea de más del 50% del área.			
					

Ilustración 44. Parámetros de fertilidad de los sustratos S1 y S2 a 20 días y a 210 días de aplicados en la celda C1.

Variación S1		pH	N	C	C/N	0,3 bar	1 bar	5 bar	CIC	
c197	1. Sust S1 Inicial	5,99	1,37	47,5	34,6	228,2	226	217,9	105,8	
c199	3. Sust S1 celda C5 a 210 días	5,82	1,01	31,3	30,8	113,9	100,5	94,4	65	
		-0,02838063	-0,26277372	-0,34105263	-0,10982659	-0,50087642	-0,55530973	-0,56677375	-0,38563327	-0,34382834
Variación S2		pH	N	C	C/N	0,3 bar	1 bar	5 bar	CIC	
c198	2. Sust S2 Inicial	6,92	2,56	37,2	14,5	105,1	92,1	94,7	87,9	
c200	4. Sust S2 Celda C6 a 210 días	6,82	2,01	34,3	17,1	66,1	66,8	65,1	66,7	
		-0,01445087	-0,21484375	-0,07795699	0,17931034	-0,37107517	-0,27470141	-0,312566	-0,24118316	-0,16593338

Fuente 62. Laboratorio de Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Ilustración 45. Estadística descriptiva de la variación de parámetros de fertilidad de los dos sustratos entre 20 y 210 días.

variacion de parametros para S1 en el tiempo		variacion de parametros de S2 en el tiempo	
Media	-0,34382834	Media	-0,16593338
Error típico	0,06254803	Error típico	0,05692948
Mediana	-0,34382834	Mediana	-0,21484375
Moda	#N/A	Moda	#N/A
Desviación e	0,18764408	Desviación e	0,17078844
Varianza de l	0,0352103	Varianza de l	0,02916869
Curtosis	-0,67696444	Curtosis	0,84498884
Coefficiente r	0,49254768	Coefficiente r	1,02241942
Rango	0,53839312	Rango	0,55038551
Mínimo	-0,56677375	Mínimo	-0,37107517
Máximo	-0,02838063	Máximo	0,17931034
Suma	-3,0944551	Suma	-1,49340038
Cuenta	9	Cuenta	9

Fuente 64. El autor.

Ilustración 46. Análisis de Correlación de Pearson de los dos sustratos S1 y S2 usados en la celda.

Tabla C1-V2-1-2

Software Past Version 3.18

Coorrelacion de Pearson		B	C
B			8,83E-06
C		0,98471	

B parametros a 20 dias

C parametros a 210 dias

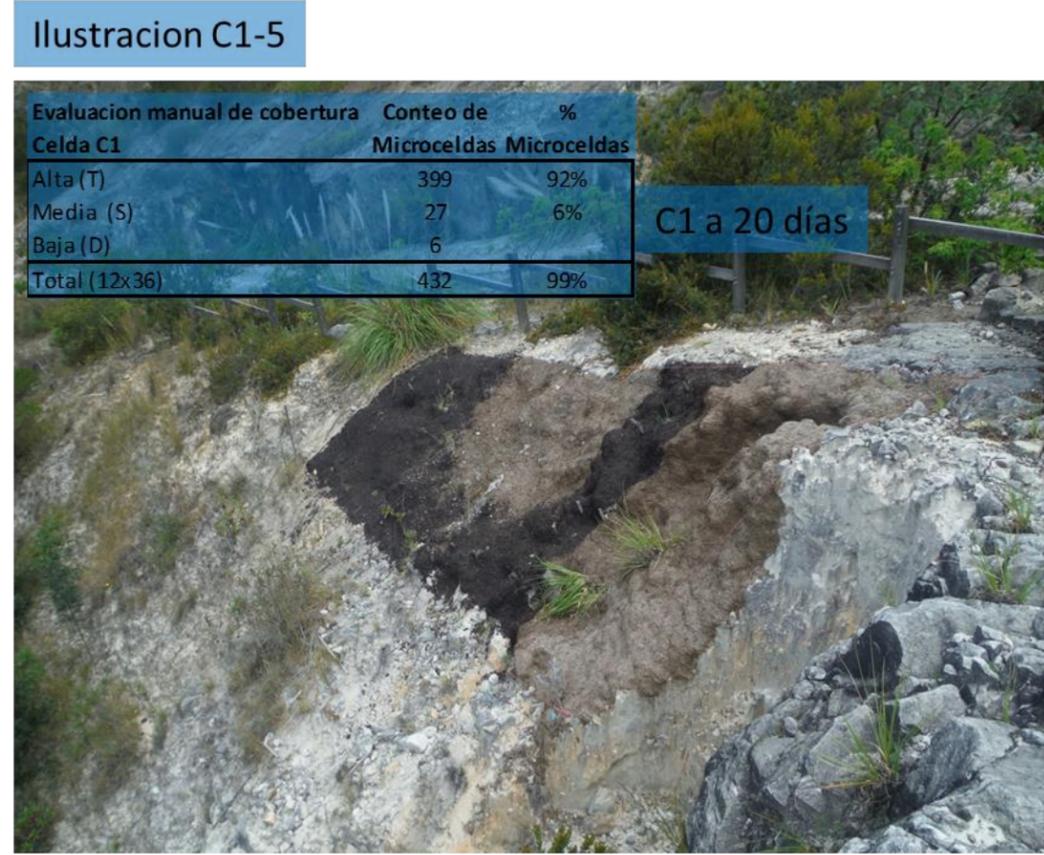
Fuente 63. El autor usando el software PAST v. 3.18.

Ilustración 47. Vestigios de ubicación de biomantos contigua a la aplicación de los dos sustratos S1 y S2 en celda C1.



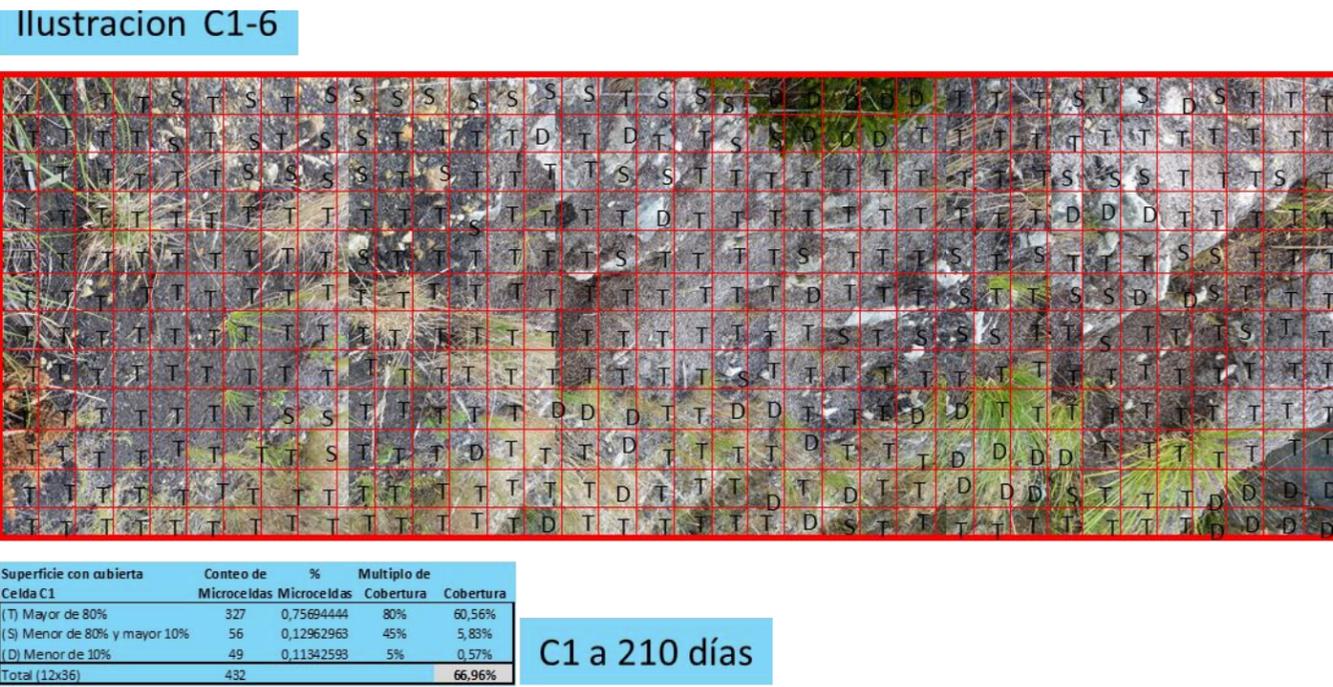
Fuente 65. El autor.

Ilustración 48. Evaluación manual de adherencia de los sustratos S1 y S2 a 20 días en la Celda C1.



Fuente 66. El autor.

Ilustración 49. Evaluación manual de adherencia de los sustratos S1 y S2 a 210 días en la celda C1.



Fuente 67. El autor.

F-1. Ecología de la Restauración		Proyecto: PMAD-UNAL Andrés Vanegas 2017		Cantera Soratama Celda C3	
Fase I – Rehabilitación de procesos de formación de Suelo		Celda		C3	
		1		2	
		N W Alt		N W Alt	
		4,74157 74,01271 2883,21		4,7416 74,01276 2880,77	
		3		4	
		N W Alt		N W Alt	
		4,74157 74,0127 2886,36		4,74159 74,01277 2877,37	
Introducción: Se realiza la aplicación del sustrato S1 en una celda de 1,5 mts x 10,50 en el extremo sur-oriental de un talud que había sido objeto de reconformación morfológica. Por encontrarse en un sector de flujo de fuerte escorrentía el material que había sido reconformado con maquinaria, la arenisca al no estar consolidada se está erosionando en un proceso de cárcavas que es expresado por parte de los funcionarios de FINAT y que operan como vigías ambientales en la cantera como el de mayor problemática hacia procesos de remoción en masa y desprendimientos de grandes rocas.		Periodo Evaluado:		28/01/2017-29/01/2017	
Métodos: Una vez delimitada con hilos el área de la celda, se aplicó el sustrato S1 con la mano por parte de operarios especialistas de manejo en alturas de arriba hacia abajo, habiéndolos sobresaturado de agua previamente por cuanto el terreno estaba totalmente seco y erodado. Se aplicó moldeando cada geoforma para garantizar de que no quedara ningún espacio sin sustrato adherido dentro del paralelogramo irregular.		Autores Investigación:		Vanegas, Andrés.	
		Variable1		Línea Base1:	
		Adherencia		Resultado1:	
				Resultado2:	
		Variable2		Línea Base2:	
		Fertilidad		Resultado2:	
		Variable3		Línea Base 3:	
				Resultado3:	
		Indicador: Sustrato S1 aplicado en un talud por el sector donde se presentaba escorrentía superficial de profundo daño erosivo, se asume la posibilidad de verificar lo que sucede en esta difícil condición de permanente erosión y flujos fuertes de agua. Se logró una adherencia del sustrato S1 del 96,53% a los 20 días de aplicación, pese a haberlo puesto inicialmente en toda la superficie.			
FotografíaC3-1. Línea Base		FotografíaC3-2. Al terminar la aplicación en el Periodo Evaluado 29/01/2017			
					
Observaciones:					
Fase II – Restauración de Suelos		Parcela:		C3	
Introducción: Muy rápidamente, hacia el tercer mes se empezaron a observar parches dentro de la celda de un color claro que parecían evidenciar la desnudez del terreno original por caída del sustrato, pero en realidad consistía en una nueva capa de material erodado de arena que está cayendo por escorrentía en el recorrido del flujo de agua constituyéndose en iluviación como primer reporte de (PFS) el cual está alcanzando el 43,41% del área de la celda (imagen C-5)		Periodo Evaluado:		28/01/2017-27/08/2017	
Métodos: <b>Variable1. Adherencia.</b> Verificación primera (V1-1) por fotointerpretación manual a los 210 días sobre 432 micro celdas (12*36) superpuestas sobre el área aplicada. Verificación segunda (V1-2) por fotointerpretación con el software ARCGIS versión 10.5. Verificación tercera (V1-3) por adaptación del método de colectores usados por los departamentos de Transporte en Estados Unidos. <b>Variable2. Fertilidad.</b> Verificación primera (V2-1) por la medición en laboratorio en el momento de aplicación y su variación a 210 días de gradación de tamaño de partículas, contenido de C, N, relación C/N, curva de retención de humedad a diferentes presiones, pH y CIC. Verificación segunda (V2-2) germinación espontánea comparada de plántulas a 210 días de aplicación con la celda control. Verificación tercera (V2-3) germinación en laboratorio a 35 días de semillas de maíz con los dos sustratos comparados con la tierra comercial.		Autores Investigación:		Vanegas, Andrés.	
		Variable1		Línea Base1:	
		Adherencia		ResultadoV1-1:	
				ResultadoV1-2:	
				ResultadoV1-3:	
		Variable2		Línea Base2:	
		Fertilidad		ResultadoV2-1:	
				ResultadoV2-2:	
				ResultadoV2-3:	
		Factor Limitante1		Clima	
		Factor Limitante2		Material parental	
		Factor Limitante3		Usos del suelo	
		Indicador: Sustrato S1 permanece en promedio el 88,59% del área de los 15 m2 de la celda, pese a la condición de fuerte escorrentía superficial que eroda los bordes de la celda pero que también está aportando sedimentos para el proceso de formación de suelos del 43,41% del área de la celda. No se tiene medición sobre el espesor de la capa de sustrato que permanece. Se observa un surco de vegetación espontánea del 6,35% (ilustración c-5).			
Fotografía C3-3 Línea Base		Fotografía C3-4. Sustrato S1 totalmente integrados y con surco de germinación vegetal espontánea.			
					

