

ANÁLISIS COSTO– EFECTIVIDAD DE LA REVEGETALIZACIÓN, UNA ESTRATEGIA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA APLICADA EN MINERÍA DE CANTERA EN BOGOTA D.C. CASO DE ESTUDIO: ANAFALCO

Alejandra Ruiz Medina

Correo electrónico: ruiz.alejandra@javeriana.edu.co

Estudiante de Ecología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

RESUMEN

La minería de cantera en la ciudad de Bogotá ha generado diferentes impactos, que causa afectaciones negativas al medio ambiente, generando la adopción de la Restauración Ecológica como estrategia para recuperar las áreas degradadas. Sin embargo, dentro de esta disciplina, no se realiza de manera sistemática el análisis de las actividades son más efectivas a menor costo. Por esta razón, en este trabajo se propone así un análisis costo-efectividad de las estrategias implementadas en la recuperación de minería de canteras, en el caso de ANAFALCO (Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo) teniendo en cuenta sus objetivos planteados. Se hizo una revisión sobre la normatividad nacional y local para conocer a que está comprometida la asociación legalmente. Se seleccionaron tres empresas que realizan acciones y reportaban costos. Se realizaron observaciones en campo sobre la vegetación (cobertura del suelo y estratos verticales) y se hallaron características fisicoquímicas del suelo (humedad, materia orgánica, densidad aparente, densidad real y color) en los espacios destinados a la recuperación. Se analizaron imágenes satelitales para hallar el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) y se aplicó una encuesta a las empresas escogidas. Se encontró que la asociación formula una única estrategia para la recuperación de espacios (revegetalización) para todas las empresas. Las empresas no realizan monitoreo de las acciones, además, no existen metas, ni indicadores específicos a recuperar en determinado tiempo. En los espacios de las empresas, los resultados de suelo y vegetación mostraron valores intermedios de recuperación y valores de EVI bajos, resaltando que la empresa Ladrillera Los Cristales ha aumentado la vegetación en los años evaluados (p -valor=0,01178), mostrando mayor efectividad y una mejor relación en cuento a los costos

reportados, distinta a las otras dos empresas cuya inversión no ha sido reflejada en la recuperación de espacios.

Palabras clave: Minería de cantera, restauración ecológica, análisis costo-efectividad, gestión ambiental, vegetación, suelo.

IMPLICACIONES

- La falta de indicadores y monitoreo afecta la evaluación de las estrategias en la recuperación de espacios y su grado de avance.
- Los análisis de costo-efectividad brindan conocimiento para el desarrollo de estrategias que mejor se adapten a las condiciones del terreno y su recuperación.
- La normatividad ambiental colombiana debe exigir la inclusión de indicadores y métricas sobre los atributos que se deseen recuperar, para ser aplicadas por las empresas.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la minería es una de las actividades económicas más importantes para el abastecimiento de materias primas, las cuales son usadas en diferentes ámbitos que brindan desarrollo, progreso y mejora la calidad de vida del ser humano (Montes de Oca-Risco & Ulloa-Carcassés 2013). Las actividades mineras han tenido un alto crecimiento a través del tiempo, principalmente por las demandas a nivel nacional e internacional, jugando un rol importante en la economía del país (Martínez Ortiz 2014). La minería de cantera, es decir, la explotación de materiales pétreos usados en el sector industrial y ornamental, ha incrementado su importancia por ser considerada el mecanismo de producción de material insustituible y por las demandas que ha tenido en sectores de construcción de vías, estructuras de contención, instalaciones vitales, espacios públicos, vivienda, edificaciones, entre otros ([CAR] 2009). En Bogotá se puede evidenciar la explotación de estos materiales en los alrededores de la ciudad, especialmente en el borde sur-oriental y en el borde nororiental, cuya demanda se ha mantenido a causa de las necesidades generadas por el crecimiento de

la población y dinámicas económicas en relación a la industria de construcción (Aguilar et al. 2006).

El desarrollo de esta actividad, a pesar de generar respuesta positiva en la economía local, por la generación de empleo y por elevar el nivel de vida (Hernández Jatib et al. 2014), afecta negativamente diferentes componentes de los ecosistemas. Un componente ampliamente impactado es el suelo, debido a que para la extracción de los materiales es necesaria su remoción, creando riesgos como deslizamientos e inestabilidad que afectan los alrededores (Montes de Oca-Risco & Ulloa-Carcassés 2013). Por otro lado, la vegetación y la fauna son ampliamente impactadas, además de las afectaciones asociadas a la alteración en los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas, generando cambios en la calidad del aire y microclima. Por último, la explotación de minería de cantera causa deterioro urbano por la percepción del paisaje impacta el componente social y cultural (Barrera-Cataño et al. 2009).

En dicho contexto, ha surgido la preocupación de tecnificar la explotación de estos materiales para que sean sostenibles con el medio ambiente junto con la creación de herramientas legales que hagan frente a la problemática ambiental, procurando la protección y recuperación de los ecosistemas.

Marco legal ambiental para la extracción de minería de cantera

El gobierno nacional ha venido conformando el marco legal donde se establecen los compromisos, deberes y derechos que tienen las empresas en el ámbito financiero, ambiental y de seguridad, con el apoyo de diferentes instituciones que se han conformado a través del tiempo. La legislación minera en Colombia se ha desarrollado desde el siglo XIX, donde se estableció quienes podían realizar actividades mineras y la influencia del Estado. En el año 1988, con el Decreto 2655 (antiguo Código de Minas), se definió que el objetivo principal era fomentar la exploración en todo el territorio y responder a las demandas nacionales e internacionales, creando oportunidades de empleo y, así como fomentar la inversión de esta industria (Unidad de Planeación Minero Energética - Ministerio de Minas y Energía 1988). En el Decreto 2655, el gobierno nacional fue visto como un agente de doble rol, ya que era un agente regulador y administrador de los recursos, a la vez que era un agente económico y productivo.

La Constitución Política de 1991 estableció los límites, alcances y obligaciones que cualquier actividad económica debe cumplir en el ámbito social, ambiental y cultural. Así, fue necesario preparar una ley que estableciera los principios y la institucionalidad desde el ámbito ambiental, que estuviera encaminada al desarrollo sostenible. Es decir, la explotación racional de los recursos, por lo que se expide la Ley 99 de 1993 donde también se crea el Ministerio del Medio Ambiente (Guhl Nannetti & Leyva 2015).

De igual forma, se vio la necesidad de reformar el Código de Minas para que se alineara con la Constitución actual. De tal forma, el gobierno en su momento conformó el nuevo código de minero, aprobado por el Congreso mediante la Ley 685 de 2001 (Peña et al. 2014). En el actual Código de Minas, se regulan las relaciones entre el Gobierno y aquellos ejecutores de las obras, además de disponer las normas para que las actividades de explotación se realicen en armonía con el ambiente (Peña et al. 2014). Esta ley define las zonas prohibidas para explotar recursos naturales no renovables, las cuales deben delimitarse con ayuda de la autoridad ambiental. También aborda el derecho a explotar mediante un título minero, exigiendo la presentación de una licencia ambiental aprobada para la fase de explotación, por parte de las Corporaciones Regionales o la Autoridad Nacional Ambiental de Licencias para realizar la actividad minera. Dentro de esta debe incluirse la adecuada evaluación de impactos ambientales (EIA), que permite conocer aquellos impactos posibles a generar por la actividad minera; el programa de trabajos y obras (PTO), el cual contiene las características del terreno para la explotación, planes de explotación y manejo de los materiales durante todo el tiempo de desarrollo del proyecto, el manejo ambiental y el cierre de la mina; por último, el Plan de Manejo Ambiental, el cual tiene en detalle todas actividades de mitigación, compensación o prevención de los impactos causados por el desarrollo del proyecto (Peña et al. 2014) .