Ilustración 50. Parámetros de fertilidad del Sustrato S1 a 20 días y a 210 días.

Medición de Parametros - Laboratorio de Aguas y Suelos (Anexo C)									
Variación S1		pH	N	C	C/N	0,3 bar	1 bar	5 bar	CIC
c197	1. Sust S1 inicial	5,99	1,37	47,5	34,6	228,2	226	217,9	105,8
c199	3. Sust S1 celda C5 a 210 días	5,82	1,01	31,3	30,8	113,9	100,5	94,4	65

Fuente 68. Laboratorio Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

## Ilustración C3-V2-1-51. Variación promedio de parámetros de fertilidad a 210 días de uso

variacion de parametros  
para S1 en el tiempo

Media	-0,34382834
Error típico	0,06254803
Mediana	-0,34382834
Moda	#N/A
Desviación e	0,18764408
Varianza de l	0,0352103
Curtosis	-0,67696444
Coefficiente	0,49254768
Rango	0,53839312
Mínimo	-0,56677375
Máximo	-0,02838063
Suma	-3,0944551
Cuenta	9

Fuente 69. El autor.

Ilustración C3-5. Evaluación manual de adherencia a 20 días en celda C3.



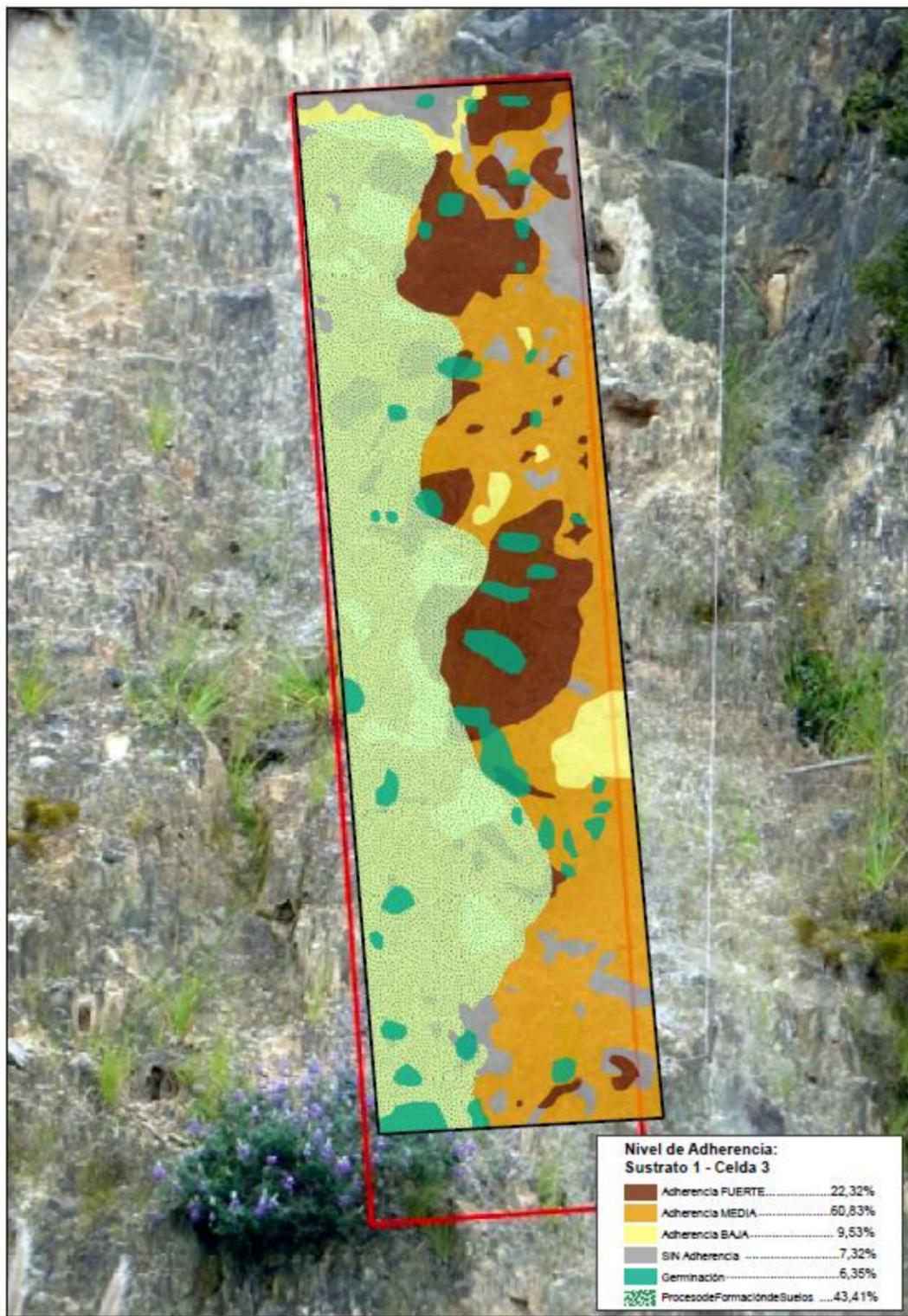
Fuente 70. El autor

Ilustración C3-6. Evaluación manual de adherencia a 210 días en celda C3



Fuente 71. El autor

Ilustración C3-7. Evaluación de adherencia, germinación espontánea y procesos de formación de suelos usando ArcGIS v 10.5



Fuente 72. Carlos Mora.

<b>F-1. Ecología de la Restauración</b>		Proyecto: PMAD-UNAL Andrés Vanegas 2017			Cantera Soratama <b>Celda C4</b>		
<b>Fase I – Rehabilitación de procesos de formación de Suelo</b>		Celda	1	2	3	4	
		N	W	Alt	N	W	Alt
c4		4,7412	74,1309	2885,33	4,7412	74,0131	2885,24
Introducción: Se realiza la aplicación del sustrato S1 en una celda de 1,5 mts x 10,50 en un talud de arenisca antiguo de la cantera Soratama, en el sector sur, con una pendiente de 72 grados y de más de 25 metros de altura, pero muy estable. Se requirieron operarios y equipos para trabajo en altura. El olor era concentrado y molesto a los operarios por el proceso bacteriano principalmente. La temporada de aplicación fue en verano.		Periodo Evaluado:			28/01/2017-29/01/2017		
		Autores Investigación:			Vanegas, Andrés.		
<b>Variable1</b>		Línea Base1:			Talud de alta pendiente y muy estable (fotografía C4-1).		
Adherencia		Resultado1:			Adherencia 98,15% a los 20 días (ilustración C4-3).		
<b>Variable2</b>		Línea Base2:			Areniscas consolidadas		
Fertilidad		Resultado2:			ANNOVA no hay diferencia en sustratos		
<b>Variable3</b>		Línea Base 3:					
		Resultado3:					
Métodos: Una vez delimitada con hilos el área de la celda, se aplicó el sustrato S1 con la mano por parte de operarios especialistas de manejo en alturas de arriba hacia abajo, habiéndolos sobresaturado de agua previamente por cuanto el terreno estaba totalmente seco. Se aplicó moldeando cada geoforma para garantizar de que no quedara ningún espacio sin sustrato adherido dentro del paralelogramo irregular. Se adhirió muy bien y se conservó así estable en toda la superficie.		Indicador: Sustrato S1 aplicado en un talud de alta pendiente por el sector sur de la cantera, con pendiente de 72 grados muy estable, no observaban muestras de erosión porque estaba cubierto de película oscura. Se logró una adherencia del sustrato S1 del 98,15% a los 20 días de aplicación, pese a haberlo puesto inicialmente en toda la superficie.					
FotografíaC4-1. Línea Base		Fotografías C4-2. Al terminar la aplicación en el Periodo Evaluado 29/01/2017					
							

<b>Observaciones:</b>		Parcela:			<b>C4</b>		
<b>Fase II – Restauración de Suelos</b>		Periodo Evaluado:			28/01/2017-27/08/2017		
Introducción: Pese a la condición de alta pendiente se mantuvo muy estable hasta cuando empezaron las temporadas de lluvias un mes después de aplicado. El total del material aplicado para los 15 m <sup>2</sup> de la celda fue de más o menos 150 kilogramos y se llegó a desprender más o menos un 15% en la temporada invernal siguiente. En el verano posterior se produjeron resquebrajamiento que facilitaron la caída de algunos parches completos. Por la dificultad de observación no se ha podido detallar si se han generado procesos de formación de suelo (PFS) y tampoco se conoce el grosor del material que se encuentra remanente.		Autores Investigación:			Vanegas, Andrés.		
		<b>Variable1</b>			Línea Base1:		
		Adherencia			ResultadoV1-1: 98,15% día 20 Ilustración C4-5		
					ResultadoV1-2: 84,49% día 210. Ilustración C4-6		
					ResultadoV1-3: 82,63% día 210. Ilustración C4-7		
					Caído balde 8899,22 kg – 5,9%		
<b>Variable2</b>		Línea Base2:			Matriz de arenisca cuarcillo lítica estable		
		Fertilidad			ResultadoV2-1: -34% var.med. en 210 días Anexo K		
					ResultadoV2-2: 1,70%		
					ResultadoV2-3: 34%		
Métodos: <b>Variable1. Adherencia.</b> Verificación primera (V1-1) por fotointerpretación manual a los 210 días sobre 432 micro celdas (12*36) superpuestas sobre el área aplicada. Verificación segunda (V1-2) por fotointerpretación con el software ARCGIS versión 10.5. Verificación tercera (V1-3) por adaptación del método de colectores usados por los departamentos de Transporte en Estados Unidos. <b>Variable2. Fertilidad.</b> Verificación primera (V2-1) por la medición en laboratorio en el momento de aplicación y su variación a 210 días de gradación de tamaño de partículas, contenido de C, N, relación C/N, curva de retención de humedad a diferentes presiones, pH y CIC. Verificación segunda (V2-2) germinación espontánea comparada de plántulas a 210 días de aplicación con la celda control. Verificación tercera (V2-3) germinación en laboratorio a 35 días de semillas de maíz con los dos sustratos comparados con la tierra comercial.		<b>Factor Limitante1</b>			Clima		
		<b>Factor Limitante2</b>			Material parental		
		<b>Factor Limitante3</b>			Usos del suelo		
					Reporte Estación UDCA		
					Depósitos de cenizas volcánicas		
					Urbano-Reserva Forestal.		
Fotografía C4-3 Línea Base		Indicador: Sustrato S1 permanece en promedio el 84,49% del área de los 15 m <sup>2</sup> de la celda, pese a la condición de alta pendiente. Tiene una gran capacidad de adherencia, pero no se evidencian hechos concretos de procesos de formación de suelos pese a la difícil observación por la inaccesibilidad. La germinación espontánea es muy incipiente.					
		Fotografías C4-4. Sustrato S1 en celda C4 a los 210 días.					
							

Ilustración 52. Parámetros de fertilidad del Sustrato S1 a 20 días y a 210 días.

Sustrato S1		pH	N	C	C/N	0,3 bar	1 bar	5 bar	CIC
c197	1. Sust S1 inicial	5,99	1,37	47,5	34,6	228,2	226	217,9	105,8
c199	3. Sust S1 celda C4 a 210 días	5,82	1,01	31,3	30,8	113,9	100,5	94,4	65

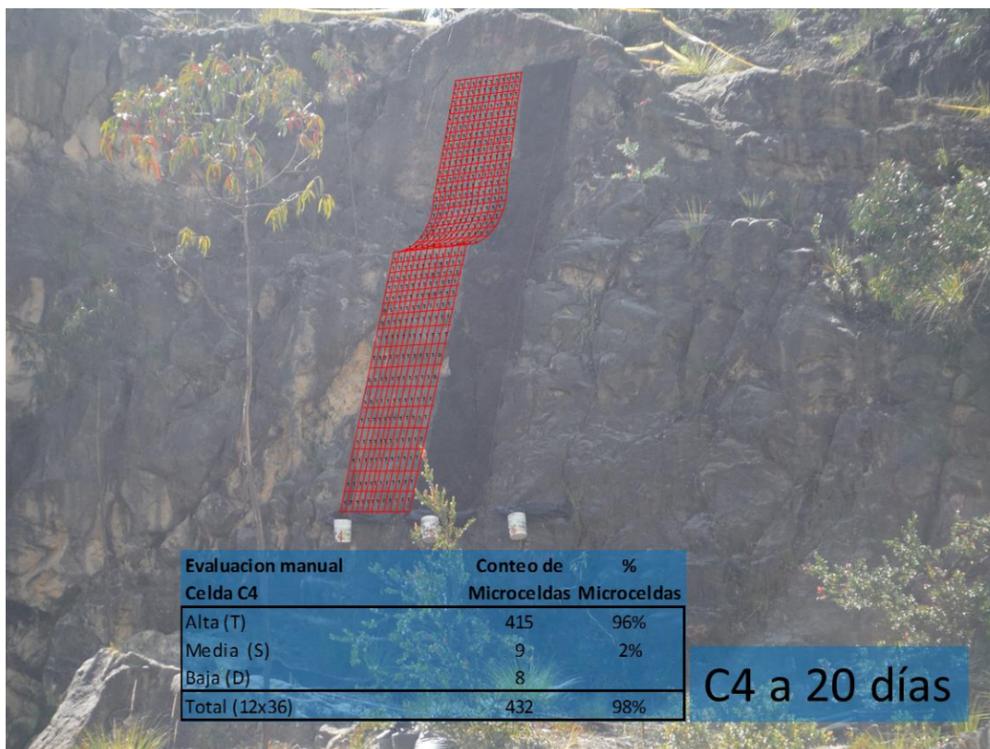
Fuente 73. Laboratorio Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Ilustración C4-V2-1-53. Estadística descriptiva de parámetros de fertilidad (pH, N, C, retHumProm y CIC.) a 210 días de uso según análisis de laboratorio de Aguas y Suelos.

Estadística descriptiva de variación de parámetros para S1 en el tiempo	Germinación y desarrollo de plantulas en condiciones de laboratorio por 35 días		
	S1	S2	Tierra
Media	0,0837148	0,14637143	0,08342837
Error típico	0,02628991	0,0289071	0,02373024
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación e	0,12541487	0,17102673	0,14027163
Varianza de l	0,0243378	0,02924672	0,01867613
Curtosis	0,42809006	-1,17300872	1,43109333
Coefficiente	1,32286333	0,60728009	1,53343349
Rango	0,5	0,31	0,5
Mínimo	0	0	0
Máximo	0,5	0,31	0,5
Suma	3,45	5,13	2,92
Cuenta	35	35	35
Mayor(1)	0,5	0,31	0,5
Menor(1)	0	0	0
Nivel de con	0,02338638	0,0237463	0,048285
35 Unidades	3,45	5,13	2,92
Plantulas	12	17	11
MedPond.	0,2875	0,30176471	0,28243433
MaxPesoPor	1,00623	1,03617647	9,23090309
Peso Lograd	34%	48%	31%

Fuente 74. El autor.

Ilustración C4-5. Evaluación manual de adherencia a 20 días en celda C3.



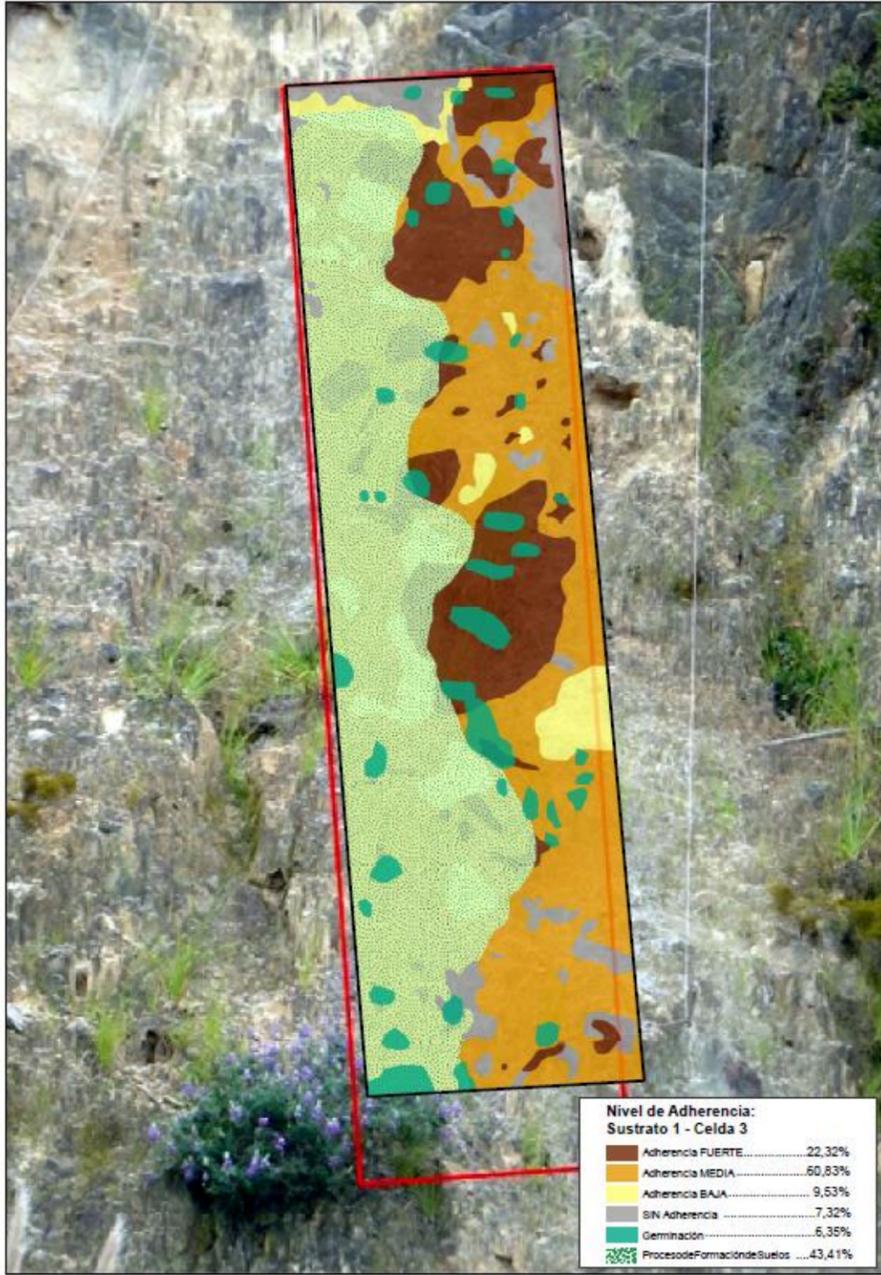
Fuente 75. El autor

Ilustración C4-6. Evaluación manual de adherencia a 210 días en celda C3



Fuente 76. El autor

Ilustración C4-7. Evaluación de adherencia, germinación espontánea y procesos de formación de suelos usando ArcGIS v 10.5



Fuente 77. Carlos Mora.

F-1. Ecología de la Restauración		Proyecto: PMAD-UNAL Andrés Vanegas 2017		Cantera Soratama Celda C5	
<b>Fase I – Rehabilitación de procesos de formación de Suelo</b>		Celda		Celda	
		1		2	
		N W Alt		N W Alt	
		4,7412 74,0131 2885,24		4,74121 74,01312 2884,67	
		3		4	
		N W Alt		N W Alt	
		4,74127 74,01311 2873,82		4,74125 74,01313 2874,54	
Introducción: Se realiza la aplicación del sustrato S2 en una celda de 1,5 mts x 10,50 en un talud de arenisca antiguo de la cantera Soratama, en el sector sur, con una pendiente de 72 grados y de más de 25 metros de altura, pero muy estable. Se requirieron operarios y equipos para trabajo en altura. Es menos estable que el sustrato S1 y la celda comparte lindero con la celda C4. La temporada de aplicación fue en verano.		Periodo Evaluado:		28/01/2017-29/01/2017	
		Autores Investigación:		Vanegas, Andrés.	
		Variable1		Línea Base1:	
		Adherencia		Resultado1:	
				Talud de alta pendiente y muy estable (fotografía C5-1).	
		Variable2		Línea Base2:	
		Fertilidad		Resultado2:	
				Adherencia 98,84% a los 20 días (ilustración C5-3).	
				Areniscas consolidadas	
Métodos: Una vez delimitada con hilos el área de la celda, se aplicó el sustrato S1 con la mano por parte de operarios especialistas de manejo en alturas de arriba hacia abajo, habiéndolos sobresaturado de agua previamente por cuanto el terreno estaba totalmente seco. Se aplicó moldeando cada geoforma para garantizar de que no quedara ningún espacio sin sustrato adherido dentro del paralelogramo irregular. Se adhirió menos que el S1 en la celda C4 y se desprendió mayor cantidad del sustrato en la temporada de lluvias del 2017.		Variable3		Línea Base 3:	
				Resultado3:	
				ANNOVA no hay diferencia en sustratos	
		Indicador: Sustrato S1 aplicado en un talud de alta pendiente por el sector sur de la cantera, con pendiente de 72 grados muy estable, no observaban muestras de erosión porque estaba cubierto de película oscura. Se logró una adherencia del sustrato S1 del 98,84% a los 20 días de aplicación, pese a haberlo puesto inicialmente en toda la superficie.			
FotografíaC5-1. Línea Base		Fotografías C5-2. Al terminar la aplicación en el Periodo Evaluado 29/01/2017			
					
<b>Observaciones:</b>					
<b>Fase II – Restauración de Suelos</b>		Parcela:		<b>C5</b>	
Introducción: Pese a la condición de alta pendiente se mantuvo muy estable hasta cuando empezaron las temporadas de lluvias un mes después de aplicado. El total del material aplicado para los 15 m <sup>2</sup> de la celda fue de más o menos 150 kilogramos y se llegó a desprender más o menos un 15% en la temporada invernal siguiente. En el verano posterior se produjeron resquebrajamientos que facilitaron la caída de algunos parches completos. Por la dificultad de observación no se ha podido detallar si se han generado procesos de formación de suelo (PFS) y tampoco se conoce el grosor del material que se encuentra remanente.		Periodo Evaluado:		28/01/2017-27/08/2017	
		Autores Investigación:		Vanegas, Andrés.	
		Variable1		Línea Base1:	
		Adherencia		ResultadoV1-1:	
				ResultadoV1-2:	
				ResultadoV1-3:	
		Variable2		Línea Base2:	
		Fertilidad		ResultadoV2-1:	
				ResultadoV2-2:	
				ResultadoV2-3:	
		Factor Limitante1		Clima	
		Factor Limitante2		Material parental	
		Factor Limitante3		Usos del suelo	
				98,15% día 20 Ilustración C5-5	
				84,49% día 210. Ilustración C5-6	
				82,63% día 210. Ilustración C5-7	
				Caído balde 8899,22 kg – 5,9%	
				Matriz de arenisca cuarcillo lítica estable	
				-34% variable medida en 210 días Anexo K	
				1,70%	
				34%	
				Reporte Estación UDCA	
				Depósitos de cenizas volcánicas	
				Urbano-Reserva Forestal.	
		Indicador: Sustrato S1 permanece en promedio el 84,49% del área de los 15 m2 de la celda, pese a la condición de alta pendiente. Tiene una gran capacidad de adherencia, pero no se evidencian hechos concretos de procesos de formación de suelos pese a la difícil observación por la inaccesibilidad. La germinación espontánea es muy incipiente.			
Fotografía C5-3 Línea Base		Fotografías C5-4. Sustrato S1 en celda C4 a los 210 días.			
					