Además de esta ley, en el sector de minería de cantera se han expedido diferentes resoluciones y decretos, tanto en el marco minero como en el marco ambiental, que dictan las actividades que deben realizar y cuales no para mantener un equilibrio con el ambiente y con la población cercana al lugar de explotación. Como es el caso del Ordenamiento Territorial dentro de cada municipio o distrito, donde pueden expedir la reglamentación sobre el uso del suelo teniendo en cuenta lo estipulado a nivel nacional. En el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bogotá, se organiza la actividad minera con el establecimiento de los Parques Minero

Industriales (PMI), para suplir las demandas de materiales usados en obras de infraestructura dentro de la ciudad, cumpliendo con el manejo adecuado de los recursos naturales (Luna Hernández 2015). En el año 2003, se expidió el Decreto Distrital 469, el cual actualiza el POT determinando que las zonas de los parques mineros estarán supervisadas por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital y el Departamento Administrativo del Medio Ambiente, en conjunto con la Corporación Regional (Aguilar et al. 2006).

La formulación de resoluciones y decretos que establecen cumplimientos ambientales más recientes, se han dado desde la Resolución 0627 del 2006 donde establece la normatividad respecto a las emisiones de ruido. La Resolución 610 del 2010, establece la norma para las emisiones atmosféricas o calidad de aire; el Decreto 631 del 2015 reglamenta los vertimientos permitidos en aguas superficiales (Portela Aguirre & Unibio Piñeros 2017). A nivel nacional, se han generado diferentes planes de gestión como el Plan Nacional de Ordenamiento Minero, el Plan Nacional de Restauración y el Plan de Gestión Regional que influye sobre la actividad minera. Dichos planes resaltan la importancia de los ecosistemas para su cuidado y protección, enfatizando aquellos que han sido alterados por las actividades de exploración y extracción; se establece que los ecosistemas alterados deben ser restaurados o recuperados, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las poblaciones humanas futuras y contribuir a la resiliencia de los sistemas ecológicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2015).

Dentro del contexto de gestión ambiental, el cual abarca el manejo sobre los aspectos ambientales que son afectados por las actividades humanas, este tiene retos ambiciosos en busca de elaborar o contribuir en la creación de modelos generales que solucionen los conflictos ambientales, sociales, económicos y empresariales. En los últimos años se ha fortalecido el concepto de responsabilidad social empresarial para favorecer el cumplimiento de estándares, en cuanto a derechos humanos, seguridad social y laboral, incluyendo además la lucha del cambio climático y el desarrollo sostenible (Martínez Ortiz 2014). Este concepto se ha ligado con la Ley 99 de 1993, ya que menciona la importancia de integrar los aspectos social, económico y ambiental del desarrollo, frente a la satisfacción de las necesidades humanas actuales, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades teniendo en cuenta el medio ambiente (Ibarra Padilla 1992).

Este concepto surge en respuesta a las necesidades y exigencias de la sociedad con los mercados y sus actividades, donde las empresas deben actuar en beneficio de sus trabajadores, socios, medio ambiente, comunidad y gobierno (Alberto & Lucero 2017), el cual ha sido adoptado por Colombia desde la creación de la Norma Internacional SA 8000 en 1997. Con dicha norma se buscó mejorar la gestión ambiental y rendimiento de los recursos naturales, aumentando la lealtad de empleados, clientes y actores sobre los que la empresa influye (Alberto & Lucero 2017). Además, este concepto busca fortalecer a las empresas en el entendimiento de las consecuencias del uso no sustentable de los recursos, ya que esto lleva a acelerar el agotamiento de los recursos e incrementa los costos de la operación de las empresas. También se hace énfasis en la necesidad de la recuperación de los espacios afectados, que de otra forma arriesgan el bienestar de las siguientes generaciones y la reputación de las empresas (Martínez Ortiz 2014).

Compromiso ambiental

Como parte de esta responsabilidad y dentro de la normatividad minera se establece que las empresas tienen el deber de restaurar y/o recuperar el terreno afectado por la explotación de los materiales mediante diferentes acciones, una de ellas la compensación ambiental, ya que esta busca retribuir y resarcir a la comunidad y biodiversidad por los efectos negativos; en conjunto de la restauración ecológica (Lozano Rodriguez et al. 2018), las cuales se establecen dentro del Plan de Manejo Ambiental, el cual debe ser aprobado por la entidad correspondiente, ya sea la Agencia Nacional de Licencias Ambientales o la Corporación Autónoma Regional. Aquí es importante resaltar que, aunque se busca la restauración del terrero, se tiene como objetivo principal la recuperación o rehabilitación ecológica del área degradada, ya que se busca restaurar el potencial ambiental para un uso o usos determinados por un objetivo económico de ofrecer servicios ambientales. Las limitaciones para la implementación de la restauración ecológica propiamente dicha, es decir, retornar el sistema a las condiciones pre-disturbio (SER,2014), se deben a que en la extracción de los materiales de construcción se modifica geomorfológicamente las características del terreno generando costos elevados, siendo poco práctico y efectivo para la implementación adecuada de la restauración ([CAR] 2009).

Teniendo en cuenta que la implementación de la restauración ecológica como estrategia para readecuar áreas degradadas genera costos, que varían dependiendo de las condiciones del sitio y de las técnicas usadas, varios investigadores de este proceso no están familiarizados con los costos que genera esta actividad y sus implicaciones, creando vacíos en los análisis de los resultados y la efectividad de recuperación (Holl & Howarth 2000). Situación similar ocurre con aquellos investigadores que están familiarizados con los costos, ya que no suelen comparar las técnicas de experimentos, impidiendo relacionar el costo y la efectividad de la restauración; lo cual facilitaría la toma de decisiones para optimizar los resultados y evitar el gasto de dinero en acciones poco efectivas (Kimball et al. 2015).

En un proyecto de minería de cantera, u otro tipo de minería que busca realizar sus prácticas de manera sostenible, se deben tener identificados y definidos todos aquellos aspectos sobre los que impactaría la actividad en primera instancia. Además, de realizar una evaluación de los aspectos ambientales que se afectarían, el grado de afectación, y establecer el uso a futuro de la zona, para definir sus objetivos y metas a corto, mediano y largo plazo. Una vez definidos los impactos se procede a diseñar el plan de recuperación ambiental, mitigación, compensación y prevención, según lo establecido en la Ley 99 principalmente, en ayuda de varias ramas de conocimiento (ingeniería, ecología, ciencias sociales) para abarcar de manera precisa la recuperación ambiental. Una vez aprobado el plan, se procede a explotar los recursos naturales siguiendo una metodología por etapas ordenadas que permitan la recuperación a futuro (Proaño & Duarte 2018). A lo largo de la explotación y de las estrategias escogidas para la recuperación ambiental, se debe contar con un monitoreo adecuado de todo lo realizado evaluando los avances, retos o dificultades que se vayan experimentado (Proaño & Duarte 2018), que se reúnen en informes que permitan evidenciar el cumplimiento de los objetivos cada determinado tiempo. Adicionalmente, debe existir una evaluación, con el fin de revisar si se realizaron las acciones adecuadas, el tiempo de su implementación y si se lograron los objetivos planteados, con el fin de generar información base de las estrategias, técnicas y costos que mejoren la toma de decisiones a futuro (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Pero existen vacíos de información frente a si los impactos generados en el medio ambiente son totalmente mitigables y se pueden recuperar los espacios o si las compensaciones que se

están desarrollando son del todo adecuadas. Adicionalmente, es fundamental conocer si existe el monitoreo de las actividades, las técnicas implementadas, los costos de implementación y su duración, por parte de la empresa y por parte del gobierno mediante los diferentes representantes, para aportar al mejoramiento de la gestión ambiental y precisar acciones efectivas en la recuperación ambiental sin afectar los otros aspectos de la minería (Galvis 2012).