Ilustración 54. Parámetros de fertilidad del Sustrato S2 a 20 días y a 210 días.

Sustrato S2		pH	N	C	C/N	0,3 bar	1 bar	5 bar	CIC	
c198	2. Sust S2 Inicial		6,92	2,56	37,2	14,5	105,1	92,1	94,7	87,9
c200	4. Sust S2 Celda C5 a 210 días		6,82	2,01	34,3	17,1	66,1	66,8	65,1	66,7

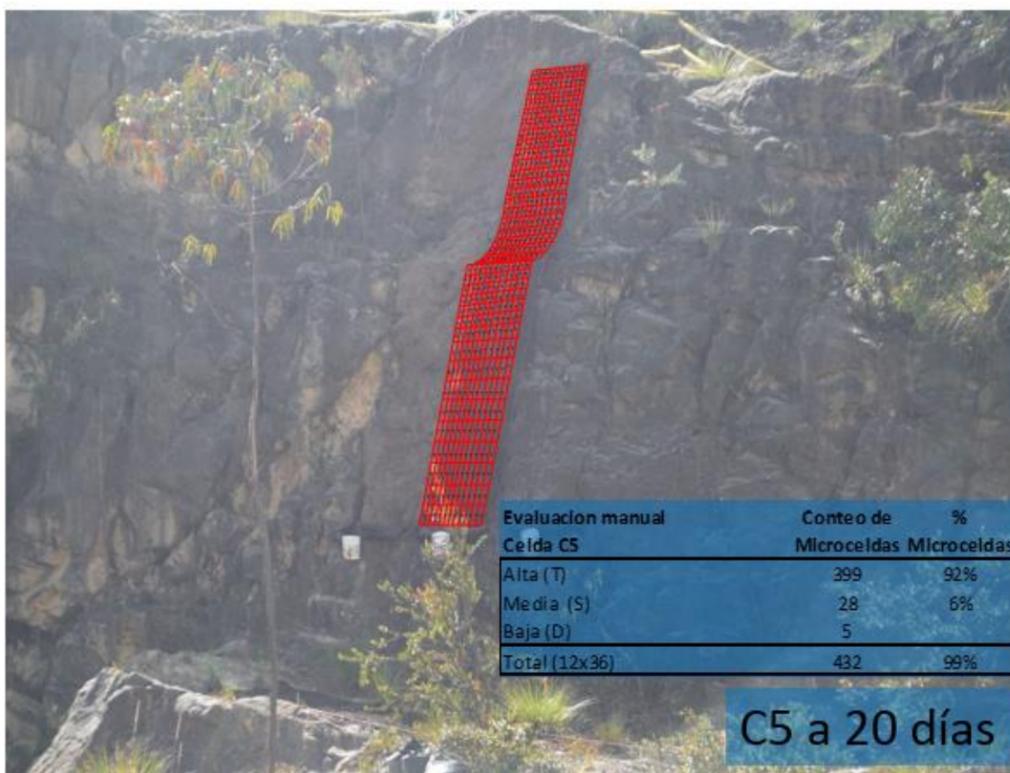
Fuente 78. Laboratorio Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Ilustración C5-V2-1-55. Estadística descriptiva de parámetros de fertilidad (pH, N, C, retHumProm y CIC.) a 210 días de uso según análisis de laboratorio de Aguas y Suelos.

Estadística descriptiva de variación de parámetros de S2 en el tiempo	Germinación y desarrollo de plántulas en condiciones de laboratorio por 35 días		
	S1	S2	Tierra
Media	0,08657148	0,14657143	0,0842857
Error típico	0,02626991	0,0289071	0,02871024
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación e	0,15542487	0,17102673	0,14027165
Varianza de l	0,02413378	0,02924672	0,01967613
Curtosis	0,42809006	-1,17300872	1,43109555
Coefficiente	1,32286355	0,80729505	1,55543549
Rango	0,5	0,51	0,5
Mínimo	0	0	0
Máximo	0,5	0,51	0,5
Suma	3,46	5,13	2,92
Cuenta	35	35	35
Mayor (1)	0,5	0,51	0,5
Menor (1)	0	0	0
Nivel de con	0,05336698	0,0587463	0,048185
35 Unidades	3,46	5,13	2,92
Plántulas	12	17	11
MedPond.	0,2875	0,30176471	0,28545455
MaxPesoPor	10,0625	10,5617647	9,29090909
Peso Lograd	34%	48%	31%

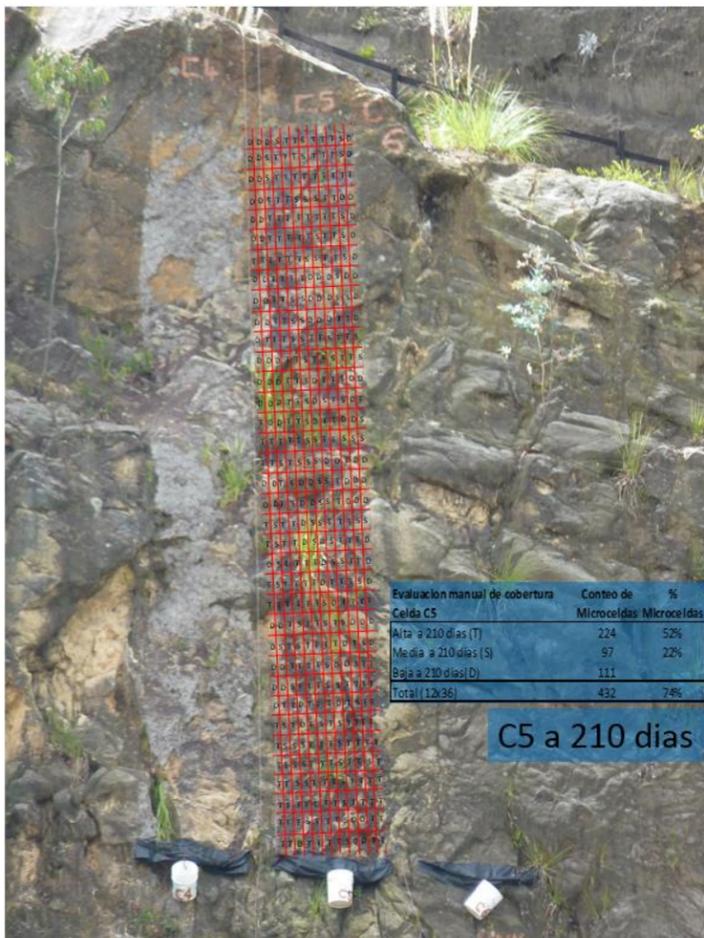
Fuente 79. El autor.

Ilustración C5-5. Evaluación manual de adherencia a 20 días en celda C3.



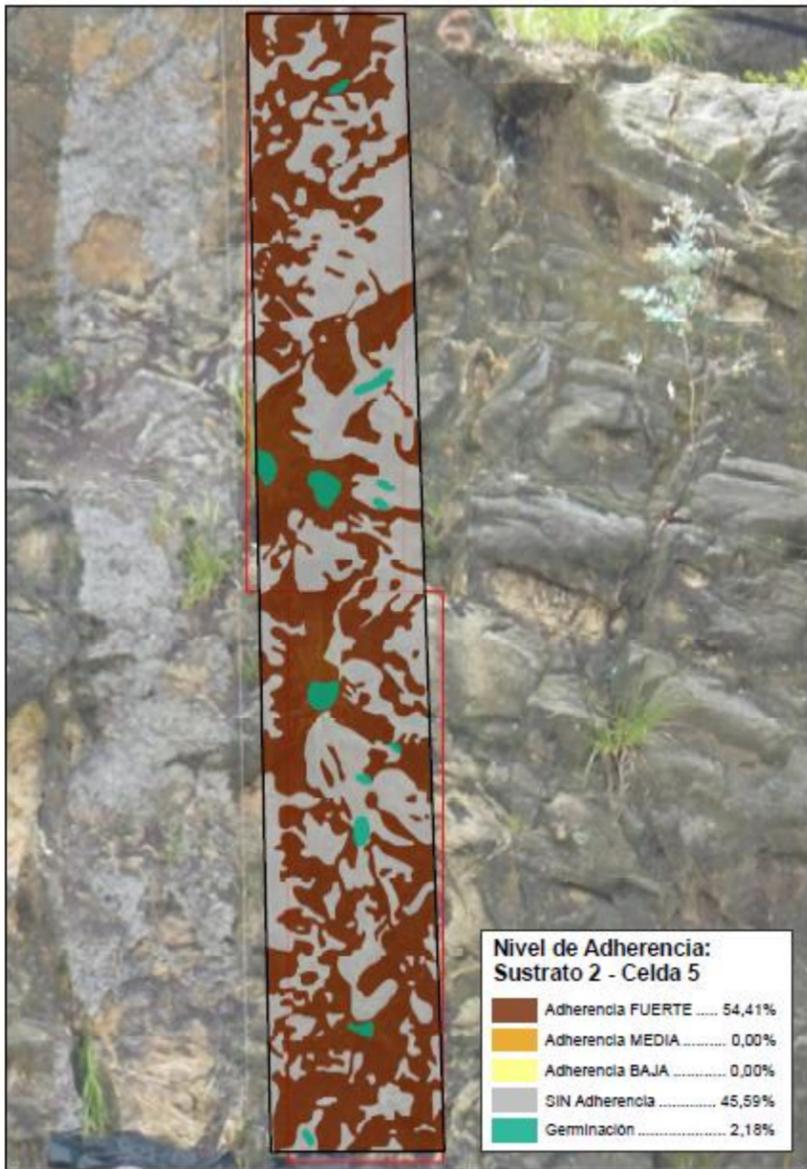
Fuente 80. El autor

Ilustración C5-6. Evaluación manual de adherencia a 210 días en celda C3



Fuente 81. El autor

Ilustración C5-7. Evaluación de adherencia, germinación espontánea y procesos de formación de suelos usando ArcGIS v 10.5



Fuente 82. Carlos Mora.

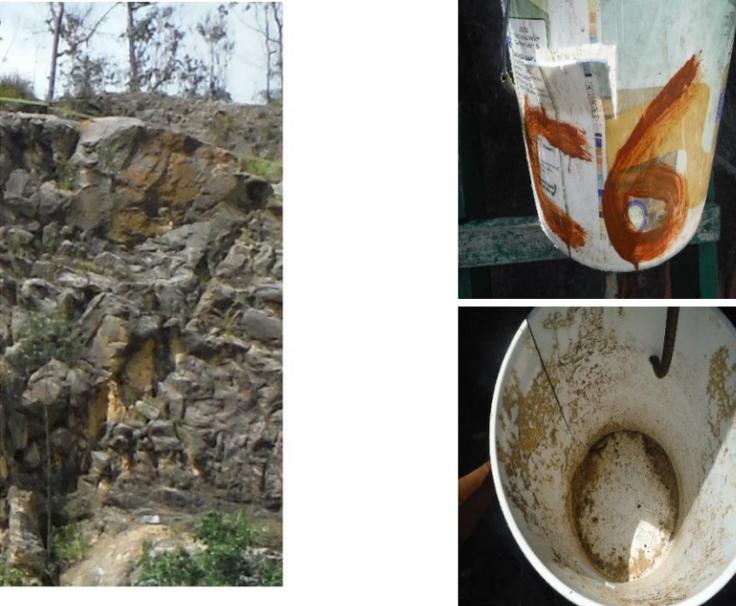
F-1. Ecología de la Restauración		Proyecto: PMAD-UNAL Andrés Vanegas 2017		Cantera Soratama Celda C6	
<b>Fase I – Control de Rehabilitación de procesos de formación de Suelo</b>		Celda c6		1 N W Alt 4,74127 74,01311 2873,82	
Introducción: Se delimita, señala y se le ubica colector de erosión a esta celda de 1,5 por 10 metros contigua a la celda C5 cuyo objeto es verificar la erosión en las mismas condiciones de las celdas C4 y C5, pero sin aplicación de sustrato. Igualmente cuenta con una pendiente de 72 grados y de más de 25 metros de altura de una roca de arenisca bastante estable. Se identifica que el proceso erosivo natural del talud y el cual se verifica en parte en lo colectado mes por mes en el balde, se incrementa en los meses de lluvia, pero se evidencia de mayor impacto la erosión eólica en las épocas secas, que no se ve representada por lo colectado en los baldes. Existe una película viva y en proceso de formación de suelo (microbiológica) de color oscuro y que protege la roca como en todo el sector.		Período Evaluado:		28/01/2017-29/01/2017	
Métodos: Una vez delimitada con hilos el área de la celda, se ubicó el colector y balde a esta celda para verificar el material erodado y que se colectó mes por mes hasta el séptimo o 210 días.		Autores Investigación:		Vanegas, Andrés.	
		<b>Variable1</b>		Línea Base1:	
		Adherencia		Resultado1:	
		<b>Variable2</b> Fertilidad		Línea Base2:	
				Resultado2:	
		<b>Variable3</b>		Línea Base 3:	
				Resultado3:	
		Indicador: Si bien es una celda con mucha estabilidad y que presenta signos de restauración pasiva por la cobertura de aparentes algas, líquenes y cianobacterias, más un proceso de formación de suelo se presentó un peso del material erodado de 2635,43 grs equivalente a 250 grs por metro cuadrado de la celda.			
FotografíaC6-1. Línea Base		Fotografías C6-2. Al terminar la aplicación en el Periodo Evaluado 29/01/2017			
					
<b>Observaciones: El material colectado en el balde presento presencia de los sustratos S1 y S2 quizás por su contigüidad, afectando la muestra.</b>					
<b>Fase II – Restauración de Suelos</b>		Parcela:		<b>C6</b>	
Introducción: La condición de alta pendiente del talud genera una condición de freno y retención de humedad básica para el sostenimiento de la película microbiológica, la acumulación de sedimentos en las rugosidades de la roca y el progresivo desarrollo de líquenes de mayor tamaño e inicio de surgimiento de vegetales. Todo esto consolida procesos de formación de suelos (PFS) que contrarresta y disminuye efectivamente la erosión como restauración pasiva. Se puede afirmar que no hay un fenómeno de deterioro de suelo por erosión, luego de más de 20 años de haber cesado las actividades mineras y tampoco fue reconfigurado morfológicamente. La erosión más significativa es la eólica que inicia su desarrollo en las épocas secas, producto de la afectación de la película microbiológica y una vez se produce se empiezan a generar parches de deterioro.		Período Evaluado:		28/01/2017-27/08/2017	
Métodos: <b>Variable1.</b> Verificación tercera (V1-3) por adaptación del método de colectores usados por los departamentos de Transporte en Estados Unidos. <b>Variable2. Fertilidad.</b> Verificación primera (V2-1) por la medición en laboratorio en el momento de aplicación y su variación a 210 días de gradación de tamaño de partículas, contenido de C, N, relación C/N, curva de retención de humedad a diferentes presiones, pH y CIC.		Autores Investigación:		Vanegas, Andrés.	
		<b>Variable1</b>		Línea Base1:	
		Adherencia		ResultadoV1-1: ResultadoV1-2: ResultadoV1-3:	
		<b>Variable2</b>		Línea Base2:	
		Fertilidad		ResultadoV2-1: ResultadoV2-2: ResultadoV2-3:	
		<b>Factor Limitante1</b>		Clima	
		<b>Factor Limitante2</b>		Material parental	
		<b>Factor Limitante3</b>		Usos del suelo	
		Indicador: La película microbiológica que cubre los taludes y que se desarrolla por albergue de humedad se nota que cobra vida cuando viene la época de lluvias y de manera opuesta cuando llega la temporada seca. Sin embargo, esta película ha demostrado en más de 20 años de inactividad sobre el talud que ha reducido la erosión y adelanta proceso de formación de suelos (ilustración C6-3) La germinación espontánea es muy incipiente.			
Fotografía C6-3 Línea Base		Fotografías C6-4. Celda C6 control de Celdas C4 y C5 a los 210 días.			
					

Ilustración C6-5. Parámetros de fertilidad del Sustrato S2 a 20 días y a 210 días.

		pH	N	C	C/N	0,3 bar	1 bar	5 bar	CIC	
c202	6. Control Celda C6 a 210 días		6,47	1,35	25,7	19,1	57,1	69,8	53,5	50,7

Fuente 83. Laboratorio Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Ilustración C6-6. Resumen de pesos colectados en balde del material erodado mes a mes de celdas C4,C5 y C6 (control).

**Material colectado Balde individual**

	S1	S2	Control C6
02/03/2017	746,92	1582,17	305,29
02/04/2017	2097,6	3950,1	841,4
05/05/2017	1849,75	2268,3	420,46
01/06/2017	624,17	463,45	152,53
30/06/2017	1287,88	1412,6	241,55
27/09/2017	2292,9	3786,2	674,2
	8899,22	13462,82	2635,43

Fuente 84. El autor.

Ilustración C6- 7. Celda C6 a los 210 días presentando fenómeno de restauración pasiva con musgos, líquenes según los nichos de humedad de la roca.



Fuente 85. El autor.

F-1. Ecología de la Restauración		Proyecto: PMAD-UNAL Andrés Vanegas 2017			Cantera Soratama Celda C7		
<b>Fase I – Rehabilitación de procesos de formación de Suelo</b>		Celda c7	1 N W Alt 4,74129 74,01311 2868,69	2 N W Alt 4,74129 74,01311 2867,35	3 N W Alt 4,74129 74,01317 2868,74	4 N W Alt 4,74129 74,01316 2868,7	
Introducción: Se realiza la aplicación del sustrato S2 en una celda de 6 mts x 2 en un banco de arenisca con pendiente de 30° frente al talud de aplicación de los sustratos. El sector presenta fenómeno de escorrentía superficial lo cual está provocando una erosión que deteriora el área. Se aplicó el sustrato a mano tratando de moldear la geoforma con exactitud para no permitir vacíos de cobertura. La temporada de aplicación fue en verano.		Periodo Evaluado:			28/01/2017-29/01/2017		
Métodos: Una vez delimitada con hilos el área de la celda, se aplicó el sustrato S2 con la mano habiéndolos sobresaturado de agua previamente por cuanto el terreno estaba totalmente seco. Se aplicó moldeando cada geoforma para garantizar de que no quedara ningún espacio sin sustrato adherido dentro del paralelogramo irregular. Se desprendió mayor cantidad del sustrato en la temporada de lluvias del 2017 por cuanto la escorrentía acumula toda la fuerza hídrica de la zona.		Autores Investigación:			Vanegas, Andrés.		
		<b>Variable1</b>		Línea Base1:		Banco de media pendiente con proceso erosivo (fotografía C7-1).	
		Adherencia		Resultado1:		Adherencia 97,92% a los 20 días (ilustración C7-3).	
		<b>Variable2</b> Fertilidad		Línea Base2:		Areniscas desagregadas	
				Resultado2:		ANNOVA no hay diferencia en sustratos	
		<b>Variable3</b>		Línea Base 3:			
				Resultado3:			
		Indicador: Sustrato S2 aplicado en un talud de alta pendiente por el sector sur de la cantera, con pendiente de 72 grados muy estable, no observaban muestras de erosión porque estaba cubierto de película oscura. Se logró una adherencia del sustrato S2 del 97,92% a los 20 días de aplicación, pese a haberlo puesto inicialmente en toda la superficie.					
FotografíaC7-1. Línea Base		Fotografías C7-2. Al terminar la aplicación en el Periodo Evaluado 29/01/2017					
							
<b>Observaciones:</b>							
<b>Fase II – Restauración de Suelos</b>		Parcela:			<b>C7</b>		
Introducción: En esta ceda que tan sólo tiene pendiente de 30° el sustrato S2 logró una adherencia superior a la alcanzada en la celda C5 y el material erodado y suelto de areniscas sirvió para hacer una capa estable. Con el tiempo se empezaron a mostrar los caminos respectivos que toma la escorrentía superficial de este sector y coincidentemente se observó que estos correspondían a los sectores donde el sustrato empezaba a hacerse más claro o amarillento, producto no de la caída del sustrato sino del cubrimiento del mismo por parte de material erodado que armaba una capa típica de horizonte E, para que el horizonte inicial O se transformara en un horizonte B como proceso de formación de suelos (PFS).		Periodo Evaluado:			28/01/2017-27/08/2017		
Métodos: <b>Variable1. Adherencia.</b> Verificación primera (V1-1) por fotointerpretación manual a los 210 días sobre 432 micro celdas (12*36) superpuestas sobre el área aplicada. Verificación segunda (V1-2) por fotointerpretación con el software ARCGIS versión 10.5. Verificación tercera (V1-3) por adaptación del método de colectores usados por los departamentos de Transporte en Estados Unidos. <b>Variable2. Fertilidad.</b> Verificación primera (V2-1) por la medición en laboratorio en el momento de aplicación y su variación a 210 días de gradación de tamaño de partículas, contenido de C, N, relación C/N, curva de retención de humedad a diferentes presiones, pH y CIC. Verificación segunda (V2-2) germinación espontánea comparada de plántulas a 210 días de aplicación con la celda control. Verificación tercera (V2-3) germinación en laboratorio a 35 días de semillas de maíz con los dos sustratos comparados con la tierra comercial.		Autores Investigación:			Vanegas, Andrés.		
		<b>Variable1</b>		Línea Base1:		97,92% día 20 Ilustración C7-5	
		Adherencia		ResultadoV1-1: ResultadoV1-2: ResultadoV1-3:		94,44% día 210. Ilustración C7-6 96,80% día 210. Ilustración C7-7 N/R	
		<b>Variable2</b>		Línea Base2:		Matriz de arenisca desagregada y erosionada	
		Fertilidad		ResultadoV2-1: ResultadoV2-2: ResultadoV2-3:		-16,59% variable medida 210 días Anexo K. 5,39% (ilustración C7-7) 49% (ilustración C7-V2-3)	
		<b>Factor Limitante1</b>		Clima		Reporte Estación UDCA	
		<b>Factor Limitante2</b>		Material parental		Depósitos de cenizas volcánicas	
		<b>Factor Limitante3</b>		Usos del suelo		Urbano-Reserva Forestal.	
		Indicador: Sustrato S2 permanece en promedio el 95.62% del área de los 12 m2 de la celda a los 210 días, aunque no se sabe el grosor final de la capa. Se produce una buena adherencia por la pendiente media y por las piedras sueltas que estaban en el terreno erodado pre-aplicación. Se dio un proceso de formación de suelos en un 32,31% del área aplicada a los 210 días. La germinación espontánea es incipiente.					
Fotografía C7-3 Línea Base		Fotografías C7-4. Sustrato S2 en celda C7 a los 210 días.					
							