Esto se puede lograr mediante la medición de la eficiencia y eficacia del proyecto, ya que permite conocer aquellas actividades realizadas, ejecutadas y monitoreadas que dieron mejores resultados en un periodo de tiempo no tan extenso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). El tipo de análisis económico que permite conocer la eficiencia en relación a sus costos es el *análisis costo-efectividad* cuyo objetivo es evaluar y comparar los datos para identificar la alternativa más efectiva a menor costo posible (Barnsbee et al. 2018; Galvis 2012)

Por tanto, surge como propósito la realización de un análisis costo-efectividad, teniendo en cuenta los objetos y objetivos de restauración ecológica establecidos dentro las áreas afectadas por minería de materiales de construcción, en el caso especial de la asociación ANAFALCO. Se busca producir información y herramientas útiles para la toma de decisiones que garantice que los gastos de recuperar sean lo más exitoso posibles para recuperar la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos, contribuyendo a que esta actividad siga desarrollándose de manera sostenible y responsable.

ÁREA DE ESTUDIO.

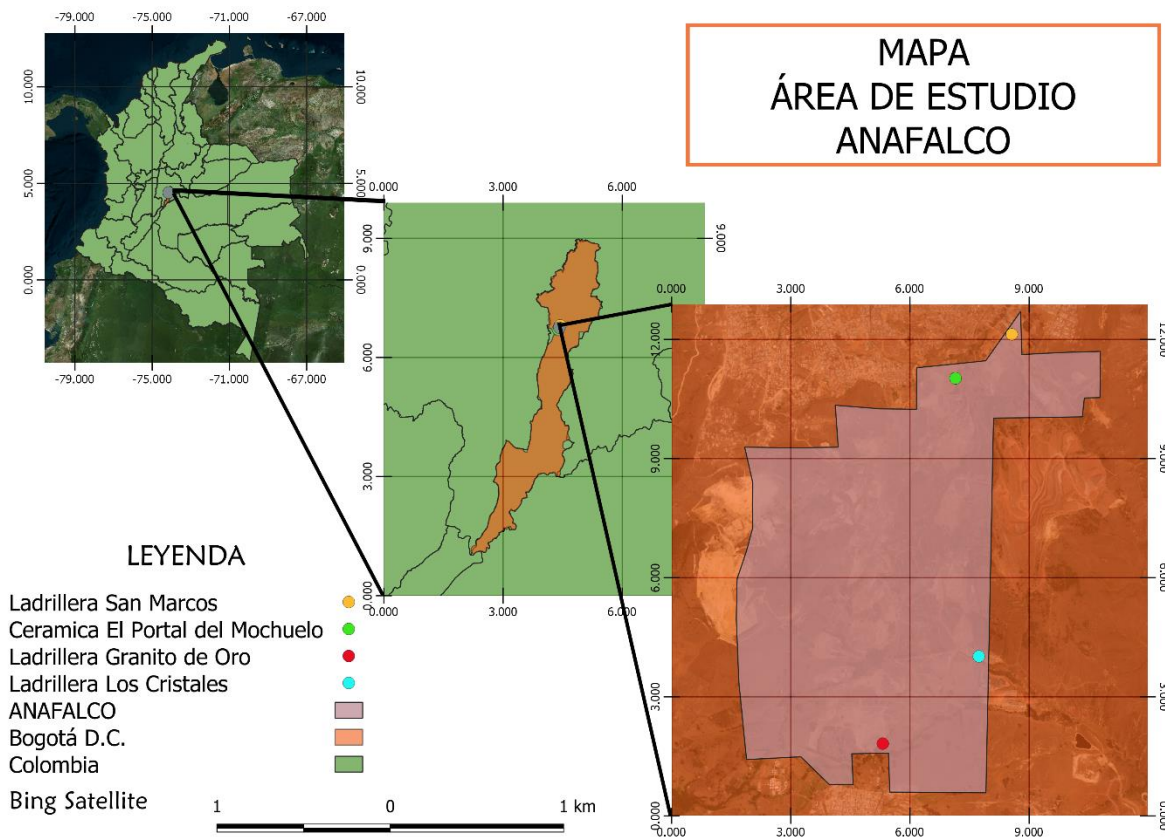


Figura 1. Mapa Zona de estudio.

La Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo de Colombia (ANAFALCO) se encuentra ubicada en la vereda Mochuelo Bajo, en la localidad de Ciudad Bolívar al suroriente de la ciudad de Bogotá (Figura 1) (Avellaneda & Mesa 2006). Fue creada en el año 1991 por un grupo de microempresarios para defender el derecho de explotar materiales de construcción en la zona, reuniendo un total de 32 empresas en una extensión total de 303 Ha (Moros, s.f.).

Se encuentra dentro del Parque Minero Industrial del Mochuelo, la cual tiene una extensión que va desde la vereda Mochuelo Alto, en Ciudad Bolívar, hasta el camino de Pasquilla, en el municipio de Soacha. Reúne zonas tanto urbanas como rurales y se caracteriza por encontrarse la industria extractiva de arcillas con una extensión total de 303 Ha (Moros, s.f.).

La zona de la asociación cuenta con una temperatura que oscila entre 8° y 15° C, siendo un clima frío y cuya precipitación es 600 a 1.000 mm anuales, con un régimen de lluvia monomodal donde los valores más altos se presentan a mitad de año; a diferencia con la zona

norte y zona más oriental, cuyo régimen es bimodal, con los valores más altos en abril- mayo y octubre- noviembre (Secretaría Distrital de Ambiente, s.f.). El área de estudio se localiza en la cuenca media del Río Tunjuelo (Duque Ramírez 2016), la cual recoge entre un 50 y un 60% en total de las aguas de la zona, además se encuentra la Quebrada Trompeta y ciertas corrientes intermitentes o quebradas de oportunidad que transportan grandes volúmenes de agua de escorrentía en época de invierno, la cual es aprovechable por las empresas en temporada de sequía (Avellaneda & Mesa 2006).

Vegetación.

La vegetación natural de esta área pertenece a Bosque Alto Andino, Bosque Bajo Andino, subpáramo y páramo (Secretaría Distrital de Planeación 2007) y una región semiárida de menor tamaño (Martínez 2007). En general se pueden observar especies de diferentes estratos; en los rastrojos se pueden encontrar arbustos de tinto (*Cestrum mutisii* Willd. ex Roem. & Schult), arbolitos de tomatillo (*Solanum oblongifolium* Dunal), cucharo (*Myrsine guianensis* Kuntze (Aubl.)) y cucharo rosado (*Myrsine coriacea* (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult), aunque pueden encontrarse asociaciones similares con especies de otros géneros, también llamados cucharos, pertenecientes a la misma familia (*Myrsinaceae*), como *Geissanthus* y *Ardisia*, romero blanco, laural hojipequeño, encenillo (*Weinmannia tomentosa* L.f.) garrocho (*Diphostegium romarinifolium* (Benth.) Wedd, *Myrcia parvifolia* Krug & Urb, *viburnum triphyllum* Benth) y varias especies de tunos (*Miconia* sp) (Avellaneda & Mesa 2006).

Fauna.

En cuanto a la fauna del sitio, suele ser escasa la mastozoofauna por diferentes procesos que han desplazado las poblaciones. Se reporta la presencia de conejo de monte (*Sylvilagus brasiliensis*), fara (*Didelphis albiventris*) y rata común (*Rattus* sp). En cuanto a aves han sido reportadas 25 familias entre las cuales se encuentran especies como la mirla (*Turdus fuscater*), el sirirí (*Tyrannus melancholicus*), pechirrojo (*Pyrocephalus rubinus*), atrapamoscas de montaña (*Elaenia frantzii*), tijereto (*Tyrannus savana*), azulejos (*Thraupis episcopus*), verdecejos (*Thraupis palmarum*), cardenales pico de plata (*Ramphocelus dimidiatus*), oriol amarillo (*Icterus nigrogularis*), el toche (*Icterus chrysater*), maicero (*Molothrus bonariensis*) chisga capanegra (*Carduelis psaltria*), chisga cabecinegra

(*Carduelis spinescens*), el copetón (*Zonotrichia capensis*) y torcazas (*Zenaida auriculata*), entre otras (Avellaneda & Mesa 2006).

Suelo.

El suelo presenta capacidad para realizar actividades agropecuarias. Cercano al Relleno Sanitario Doña Juana se encuentran los suelos con mayor potencial para las actividades mencionadas; en el corredor vial que conduce de Mochuelo Bajo a Pasquilla se encuentran suelos con un alto potencial y las zonas con bajo y medio potencial se encuentran al suroriente y suroccidente de la zona delimitada de la asociación. En cuanto a la geología, el terreno presenta un relieve ondulado y erosionado con pendiente entre 15 y 25 %, ubicado en la parte media y baja de ladera con cotas entre 2.600 y 3.000 msnm (Avellaneda & Mesa 2006).

Aptitud de uso de suelo

Los valores más altos en la clasificación representan una capacidad del suelo apta para uso agropecuario moderado, con un adecuado manejo para mantener la fertilidad del suelo. Los valores altos se pueden usar para algunos cultivos, pero principalmente pastos. Por último, los valores intermedios y bajos son indicadores para uso en pastoreo y algunos cultivos selectivos que se adecuen a la zona, acompañado de prácticas de conservación. Para zonas con restricciones de uso agropecuario, la zona puede ser destinada a vocación turística o recreación (Avellaneda & Mesa 2006).

Comunidades locales.

La población de la localidad creció de manera espontánea a causa de los asentamientos no legales que fueron conformándose por población desplazada de diversas regiones del país (Duque Ramírez 2016). La llegada de más población generó una demanda mayor de bienes y servicios, las cuales no han sido suplidas en su totalidad, creando conflictos e inconformidad dentro de la localidad. Además, se ha generado marginalidad social, pobreza y segregación (Martinez 2007). Dentro de la vereda Mochuelo se encuentra en su mayoría la industria extractiva minera, con un bajo nivel de conflictos con las zonas residenciales, debido a la dependencia económica ya que esta industria ha brindado oportunidades laborales (Duque Ramírez 2016).

MÉTODOS.

Fase 1. Recolección de información.

Se llevó a cabo la revisión bibliográfica sobre la normatividad que influía en la asociación, tanto a nivel minero como a nivel ambiental abarcando los documentos nacionales hasta el nivel local, desde el Código de Minas (Decreto 2655 de 1988), hasta el año 2016 con la formación de la Política Minera, para conocer a que está obligada la asociación en términos ambientales de recuperación y/o restauración de espacios.

Para acceder a los documentos y terrenos de la asociación ANAFALCO se contactó al Coordinador Ambiental, quien permitió la revisión del Plan de Manejo Ambiental aprobado de la asociación ANAFALCO.

Además, se hizo una revisión de Informes de Cumplimiento de cada empresa perteneciente a la asociación ANAFALCO desde el año 2014 hasta el primer semestre del año 2019, tomando de estos la información sobre las empresas que reportaron los costos e información sobre las acciones ambientales que hayan realizado.

Posteriormente, se realizó una salida a campo en los terrenos de las empresas escogidas donde enfocaron las acciones de recuperación de espacios, a las cuales se les aplicó una entrevista seguido de toma de *muestras de suelo* para posterior análisis y una observación de la vegetación, tomando datos de *cobertura de suelo* y *estratos verticales* de vegetación.

1.1. Diseño de estudio

Para conocer las características del suelo y vegetación, atributos que permiten conocer el estado de recuperación, se marcó un transecto de 30 metros de largo y dos metros de ancho; posteriormente se definieron tres cuadrantes de 25 cm² cada uno, al inicio, a mitad y final del transecto; teniendo en cuenta el terreno de intervención de cada empresa. Para la toma de muestra del suelo, en cada cuadrante se removieron los primeros 5 centímetros de suelo (con pasto) con pica y en seguida, con ayuda de una pala cuadrada se profundizó a 25 cm, reuniendo el suelo en un balde y hacer una muestra homogénea. Se recogió en total un kilogramo de suelo por empresa visitada para su posterior análisis en el laboratorio ITAM de la Pontificia Universidad Javeriana.

Para la observación de la vegetación se caminó por el transecto trazado registrando los estratos que se observaban. Por último, para la cobertura del suelo, se realizaron cuadrantes de 2 m^2 a inicio, mitad y final del transecto, paralelos a los cuadrantes de 25 cm^2 , registrando mediante una ilustración la cobertura de cada uno, para posteriormente establecer el porcentaje de cada cobertura en el cuadrante.

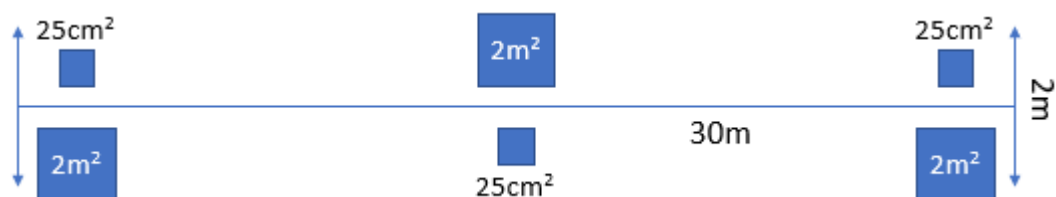


Figura 2. Método de recolección de información de suelo y vegetación.

Mediante el uso de la plataforma Google Earth Engine (GEE) se buscaron imágenes satelitales de LandSat – 8 para hallar el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) y evaluar el estado de la vegetación desde el año 2014 al primer semestre del 2019.

Fase 2. Sistematización de la información.