Ilustración 56. Parámetros de fertilidad del Sustrato S2 a 20 días y a 210 días.

		pH	N	C	C/N	0,3 bar	1 bar	5 bar	CIC
c198	2. Sust S2 Inicial	6,92	2,56	37,2	14,5	105,1	92,1	94,7	87,9
c200	4. Sust S2 Celda C6 a 210 días	6,82	2,01	34,3	17,1	66,1	66,8	65,1	66,7

Fuente 86. Laboratorio Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Ilustración C7-V2-3. Estadística descriptiva de parámetros de fertilidad (pH, N, C, retHumProm y CIC.) a 210 días de uso según análisis de laboratorio de Aguas y Suelos.

Estadística descriptiva de variación de parámetros de S2 en el tiempo	Germinación y desarrollo de plántulas en condiciones de laboratorio por 35 días		
	S1	S2	Tierra
Media	0,08657148	0,34657143	0,08942857
Error típico	0,02626991	0,0289071	0,02873024
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación e	0,15540487	0,17101673	0,14027165
Varianza de	0,02415378	0,02924672	0,01967613
Curtosis	0,42809006	-1,17300872	1,43108655
Coefficiente	1,32286335	0,60729505	1,53543549
Rango	0,5	0,51	0,5
Mínimo	0	0	0
Máximo	0,5	0,51	0,5
Suma	3,45	5,13	2,92
Cuenta	35	35	35
Mayor(1)	0,5	0,51	0,5
Menor(1)	0	0	0
Nivel de con	0,05338588	0,0587463	0,048185
35 Unidades	3,45	5,13	2,92
Plantulas	12	17	11
MedPond.	0,2875	0,30178471	0,28545455
MaxPesoPor	10,0625	10,5617647	9,29090909
Peso Lograd	34%	49%	31%

Fuente 87. El autor.

Ilustración C7-5. Evaluación manual de adherencia a 20 días en celda C3.



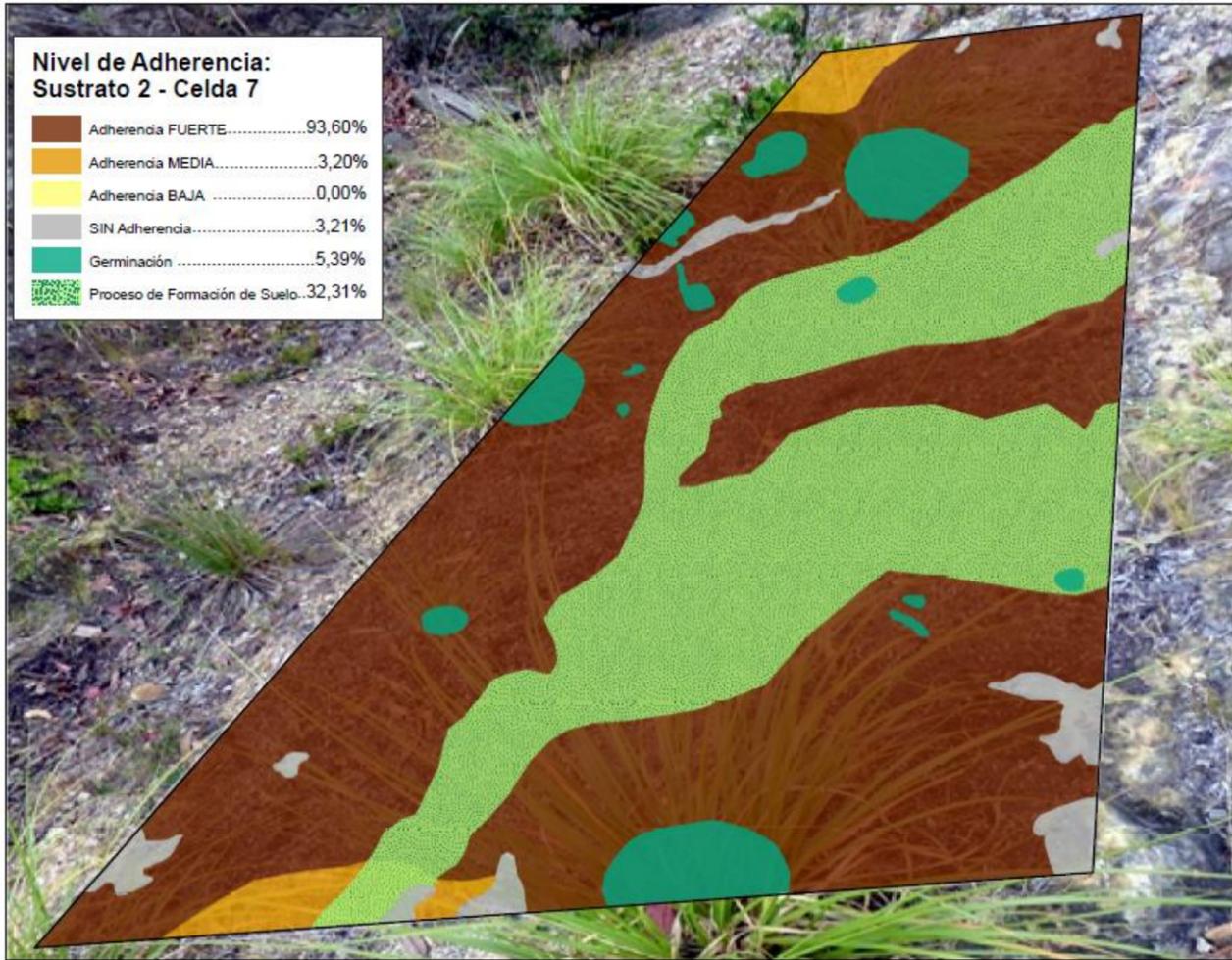
Fuente 88. El autor

Ilustración C7-6. Evaluación manual de adherencia a 210 días en celda C3



Fuente 89. El autor

Ilustración C7-7. Evaluación de adherencia, germinación espontánea y procesos de formación de suelos usando ArcGIS v 10.5



Fuente 90.El autor y Carlos A. Mora.

Ilustración 57. Procesos de Formación de suelos al 2 de febrero de 2018 (1 año de la aplicación).



Fuente 91. El autor.

F-1. Ecología de la Restauración		Proyecto: PMAD-UNAL Andrés Vanegas 2017		Cantera Soratama Celda C8																																								
<b>Fase I – Rehabilitación de procesos de formación de Suelo</b>		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="3">1</th> <th colspan="3">2</th> <th colspan="3">3</th> <th colspan="3">4</th> </tr> <tr> <th>Celda</th> <th>N</th> <th>W</th> <th>Alt</th> <th>N</th> <th>W</th> <th>Alt</th> <th>N</th> <th>W</th> <th>Alt</th> <th>N</th> <th>W</th> <th>Alt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>c8</td> <td>4,74125</td> <td>74,01316</td> <td>2870,36</td> <td>4,74123</td> <td>74,01317</td> <td>2869,73</td> <td>4,74118</td> <td>74,01319</td> <td>2868,62</td> <td>4,74132</td> <td>74,0132</td> <td>2863,15</td> </tr> </tbody> </table>			1			2			3			4			Celda	N	W	Alt	c8	4,74125	74,01316	2870,36	4,74123	74,01317	2869,73	4,74118	74,01319	2868,62	4,74132	74,0132	2863,15											
	1			2			3			4																																		
Celda	N	W	Alt	N	W	Alt	N	W	Alt	N	W	Alt																																
c8	4,74125	74,01316	2870,36	4,74123	74,01317	2869,73	4,74118	74,01319	2868,62	4,74132	74,0132	2863,15																																
<p>Introducción: Se verifica la situación inicial de haber procesos de formación de suelos a partir de detritus de hojarasca de eucalipto, así como del hecho fortuito de haber dejados abandonados tres postes de eucalipto. A partir de la humedad relativa proporcionada por la condición micro climática generada por el vértice entre el talud de alta pendiente y el banco de media pendiente, en donde se acumulan las hojas de un árbol de eucalipto se produce un proceso de descomposición de la hojarasca por hongos lignocelulósicos primarios y se da inicio a la cadena trófica. El desarrollo vegetativo de los hongos se sostuvo estable durante los siete meses. En varios nichos del talud en esta celda se observan procesos de formación de suelos a partir de líquenes y otros microorganismos.</p> <p>Métodos: El área de esta celda no fue delimitada con hilos por corresponder a un espacio de circulación pública. Se efectuó una revisión periódica de los troncos de eucalipto que en su mezcla con hojarasca daban el hábitat de incubación de los hongos que se manifestaban por su apariencia filamentososa.</p>		<p>Periodo Evaluado: 28/01/2017-29/01/2017</p> <p>Autores Investigación: Vanegas, Andrés.</p>																																										
		<p><b>Variable1</b></p> <p>Adherencia</p>		<p>Línea Base1:</p> <p>Resultado1:</p>		<p>Talud de alta pendiente conjugado con uno de media muy estable (fotografía C8-1). Alta Adherencia detritus de eucalipto (ilustración C8-3). Detritus de eucalipto</p>																																						
		<p><b>Variable2</b></p> <p>Fertilidad</p>		<p>Línea Base2:</p> <p>Resultado2:</p>																																								
		<p><b>Variable3</b></p>		<p>Línea Base 3:</p> <p>Resultado3:</p>																																								
		<p>Indicador: Es el sitio con mayor desarrollo de procesos de formación de suelos de las celdas evaluadas, con un alto control de la erosión y desarrollo permanente del micelio filamentososo de hongos que descompone la hojarasca y tronco de eucalipto.</p>																																										
FotografíaC8-1. Línea Base		Fotografías C8-2. Al terminar la aplicación de sustratos en otras celdas en el Periodo Evaluado 29/01/2017																																										
																																												
<b>Observaciones:</b>		Parcela:		<b>C6</b>																																								
<b>Fase II – Restauración de Suelos</b>		Periodo Evaluado:		28/01/2017-27/08/2017																																								
<p>Introducción: La restauración de suelos y restauración ecológica se está produciendo primero con el detritus de eucalipto el cual se está integrando perfectamente con edafofauna como babosas, lombrices, escarabajos, entre otros. Adicionalmente la cobertura natural que incluye líquenes de varios tipos (crustáceo, foliosos y fruticosos), musgos y lycopodios, que crecen en los nichos de la roca de arenisca están en un estado de avance que ya es visible (más de 2 cm de grosor) generando proceso de formación de suelo.</p> <p>Métodos: Si bien es evidente el trabajo de control de erosión de los dos tipos de proceso de formación de suelos está produciendo, tanto el de detritus de eucalipto en el nivel bajo o de media pendiente y el de los líquenes, musgos y película microbiológica, no se conoce si se produce su integración y hacia que trayectoria ecológica.</p>		<p>Autores Investigación: Vanegas, Andrés.</p>																																										
		<p><b>Variable1</b></p> <p>Adherencia</p>		<p>Línea Base1:</p> <p>ResultadoV1-1: ResultadoV1-2: ResultadoV1-3:</p>																																								
		<p><b>Variable2</b></p> <p>Fertilidad</p>		<p>Línea Base2:</p> <p>ResultadoV2-1: ResultadoV2-2: ResultadoV2-3:</p>		<p>Matriz de arenisca cuarcillo lítica estable y enriquecida con detritus.</p>																																						
		<p><b>Factor Limitante1</b></p>		<p>Clima</p>		<p>Reporte Estación UDCA</p>																																						
		<p><b>Factor Limitante2</b></p>		<p>Material parental</p>		<p>Depósitos de cenizas volcánicas</p>																																						
		<p><b>Factor Limitante3</b></p>		<p>Usos del suelo</p>		<p>Urbano-Reserva Forestal.</p>																																						
		<p>Indicador: El proceso de descomposición durante los siete meses mostró un declive del hongo lignocelósico primario y un avance hacia secundarios y la edafofauna, lo cual corresponde con el proceso de formación de suelos. La germinación espontánea de plantas superiores es muy incipiente.</p>																																										
Fotografía C8-3 Línea Base		Fotografías C8-4. Celda C8 a los 210 días.																																										
																																												

Ilustración C8-5. Microrestauración y formación de suelos en celda C8.