Se identificaron las actividades que realizaron las empresas de ANAFALCO para cumplir con lo establecido en el Plan de Manejo Ambiental referente a la restauración ambiental, los costos que generaban las actividades formuladas, teniendo en cuenta que es información exclusiva de cada empresa. Se identificaron tres empresas cuyas acciones de restauración han sido constantes dentro de los terrenos y reportan lo invertido en cada una de las actividades, para posteriormente hacer la aplicación de una encuesta (Anexo 1) y obtener información más detallada sobre los compromisos ambientales, medidas de compensación, actividades de restauración ecológica y costos de algunas variables sobre el mantenimiento de las actividades.

Fase 3. Análisis.

3.1. Suelo.

En primer lugar, teniendo en cuenta lo encontrado dentro del Plan de Manejo Ambiental (PMA), se comparó con la normativa vigente y los términos de referencia para su aprobación

ante la entidad correspondiente, para evaluar el cumplimiento, respetando los acuerdos, planes, protocolos y modificaciones normativas que se han presentado en los últimos años. Se evaluó de igual forma las fallas que tiene el PMA en cuanto a la recuperación de los espacios afectados por la actividad minera.

Posteriormente, se reunió toda la información referente a los gastos que las empresas invertían al año para cumplir con la parte ambiental de compensación y recuperación de espacios afectados por la actividad minera, relacionándola con las actividades propuestas por las empresas.

En segundo lugar, para el análisis de suelo, las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Investigación Ambiental y de Materiales, de la Facultad de Química en la Pontificia Universidad Javeriana. Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente por 24 horas, para posteriormente tamizar (500 μm) y realizar los análisis de Humedad, Densidad Aparente, Densidad Real, Materia Orgánica y color. Estas son algunas pruebas recomendadas para conocer la recuperación del suelo (Zhang et al. 2018).

3.2. Vegetación.

En cuanto a la vegetación, se tuvieron en cuenta los indicadores planteados en la Guía de Restauración de Bosques Montanos Tropicales, aplicándose en el estudio los indicadores de cobertura del suelo y el número de estratos, siendo los más pertinentes (Terán-Valez et al. 2018).

3.3. Imágenes satelitales.

Mediante la modificación del código *Landsat 8 Collection 1 Tier 1 8-Day EVI Composite* (Anexo 2) se encontraron los valores del Índice Mejorado de Vegetación (EVI) de los píxeles dentro de cada polígono de área en recuperación, dentro de las empresas escogidas en los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

Con los datos obtenidos de cada píxel en los años mencionados se procedió a realizar pruebas estadísticas con el programa RStudio versión 1.2.5001 obteniendo información de regresión lineal y correlación Pearson para cada una de las empresas (Anexo 3).

La efectividad fue medida de acuerdo con el objetivo planteado por la asociación, el cual fue la *revegetación dentro de área de influencia de la mina*, y las características obtenidas respecto a la vegetación en relación a las características del suelo de cada empresa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cumplimiento normatividad

El Plan de Manejo Ambiental de ANAFALCO, cumple con lo establecido en los Términos de Referencia ya que presenta la información referente a la asociación, las acciones a realizar, la cantidad de material esperado, la delimitación del área de influencia directa, la caracterización ambiental de la zona y los efectos negativos en ella, presentando las fichas técnicas de las obras y actividades de cada atributo afectado por la extracción de materiales de construcción que la asociación identificó (Avellaneda & Mesa 2006). Se encontró que dentro del documento se estaban separadas las actividades y obras a realizar por impacto generado, en formato de fichas, las cuales deben ser aplicadas por todas las empresas dentro de la asociación debido a las características similares del terreno y los frentes de explotación por la cercanía de estos. Sin embargo, difieren en cuanto a la calidad, cantidad y costos de las actividades de manejo, generando pérdida de detalle en la formulación de acciones, además de dificultar la enunciación de metas claras a todos los plazos posibles, junto con sus respectivos objetivos e indicadores de medición, viéndose afectado el desarrollo y formulación de acciones de restauración en espacios altamente degradados. Esto unido a la falta de claridad frente a que atributos específicos se desean recuperar o hasta qué punto llegar en cuanto a la restauración como se menciona en el Protocolo Distrital de Restauración Ecológica, genera mayores costos que los esperados retrasando el cumplimiento del PMA establecido (Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente 2000).

Según lo establecido en los Términos de Referencia para la formulación del Plan de Manejo Ambiental de áreas afectadas por actividad extractiva de la Secretaría Distrital de Ambiente, a pesar de contar con lo establecido no se encuentra detallado qué acciones deben realizar, ya que según este enuncia de manera general que deben presentar acciones de mitigación, compensación o prevención para los programas planteados por la empresa: programa de adecuación morfológica y estabilización geotécnica, programa de movimiento de tierras y

materiales, programa de manejo de aguas, programa de recuperación de suelos, programa de control de erosión, programa de empradización, reforestación y revegetalización, programa de residuos sólidos, programa de disposición de materiales o sólidos terrígenos, programa de readecuación paisajística, programa de manejo de contaminación atmosférica, programa de gestión social y participación ciudadana (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. & Secretaría Distrital de Ambiente [SDA], s.f.). Cada uno indica, de manera general, lo que se debe presentar sin detallar en ejemplos o actividades necesarias para recuperar o mitigar los atributos afectados, sino que deja de manera abierta cada programa para que la empresa plantee según su criterio las acciones, actividades y metas que deben realizar para cumplir con la norma.

Dentro del Plan de Manejo de la Asociación, aunque hacen un inventario de la fauna posible de encontrar en aquellas áreas, no formulan un programa con actividades para recuperar este componente. En cuanto a la restauración ecológica y compensación ambiental, se encuentra la ficha del programa de empradización, reforestación y revegetalización, donde se plantea una única acción el cual es revegetalizar las áreas perimetrales al área de influencia con el método al tres bolillo durante el desarrollo de la explotación minera (Avellaneda & Mesa 2006) siendo trimestralmente la siembra de 20 individuos de especies nativas; actividad que se cumplen en las empresas Cerámica San Marcos, Cerámica Portal El Mochuelo y Ladrillera Los Cristales, de mejor manera.

Cada empresa respondió a la encuesta aplicada, donde indicaron las actividades que realizan, el compromiso ambiental de recuperación y costos de la aplicación de acciones. La empresa Cerámica San Marcos, indicó que como estrategia de recuperación ecológica realizan siembra de 20 individuos nativos cada tres meses, pero no realizan el monitoreo ni seguimiento de las especies (Anexo 4). La empresa Cerámicas El Portal del Mochuelo realiza siembras de especies nativas en la ronda de la quebrada La Trompeta, a las cuales solamente llevan registro de mortandad (Anexo 5). Por último, la empresa Ladrillera Los Cristales realiza la misma estrategia de realizar siembras de 20 individuos cada tres meses, pero tampoco realizan un monitoreo o diagnóstico de indicadores ambientales sobre las siembras (Anexo 6). Estas acciones están ligadas al uso a futuro de aquellos espacios ya que, según lo

respondido en la encuesta, las empresas indican que estos terrenos serán de uso recreacional y se deben recuperar características de vegetación y suelo para tal fin.

Retomando lo dicho anteriormente, la falta de definición de atributos a rescatar afecta la formulación de metas, dejando básico los programas de recuperación que a su vez se alejan del objetivo de la recuperación ecológica. Además, complica la manera en que son evaluadas y monitoreadas las acciones, ya que al no abarcar varios atributos no permite llevar un correcto seguimiento sobre que ha resultado más efectivo para la recuperación de espacios, teniendo en cuenta sus costos.

Aunque el gobierno y las entidades representantes después de la creación del Código de Minas del 2001 han formulado instrumentos para mejorar y tecnificar las actividades extractivas teniendo en cuenta el medio ambiente, su cuidado y recuperación, han sido solamente documentos de carácter voluntario que solo referencian y orientan las actividades que deberían seguir (Ospina Betancur & Molina Escobar 2013). Como es el caso de las Guías Minero Ambientales, que, aunque se supone son para realizar adecuadamente una gestión ambiental de las áreas afectadas, son solo documentos técnicos de consulta y orientación conceptual que no son vinculantes jurídicamente por lo que no son seguidos a cabalidad por las empresas (Peña et al. 2014). Igualmente ocurre con el Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos, cuyo propósito es seguir el avance los programas propuestos ambientalmente, donde propone formatos para ser usados por las empresas y entidades ambientales, que facilitan el monitoreo del cumplimiento de las acciones propuestas (Ministerio del Medio Ambiente 2002). Sin embargo, solo es usado el instrumento de Informes de Cumplimiento Ambiental que en el caso de ANAFALCO son presentados semestralmente donde reportan por actividad propuesta, el soporte, la descripción de la actividad, el indicativo cuantitativo y número de foto, si tiene (Anexo 7).

A pesar de que se cuenta con protocolos y planes nacionales de Restauración Ecológica, estos no proponen indicadores a medir para evaluar los cambios a través del tiempo, ni establecen cada cuanto realizar estas mediciones por lo que dificulta conocer el impacto de las acciones de recuperación ecológica en tiempos determinados y también dificulta conocer la efectividad de las estrategias implementadas, teniendo en cuenta que estos protocolos y programas no son vinculantes para las empresas. Además de que la normatividad ambiental

tampoco es clara, no exige el monitoreo de indicadores de vegetación, suelo o agua y por tanto, las empresas no se ven obligadas a realizarlo.

Atributos biofísicos

En cuanto a los resultados de los análisis de suelo se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 1. Resultados propiedades fisicoquímicas de suelos.

Empresa	Humedad (%)	Materia Orgánica (%)	Densidad Aparente	Densidad Real	Color
Cerámica San Marcos	9,8006	5,3839	1,6232g/cc	5,9940	Marrón amarillento
Cerámica El Portal de Mochuelo	10,3019	2,7271	1,431g/cc	1,4495	Marrón
Ladrillera Los Cristales	7,1526	4,3469	1,5457g/cc	2,2169	Rojo

La empresa Cerámica San Marcos a pesar de presentar un valor denominado como alto en materia orgánica, presenta valores bajos de humedad, lo cual se relaciona con los datos obtenidos de Densidad Aparente y Densidad ya que indica que no hay la adecuada filtración de agua por lo que estos valores determinados como altos están relacionados de manera inversa con la porosidad del suelo (Ramirez Carvajal 1997) lo cual afecta el crecimiento de las plantas en ese terreno (Gómez Giraldo 2013).

La empresa Cerámica el Portal de Mochuelo aunque presenta un poco más de humedad en sus suelos, sigue siendo considerada como baja (Ramirez Carvajal 1997) y cuya materia orgánica es muy baja, pero cuya densidad se encuentra en un punto medio, permitiendo porosidad relativamente adecuada y se filtre el agua (Lizcano et al. 2017).

La empresa Ladrillera Los Cristales presenta el valor más bajo de humedad, en comparación con las otras dos empresas, relacionado con lo obtenido en cuanto a la densidad ya que presenta un valor medianamente alto, lo cual impide la filtración de agua, afectando igualmente el desarrollo y crecimiento de especies vegetales (Gómez Giraldo 2013); el valor

de materia orgánica es considerado muy bajo, es decir no cuenta con las características óptimas para el adecuado crecimiento de especies vegetales.

En lo referente al color de las muestras, el color rojo hace referencia a baja actividad del agua, una alta liberación de hierro de las rocas, baja fertilidad del suelo y alteración de los materiales parentales a altas temperaturas; el color marrón o café, indica que el suelo está en etapas iniciales a intermedias de alteraciones, con niveles bajos de materia orgánica debido a las combinaciones de óxidos de hierro con materiales orgánicos; por último, el color marrón amarillento indica que hay presencia de óxidos de hierro además de meteorización bajo ambientes aeróbicos (Gómez Giraldo 2013).

Este atributo es uno de los más importantes dentro de un ecosistema, debido a su rol en el establecimiento y sostenimiento de especies, en la regulación del ciclo del agua y en el reciclaje de nutrientes (Seifu & Elias 2018), por tanto, el conocer algunas de sus características permite aproximarse al estado en que se encuentre un espacio en recuperación, en relación a la vegetación. Para conocer en qué grado de recuperación se encuentra un suelo, es fundamental conocer el estado inicial, es decir, las características antes de intervenir en la zona. Pero la asociación no cuenta con el diagnóstico del suelo, dificultando el análisis y su comparación con lo encontrado actualmente.

Un suelo con buena calidad va a permitir una mejora en términos ambientales, ya que soportan diferentes comunidades terrestres y reducen los impactos negativos asociados al aire y agua (Seifu & Elias 2018). Las características óptimas que un suelo debe presentar a manera general, teniendo en cuenta que pueden variar de acuerdo a la geología, clima y demás, son: alta materia orgánica y actividad microbiana, con características arenosas permitiendo la penetración de raíces de plantas, fácil infiltración del agua y baja presión de malezas y enfermedades (Seifu & Elias 2018).

En cuanto al atributo de vegetación, se evidenció que en general se encontraban dos estratos verticales bien formados: hierbas (<2m) y sotobosque (<10m) indicando que sigue habiendo áreas que no han sido recuperadas y que se sigue en recuperación; dando señales que se requieren de cuidados y mejores manejos para que se establezcan más especies y su crecimiento sea más veloz (Terán-Valez et al. 2018). Y de igual manera, un mejoramiento en el suelo, ya que es un atributo que puede restringir o potenciar el crecimiento (Oyarzún, 2016)

Para la cobertura del suelo se calcularon las siguientes coberturas para cada empresa:

Tabla 2. Ladrillera Los Cristales.

Cuadrante	Hierbas	Pasto	Arbustos	Hojarasca	Suelo desnudo	Total (%)
1	0	38	24,5	32	5,5	100
2	0	55	0	45	0	100
3	0	60	0	40	0	100
Promedio	0	51	8,17	39	1,83	100

Tabla 3. Cerámica San Marcos.

Cuadrante	Hierbas	Pasto	Arbustos	Hojarasca	Suelo desnudo	Total (%)
1	3,2	49,5	20	24,5	2,8	100
2	2	55	25	15	3	100
3	5	30	40	10	15	100
Promedio	3,4	44,83	28,33	16,5	20,8	100

Tabla 4. Cerámica El Portal del Mochuelo.

Cuadrante	Hierbas	Pasto	Arbustos	Hojarasca	Suelo desnudo	Total (%)
1	0	55	35	10	0	100
2	0	35	20	5	40	100
3	0	54	18	3	25	100
Promedio	0	48	24,33	6	21,67	100

En las tres empresas se evidencia que existe mayor porcentaje cobertura de pasto, lo cual se interpreta como una etapa muy temprana de recuperación, unido a los valores de suelo desnudo. Se esperaría que en un futuro las proporciones de arbustos y hierbas aumentaran significativamente para proteger el suelo y evidenciar una mayor tasa de crecimiento de especies vegetales, que permitan evaluar la recuperación ecológica (Terán-Valez et al. 2018).