**Potenciadores de  
Procesos de Formación de Suelos:**

1. Bloques de eucalipto de alta velocidad de degradación (imágenes 1,2 y 3)
2. Nichos de humedad y vértice de taludes (imágenes 4 y 5)
3. Hojarasca de eucalipto que protege al suelo de erosión y luz. (1 y 6)



**Barreras a  
Procesos de Formación de Suelos:**

1. Ignorancia de edafogénesis de detritus de eucalipto (imágenes 1, 2, 3 y 6).
2. Política en contra de especies exóticas
3. Desconocimiento de la dinámica de musgos, líquenes y otros. (imágenes 4 y 5).



Fuente 92. El autor.

<b>F-1. Ecología de la Restauración</b>		Proyecto: PMAD-UNAL Andrés Vanegas 2017		Cantera Soratama <b>Celda C9</b>																																							
<b>Fase I – Rehabilitación de procesos de formación de Suelo</b>		<table border="1"> <tr> <th colspan="3">1</th> <th colspan="3">2</th> <th colspan="3">3</th> <th colspan="3">4</th> </tr> <tr> <th>Celda</th> <th>N</th> <th>W</th> <th>Alt</th> <th>N</th> <th>W</th> <th>Alt</th> <th>N</th> <th>W</th> <th>Alt</th> <th>N</th> <th>W</th> <th>Alt</th> </tr> <tr> <td>c9</td> <td>4,74116</td> <td>74,01309</td> <td>2887,33</td> <td>4,74115</td> <td>74,01309</td> <td>2886,94</td> <td>4,74113</td> <td>74,0131</td> <td>2888,9</td> <td>4,74114</td> <td>74,0131</td> <td>2883,13</td> </tr> </table>		1			2			3			4			Celda	N	W	Alt	c9	4,74116	74,01309	2887,33	4,74115	74,01309	2886,94	4,74113	74,0131	2888,9	4,74114	74,0131	2883,13											
1			2			3			4																																		
Celda	N	W	Alt	N	W	Alt	N	W	Alt	N	W	Alt																															
c9	4,74116	74,01309	2887,33	4,74115	74,01309	2886,94	4,74113	74,0131	2888,9	4,74114	74,0131	2883,13																															
Introducción: Se realiza la aplicación del sustrato S1 en una celda de 1,5 mts x 1,5 mts en un talud de suelo original que puede obedecer a los depósitos volcánicos sobre sedimentos descritos por el IGAC (2015), para esta zona y que constituyen los relictos de la trayectoria predisturbio de suelos de los últimos siglos en la zona. La pendiente del talud de aplicación es de 80° y de 2 metros de altura constituido en el borde sur de la cantera y por donde ahora se construyó un sendero peatonal. La temporada de aplicación fue en verano.		Periodo Evaluado:		28/01/2017-29/01/2017																																							
		Autores Investigación:		Vanegas, Andrés.																																							
		<b>Variable1</b>		Línea Base1:																																							
		Adherencia		Resultado1:																																							
				Talud de alta pendiente y con suelo (fotografía C9-1).																																							
		<b>Variable2</b>		Línea Base2:																																							
		Fertilidad		Resultado2:																																							
				Adherencia 92,59% a los 20 días (ilustración C9-3).																																							
				Andisoles																																							
		<b>Variable3</b>		Línea Base 3:																																							
				Resultado3:																																							
				ANNOVA no hay diferencia en sustratos																																							
Métodos: Una vez delimitada con hilos el área de la celda, se aplicó el sustrato S1 con la mano habiéndolos sobresaturado de agua previamente por cuanto el terreno estaba totalmente seco y la matriz de suelo diferente de la de arenisca era mucho más absorbente de agua. Se aplicó moldeando cada geoforma para garantizar de que no quedara ningún espacio sin sustrato adherido dentro del paralelogramo irregular.		Indicador: Sustrato S1 aplicado en un talud de alta pendiente por el sector sur de la cantera, con pendiente de 80° medianamente estable y que hace parte de los suelos andisoles originales de la región. Se logró una adherencia del sustrato S1 del 92,59% a los 20 días de aplicación, pese a haberlo puesto inicialmente en toda la superficie, quizás por la diferencia de material parental y por haber formado costra al aplicarlo.																																									
FotografíaC9-1. Línea Base en el sector.		Fotografías C9-2. Al terminar la aplicación en el Periodo Evaluado 29/01/2017																																									

<b>Observaciones:</b>		Parcela:		<b>C9</b>	
<b>Fase II – Restauración de Suelos</b>		Periodo Evaluado:		28/01/2017-27/08/2017	
Introducción: Pese a la condición de alta pendiente se mantuvo muy estable aun habiendo empezado las temporadas de lluvias un mes después de aplicado. El factor que más afectó esta celda fue la deshidratación y resquebrajamiento. Es importante resaltar que la diferencia de matriz de arenisca propia de las otras celdas y de suelo en esta, incidió para su desprendimiento progresivo. En esta celda el grosor del material inicial aplicado si se mantuvo durante los siete meses y esto puede estar asociado al hecho de haber armado una costra que no se integró al igual que en otras celdas. No se observó claramente proceso de formación de suelos y la germinación espontánea es prácticamente inexistente. Puede haber incidido la circulación peatonal por el borde de la celda y su accesibilidad.		Autores Investigación:		Vanegas, Andrés.	
		<b>Variable1</b>		Línea Base1:	
		Adherencia		ResultadoV1-1:	
				ResultadoV1-2:	
				ResultadoV1-3:	
				92,59% día 20 Ilustración C9-5	
				65,97% día 210. Ilustración C9-6	
				N/R	
				N/R	
		<b>Variable2</b>		Línea Base2:	
				Integración a Suelos andisoles conservados	
		<b>Variable3</b>		Línea Base 3:	
				ResultadoV2-1:	
				ResultadoV2-2:	
				ResultadoV2-3:	
				-34% variable medida a 210 días Anexo K.	
				N/R	
				34%	
		<b>Factor Limitante1</b>		Clima	
		<b>Factor Limitante2</b>		Material parental	
		<b>Factor Limitante3</b>		Usos del suelo	
				Reporte Estación UDCA	
				Depósitos de cenizas volcánicas	
				Urbano-Reserva Forestal.	
Métodos: <b>Variable1. Adherencia.</b> Verificación primera (V1-1) por fotointerpretación manual a los 210 días sobre 432 micro celdas (12*36) superpuestas sobre el área aplicada. Verificación segunda (V1-2) por fotointerpretación con el software ARCGIS versión 10.5. Verificación tercera (V1-3) por adaptación del método de colectores usados por los departamentos de Transporte en Estados Unidos. <b>Variable2. Fertilidad.</b> Verificación primera (V2-1) por la medición en laboratorio en el momento de aplicación y su variación a 210 días de gradación de tamaño de partículas, contenido de C, N, relación C/N, curva de retención de humedad a diferentes presiones, pH y CIC. Verificación segunda (V2-2) germinación espontánea comparada de plántulas a 210 días de aplicación con la celda control. Verificación tercera (V2-3) germinación en laboratorio a 35 días de semillas de maíz con los dos sustratos comparados con la tierra comercial.		Indicador: Sustrato S1 permanece en promedio el 65,97% del área de los 2,25 m2 de la celda, pese a la condición de alta pendiente y puede tener tendencia a seguirse cayendo quizás por la condición de material parental. No se evidencian hechos concretos de procesos de formación de suelos. La germinación espontánea es casi inexistente.			
Fotografía C9-3 Línea Base		Fotografías C9-4. Sustrato S1 en celda C9 a los 210 días.			



Ilustración 58. Parámetros de fertilidad del Sustrato S1 a 20 días y a 210 días.

Sustrato S1		pH	N	C	C/N	0,3 bar	1 bar	5 bar	CIC
c197	1. Sust S1 inicial	5,99	1,37	47,5	34,6	228,2	226	217,9	105,8
c199	3. Sust S1 celda C4 a 210 días	5,82	1,01	31,3	30,8	113,9	100,5	94,4	65

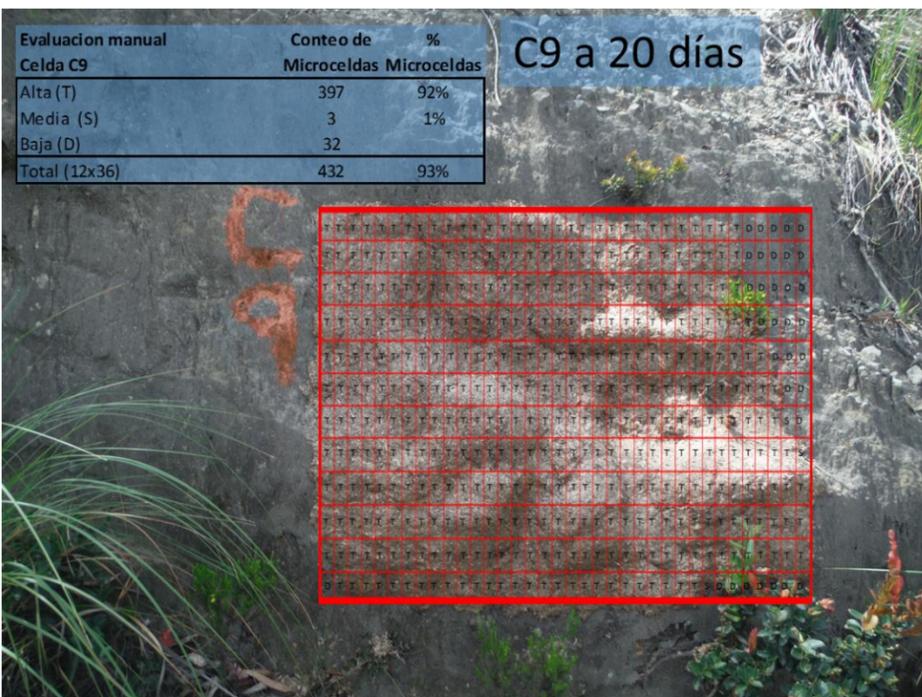
Fuente 93. Laboratorio Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Ilustración 59.C9-V2-2. Estadística descriptiva de parámetros de fertilidad (pH, N, C, retHumProm y CIC.) a 210 días de uso según análisis de laboratorio de Aguas y Suelos.

Estadística descriptiva de variación de parámetros para S1 en el tiempo	Germinación y desarrollo de plantas en condiciones de laboratorio por 35 días						
	S1		S2		Tierra		
Media	-0,34382834	Media	0,09857143	Media	0,14657143	Media	0,08342857
Error típico	0,06254803	Error típico	0,02626991	Error típico	0,0289071	Error típico	0,02371024
Mediana	-0,34382834	Mediana	0	Mediana	0	Mediana	0
Moda	#N/A	Moda	0	Moda	0	Moda	0
Desviación e	0,18764408	Desviación e	0,15541487	Desviación e	0,17101673	Desviación e	0,14027165
Varianza de l	0,0352103	Varianza de l	0,02415378	Varianza de l	0,02924672	Varianza de l	0,01967613
Curtosis	-0,67696444	Curtosis	0,42809006	Curtosis	-1,17300372	Curtosis	1,43109555
Coficiente	0,49254768	Coficiente	1,32286355	Coficiente	0,60729505	Coficiente	1,55543549
Rango	0,53839312	Rango	0,5	Rango	0,51	Rango	0,5
Mínimo	-0,56677375	Mínimo	0	Mínimo	0	Mínimo	0
Máximo	-0,02838063	Máximo	0,5	Máximo	0,51	Máximo	0,5
Suma	-3,0944551	Suma	3,45	Suma	5,13	Suma	2,92
Cuenta	9	Cuenta	35	Cuenta	35	Cuenta	35
		Mayor (1)	0,5	Mayor (1)	0,51	Mayor (1)	0,5
		Menor(1)	0	Menor(1)	0	Menor(1)	0
		Nivel de con	0,05338688	Nivel de con	0,0587463	Nivel de con	0,048185
		35 Unidades	3,45	35 Unidades	5,13	35 Unidades	2,92
		Plantulas	12	Plantulas	17	Plantulas	11
		MedPond.	0,2875	MedPond.	0,30176471	MedPond.	0,26545455
		MaxPesoPor	10,0625	MaxPesoPor	10,5617647	MaxPesoPor	9,29090909
		Peso Lograd	34%	Peso Lograd	49%	Peso Lograd	31%

Fuente 94. El autor.