Es importante resaltar que hacerse este tipo de mediciones u otros tales como mortalidad de especies y desarrollo de las especies, permiten evaluar en qué grado de recuperación se encuentran los espacios (Proaño & Duarte 2018), y por lo que el monitoreo es casi nulo en las empresas de la asociación evaluadas, causa dificultades al momento de entender las acciones y su impacto, dificultando la dirección del proceso de restauración para que sea más asertivo en acciones efectivas.

Debido a la falta de información referente a monitoreos y seguimiento de las siembras en los años evaluados del estudio, se hizo uso de imágenes satelitales para la teledetección de posibles cambios, ya que gracias a esta tecnología es posible monitorear cambios para entender las dinámicas y ayudan en la resolución de conflictos (Cesar Augusto et al. 2017). Encontrándose la siguiente información:

Tabla 5. Valores promedio de EVI calculado en los pixeles dentro de los polígonos de las empresas.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Cerámica San Marcos	0,136322222	0,140928889	0,219908889	0,188894444	0,136748889	0,17144
Cerámica El Portal del Mochuelo	0,254796667	0,174446667	0,267363333	0,285073333	0,140056667	0,24818
Ladrillera Los Cristales	0,170365238	0,123139048	0,20047185	0,210303	0,133519048	0,24598

Se hallaron los datos para cada píxel dentro del polígono por año, a los cuales se les halló el promedio y en base a esto se realizaron las pruebas de regresión lineal y correlación de Pearson sobre el promedio de los datos en los años observados para conocer la relación que existe entre los datos obtenidos. En el caso de la empresa Cerámica San Marcos (Anexo 8) dio como resultado que no existe una relación lineal de los datos (p-valor= 0,468, std error= 0.06597), es decir, la cobertura no ha aumentado a través de los años. A su vez, la prueba de correlación Pearson afirmó que no existe una correlación en los datos (p-valor= 0.4688).

En la empresa Cerámicas el Portal del Mochuelo arrojó que este polígono tampoco tiene una relación lineal entre los datos promedio de cada año (p-valor= 0.621, std error= 0.08819) y cuyo valor de correlación lo demuestra (p-valor= 0.6319). Demostrando que la reflectancia de la vegetación no ha sido significativa ni se ha visto una mejora o un aumento en los tiempos analizados. Para los datos de cada píxel en los años evaluados dirigirse al Anexo 9.

La prueba de correlación en el polígono de la empresa Ladrillera Los Cristales dio positiva, ya que establece una relación lineal entre los datos (p-valor= 0,01178, std error= 0.08842) y se demuestra una correlación ente los datos (p-valor= 0.01178). Interpretándose que la vegetación y su reflectancia ha sido notoria con el paso de los años evaluados. A pesar de contar con un dato más bajo en el año 2018, esto puede deberse a que al ser un análisis de imagen satelital está influenciado por las características climáticas, principalmente nubosidad. Para los datos de cada píxel en los años evaluados dirigirse al Anexo 10.

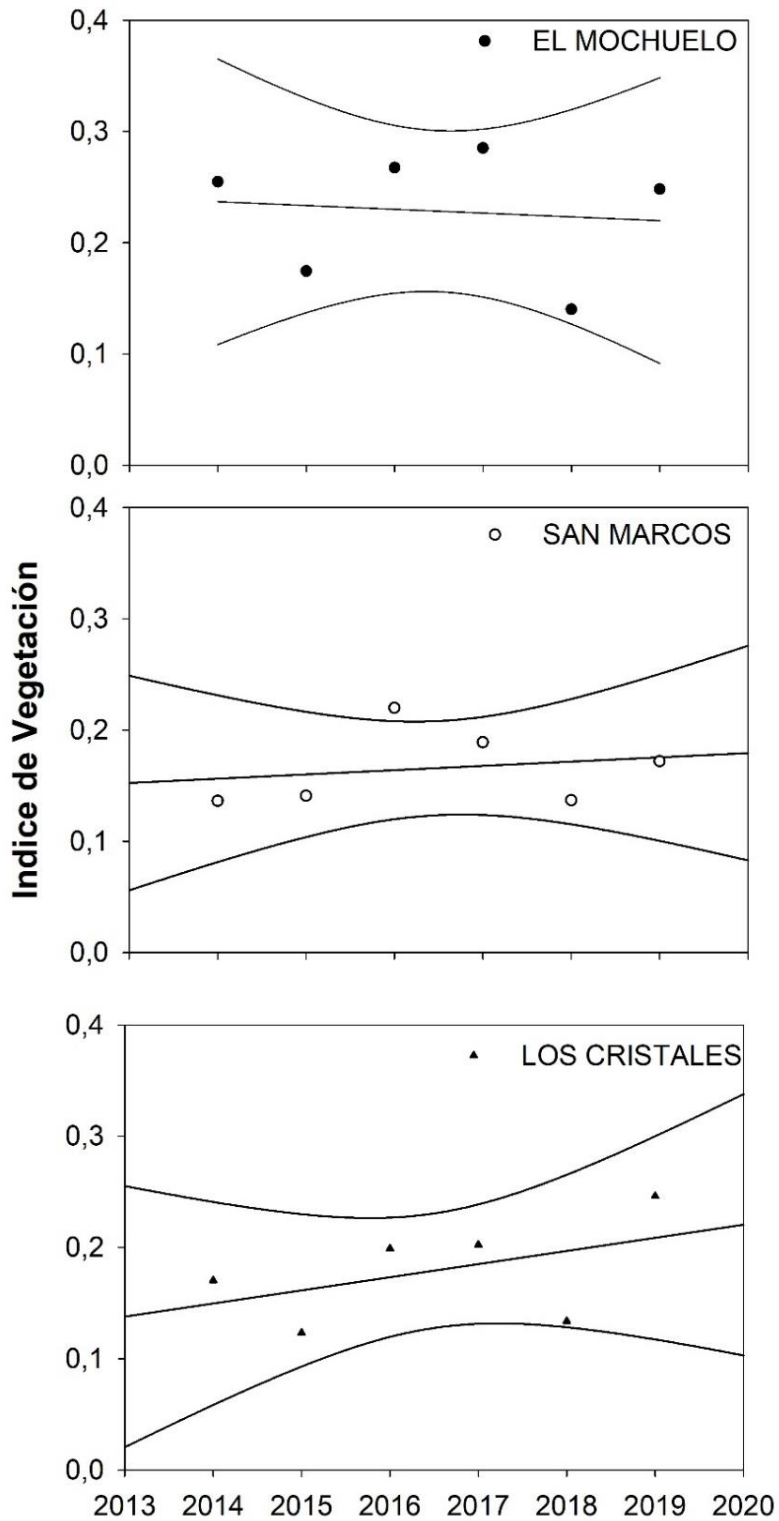


Figura 3. Valores del EVI promedio en los años evaluados en las empresas Cerámica Portal El Mochuelo, Cerámica San Marcos y Ladrillera Los Cristales.

Los valores de este índice varían entre 0 a 1, donde entre más cercano a 1 se encuentre más verdor se está reflejando en las bandas espectrales.