Ilustración C9-5. Evaluación manual de adherencia a 20 días en celda C3.



Fuente 95. El autor

Ilustración C9-6. Evaluación manual de adherencia a 210 días en celda C3



Fuente 96. El autor

### J. Anexo. ANNOVA con el software PAST entre S1 y Tierra, así como S2 con tierra a 20 días

ANNOVA con PAST v. 3.18

Prueba de Dunn con significancia de Bonferroni

Prueba de Tukey

	One-way ANOVA	Residuals	Tukey's pairwise	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney pairwise	Dunn's post hoc		One-way ANOVA	Residuals	Tukey's pairwise	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney pairwise	Dunn's post hoc	
Comparacion de S1 nuevo (20 dias) con Tierra	Raw p values, sequential Bonferroni significance							Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal. Significant comparisons are pink.						Copenhaver-Holland 1988
		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab
	pH		0,4054	0,4054	0,09609	0,09609	1	pH		1	0,9876	0,2054	0,4252	1
	N	0,4054		0,09609	0,01255	0,01255	0,4054	N	0,1965		0,9698	0,1758	0,3689	1
	C	0,4054	0,09609		0,4054	0,4054	0,4054	C	0,8408	1,037		0,3909	0,7147	0,9861
	RetHum	0,09609	0,01255	0,4054		1	0,09609	RetHum	3,816	4,013	2,976		0,9783	0,202
	CIC	0,09609	0,01255	0,4054	1		0,09609	CIC	2,858	3,055	2,018	0,9581		0,4189
GermLab	1	0,4054	0,4054	0,09609	0,09609		GermLab	0,02126	0,1752	0,8621	3,838	2,88		
Comparacion de S2 nuevo (20 dias) con Tierra	Raw p values, sequential Bonferroni significance							Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal. Significant comparisons are pink.						Copenhaver-Holland 1988
		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab
	pH		0,4054	0,4054	0,1272	0,07142	1	pH		0,9985	0,8157	0,05067	0,02068	1
	N	0,4054		0,09609	0,0184	0,008418	0,4054	N	0,5255		0,6316	0,03442	0,01455	0,9997
	C	0,4054	0,09609		0,4881	0,3317	0,4054	C	1,722	2,247		0,194	0,07254	0,7632
	RetHum	0,1272	0,0184	0,4881		0,7815	0,1272	RetHum	5,611	6,136	3,889		0,9375	0,04505
	CIC	0,07142	0,008418	0,3317	0,7815		0,07142	CIC	6,86	7,386	5,139	1,25		0,01858
GermLab	1	0,4054	0,4054	0,1272	0,07142		GermLab	0,1578	0,3677	1,88	5,768	7,018		
Comparacion de S1 y S2 nuevos (20 dias)	Raw p values, sequential Bonferroni significance							Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal. Significant comparisons are pink.						Copenhaver-Holland 1988
		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab
	pH		0,5791	0,2673	0,0522	0,0522	0,5791	pH		1	0,7707	0,04712	0,1039	1
	N	0,5791		0,09609	0,01255	0,01255	0,2673	N	0,2324		0,6886	0,03969	0,08658	0,9999
	C	0,2673	0,09609		0,4054	0,4054	0,5791	C	1,858	2,09		0,2	0,4368	0,7892
	RetHum	0,0522	0,01255	0,4054		1	0,1655	RetHum	5,708	5,94	3,85		0,9707	0,04908
	CIC	0,0522	0,01255	0,4054	1		0,1655	CIC	4,678	4,91	2,82	1,03		0,1084
GermLab	0,5791	0,2673	0,5791	0,1655	0,1655		GermLab	0,0546	0,287	1,803	5,653	4,623		
Comparacion de S1 a 210 dias con Tierra	Raw p values, sequential Bonferroni significance							Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal. Significant comparisons are pink.						Copenhaver-Holland 1988
		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab
	pH		0,2673	0,5791	0,1655	0,1655	0,5791	pH		0,996	0,8078	0,01428	0,02167	0,9998
	N	0,2673		0,09609	0,01255	0,01255	0,5791	N	0,6513		0,5777	0,009435	0,01401	0,9999
	C	0,5791	0,09609		0,4054	0,4054	0,2673	C	1,746	2,397		0,04853	0,0779	0,6901
	RetHum	0,1655	0,01255	0,4054		1	0,0522	RetHum	7,415	8,066	5,668		0,9968	0,01147
	CIC	0,1655	0,01255	0,4054	1		0,0522	CIC	6,793	7,444	5,046	0,622		0,01721
GermLab	0,5791	0,5791	0,2673	0,0522	0,0522		GermLab	0,3398	0,3114	2,086	7,754	7,132		
Comparacion de S2 a 210 dias con Tierra	Raw p values, sequential Bonferroni significance							Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal. Significant comparisons are pink.						Copenhaver-Holland 1988
		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab
	pH		0,2673	0,5791	0,2673	0,09609	0,5791	pH		0,98	0,4756	0,0113	0,003347	0,9994
	N	0,2673		0,09609	0,0265	0,005546	0,5791	N	0,9395		0,2366	0,006363	0,002056	0,9987
	C	0,5791	0,09609		0,5791	0,2673	0,2673	C	2,697	3,637		0,07582	0,01685	0,3497
	RetHum	0,2673	0,0265	0,5791		0,5791	0,09609	RetHum	7,779	8,718	5,081		0,6912	0,008641
	CIC	0,09609	0,005546	0,2673	0,5791		0,0265	CIC	9,862	10,8	7,164	2,083		0,002667
GermLab	0,5791	0,5791	0,2673	0,09609	0,0265		GermLab	0,4297	0,5099	3,127	8,208	10,29		
Comparacion de S1 y S2 nuevos (20 dias)	Raw p values, sequential Bonferroni significance							Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal. Significant comparisons are pink.						Copenhaver-Holland 1988
		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab		pH	N	C	RetHum	CIC	GermLab
	pH		0,2673	0,5791	0,1655	0,1655	0,5791	pH		0,9931	0,1701	0,005051	0,005058	0,9999
	N	0,2673		0,09609	0,01255	0,01255	0,5791	N	0,7365		0,09505	0,003361	0,003365	0,9995
	C	0,5791	0,09609		0,4054	0,4054	0,2673	C	4,054	4,791		0,07691	0,07706	0,133
	RetHum	0,1655	0,01255	0,4054		1	0,0522	RetHum	9,117	9,854	5,063		1	0,004241
	CIC	0,1655	0,01255	0,4054	1		0,0522	CIC	9,115	9,851	5,06	0,002552		0,004247
GermLab	0,5791	0,5791	0,2673	0,0522	0,0522		GermLab	0,3108	0,4257	4,365	9,428	9,426		

Estabilidad Estructural Ampliada

ANNOVA

Krustall-Wallis,

p(same)

A 20 dias	S1	S2	Tierra
S1			0,5218
S2	0,7488		0,4233
S1,S2,Tierra			0,6918

## K. Anexo. Datos estadísticos de adherencia de sustratos S1 y S2

Evalmanual S1a 210 días	
Media	0,809027778
Error típico	0,050728257
Mediana	0,844907407
Moda	0,844907407
Desviación e	0,101456514
Varianza de l	0,010293424
Curtosis	3,375650533
Coeficiente d	-1,76804292
Rango	0,226851852
Mínimo	0,659722222
Máximo	0,886574074
Suma	3,236111111
Cuenta	4
Mayor (1)	0,886574074
Menor(1)	0,659722222
Nivel de conf	0,161439954

Evalmanual S2 a 210 días	
Media	0,84375
Error típico	0,100694444
Mediana	0,84375
Moda	#N/A
Desviación	0,142403449
Varianza de	0,020278742
Curtosis	#¡DIV/0!
Coeficiente	#¡DIV/0!
Rango	0,201388889
Mínimo	0,743055556
Máximo	0,944444444
Suma	1,6875
Cuenta	2
Mayor (1)	0,944444444
Menor(1)	0,743055556
Nivel de co	1,279444227

Medición de Cobertura de dos sustratos de origen biotecnológico de la Prueba en Soratama 2017

Codigo Celda Area	Tipo Sustrato	a 20 días	a 210 días	ARCGIS	Caido	Promedio
C1	S1 y S2	98,61%	88,66%	95%	9,95%	91,83%
C3	S1	96,53%	84,49%	92,68%	12,04%	88,59%
C4	S1	98,15%	84,49%	81,63%	13,66%	83,06%
C5	S2	98,84%	74,31%	54,41%	24,54%	64,36%
C7	S2	97,92%	94,44%	96,80%	3,47%	95,62%
C9	S1	92,59%	65,97%	66%	26,62%	65,99%
						81,57%

Evalmanual S1 y S2 a 20 días	
Media	0,971064815
Error típico	0,009614148
Mediana	0,980324074
Moda	#N/A
Desviación e	0,023549757
Varianza de l	0,000554591
Curtosis	3,560904572
Coeficiente d	-1,88041915
Rango	0,0625
Mínimo	0,925925926
Máximo	0,988425926
Suma	5,826388889
Cuenta	6

Evalmanual S1 y S2 a 210 días	
Media	0,820601852
Error típico	0,041939053
Mediana	0,844907407
Moda	0,844907407
Desviación	0,10272928
Varianza de	0,010553305
Curtosis	-0,210420721
Coeficiente	-0,668282241
Rango	0,284722222
Mínimo	0,659722222
Máximo	0,944444444
Suma	4,923611111
Cuenta	6

Eval ARCGIS S1 y S2 a 210 días	
Media	0,810866667
Error típico	0,071050272
Mediana	0,87155
Moda	#N/A
Desviación	0,174036912
Varianza de	0,030288847
Curtosis	-1,101596274
Coeficiente	-0,813069877
Rango	0,4239
Mínimo	0,5441
Máximo	0,968
Suma	4,8652
Cuenta	6

Kruskal-Wallis test for equal medians

$H(ch^2)$ :	0,4286
$H_c$ (tie corrected):	0,4286
$p$ (same):	0,5127

There is no significant difference between sample medians

Test for equal means

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Between groups:	0,00334648	1	0,00334648	0,1557	0,7133
Within groups:	0,0859626	4	0,0214907		Permutation p (n=99999)
Total:	0,0893091	5			0,599

Components of variance (only for random effects):

Var(group):	-0,00604806	Var(error):	0,0214907	ICC:	-0,391648
-------------	-------------	-------------	-----------	------	-----------

$\omega^2$ :

Levene's test for homogeneity of variance, from means	$p$ (same):	0,389
Levene's test, from medians	$p$ (same):	0,7863

Welch F test in the case of unequal variances:  $F=0,1557, df=3,554, p=0,7156$

Evalmanual S1 A 20 DIAS	
Media	0,964699074
Error típico	0,013674235
Mediana	0,97337963
Moda	#N/A
Desviación e	0,02734847
Varianza de l	0,000747939
Curtosis	1,692179104
Coeficiente d	-1,42576668
Rango	0,060185185
Mínimo	0,925925926
Máximo	0,986111111
Suma	3,858796296
Cuenta	4

Evalmanual S2 A 20 DIAS	
Media	0,983796296
Error típico	0,00462963
Mediana	0,983796296
Moda	#N/A
Desviación	0,006547285
Varianza de	4,28669E-05
Curtosis	#¡DIV/0!
Coeficiente	#¡DIV/0!
Rango	0,009259259
Mínimo	0,979166667
Máximo	0,988425926
Suma	1,967592593
Cuenta	2