Los resultados encontrados en la vegetación y características del suelo indican que las especies sembradas dentro de la Ladrillera Los Cristales, a pesar de no contar con las condiciones óptimas para el crecimiento, como se evidenció en las características del suelo, han presentado un aumento y recuperación con el paso de los años. Esto puede deberse a que no se encuentra porciones de suelo desnudo, sino cubierto por pasturas que brindan cierta protección y características que compensan las bajas características del suelo. Además de que este polígono se encuentra en los bordes de una quebrada de oportunidad, la cual brinda el recurso agua permeando en la humedad que necesitan las raíces para desarrollarse. También la presencia del hierro en altas cantidades justifica que se evidencie un aumento de la cobertura, siendo un elemento bastante requerido para realizar funciones de carácter enzimático, además de que es el que da color verde a las hojas a pesar de no hacer parte de la clorofila (Juárez et al. 2007).

Costo de las acciones de restauración

En el último ítem se encontró que las empresas generan ciertos gastos para la adecuación de suelo, mediante enmiendas orgánicas o abono que permiten la compra y siembra de las 20 especies nativas trimestralmente, además de los costos de mantenimiento como riego, abono, entre otros.

Para las empresas seleccionadas se encontraron los siguientes costos:

Tabla 6. Costos reportados por empresa para la revegetalización.

Empresa	Costo implementación y manejo anual	Costo encargado del mantenimiento
Cerámica San Marcos	\$ 1'820.000 COP	\$ 1'200.000 COP
Cerámica Portal El Mochuelo	\$ 18'500.000 COP	\$ 900.000 COP
Ladrillera Los Cristales	\$ 3'000.000 COP	\$ 828.116 COP

Entre las especies nativas que siembran las empresas se encuentran: arboloco, higuera, borracheros, Chicalá, chilco, guayabillo, espino, sauce, choco de árbol, mano de oso, jazmín de india (Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6).

Recogiendo la información de los Informes Ambientales y la encuesta, se encontró que no son incluidos los costos específicos por cada actividad y sus insumos, sino en general, creando conflictos para comparar y evaluar que actividades o compra de insumos es mayor o menor, para estimar que resulta más económico al momento de implementarse. Lo anterior se refleja en los resultados obtenidos sobre el Índice de Vegetación, que a pesar de la inversión que realiza la empresa San Marcos anualmente, no se ha visto correspondido por un mejoramiento de las zonas donde se ha aplicado el programa de revegetalización, trayendo pérdidas en términos ambientales puesto que no han sido eficaces las actividades que realizan anualmente y debido a la falta de especificación de los costos por actividades puntual, no es posible entender a qué se debe esta falla en las acciones.

En cuanto a lo reportado en la empresa Portal El Mochuelo, es la empresa que más ha invertido para cumplir con el programa de recuperación ambiental, cuyos resultados no han sido positivos, ya que como se evidenció en los resultados de Índice de Vegetación Mejorado, no ha mejorado el verdor de la zona y tampoco se ha recuperado en gran medida las características del suelo, a pesar de sus esfuerzos en invertir en tierra negra y abono para permitir el establecimiento de los individuos (Anexo 5). Caso diferente es la empresa Los Cristales, cuya inversión se ha visto reflejada en el mejoramiento de la vegetación, aunque no es posible especificar a qué se debe tal resultado, si es debido a las acciones de acondicionamiento del suelo o mantenimiento de las especies sembradas, ya que no especifican.

Teniendo en cuenta que, aunque el Plan de Manejo Ambiental de la empresa se planteó el objetivo de revegetalizar dentro del área de influencia, no fueron aclaradas metas a corto, mediano o largo plazo el resultado de efectividad de acciones implementadas fue hallado comparando el resultado de vegetación de las empresas a las cual se les hicieron mediciones.

Por tanto, la empresa que mayor efectividad presentó en cuanto a la recuperación de vegetación en la zona de influencia fue la empresa Ladrillera Los Cristales, ya que hasta el primer semestre del 2019 se evidencia un verdor mayor según el Índice de Vegetación

Mejorado que en año 2014, indicando que ha mejorado casi el doble la vegetación y cuyos precios son adecuados, en comparación con las otras dos empresas. Contrario es el caso de las empresas Cerámica San Marcos y Cerámica Portal El Mochuelo, cuyos valores de EVI no evidencian una mejora en la recuperación de vegetación en el tiempo analizado, influyendo que las actividades de siembra que han realizado no han resultado positivas para lograr el objetivo de revegetalización, por lo que se deben realizar ajustes en las actividades para permitir llegar al objetivo sin que implique invertir de más (Terán-Valez et al. 2018).

Finalizando, el no establecimiento de metas u objetivos a corto y mediano plazo dificulta cumplir de manera completa un programa de restauración y/o recuperación ambiental, ya que a pesar de que se plantean actividades muchas veces estas no cumplen con el objetivo de recuperación de espacios, causando que se tenga que invertir aún más, al mismo tiempo que dificulta la mejora de acciones que afectan en la eficiencia y retrasa la recuperación ecológica de espacios afectados.

La implementación de análisis de imágenes satelitales brinda información útil para este tipo de estudios, ya que permite evaluar históricamente los cambios de los terrenos intervenidos, con información de vegetación, suelos e inclusive dinámicas del agua (Alatorre et al. 2014), complementando la información sobre las acciones y actividades más efectivas en la recuperación de espacios.

De igual manera, es importante resaltar que el monitoreo y evaluación de las acciones con indicadores específicos de vegetación, suelo y agua desde el inicio del proyecto de restauración permite reducir el margen de error frente a los mismos, ya que se conoce qué acciones están generando mejor impacto y cuales no en un determinado tiempo, guiando cada vez mejor los proyectos para que sean seguidos por todas aquellas empresas, gremios y personas, además de que las entidades nacionales y locales lo exijan dentro los protocolos y planes.

Por último, los análisis de costo-efectividad resultan de vital importancia en los planes, proyectos y protocolos de restauración ambiental, debido a que amplía la visión que se tiene sobre este tema dando a conocer que no es solo información biológica lo que influye y es importante en la realización de actividades, sino también influye la economía y la adecuada

gestión ambiental en el cumplimiento lo cual mejora la toma de decisiones para la recuperación de ecosistemas.

RECOMENDACIONES.

Para la realización de programas de restauración, recuperación o revegetalización en ecosistemas degradados es importante la correcta formulación, estableciendo metas a largo, mediano y corto plazo, con objetivos específicos que se adecuen a las condiciones iniciales del terreno. De igual forma, establecer una línea base sobre las características de suelo, vegetación y agua, ayudan para que en el transcurso del desarrollo del proyecto se evalúen los cambios tanto positivos como negativos para direccionar de mejor manera y lograr un mejor resultado. Igualmente, es importante establecer los rubros hacia los cuales están siendo dirigidos los recursos económicos para contrastar a futuro en qué acciones se invierte más o en cuales menos, siendo lo más específico posible.

De igual forma, el seguir realizando estudios de este tipo no solamente en el área de minería, sino en todas las líneas de acción donde se incluye la restauración ecológica, con el propósito de aportar y mejorar la disciplina y la manera en que es evaluado.

En cuanto a la normativa ambiental y minera, sigue habiendo fallas las cuales deben ser corregidas para encaminar todos los proyectos en el correcto desarrollo, alineado con el concepto de sostenibilidad, corrigiendo, mitigando o compensando simultáneamente el ambiente, llegando al final del proyecto con características del ecosistema no tan vulneradas y realizar una restauración ecológica más rápida y eficiente. Las entidades territoriales deben exigir y guiar a las empresas mejoras en la formulación de Planes de Manejo y sus programas, ya que a causa de esto no se formulan proyectos adecuados a los terrenos, dejando a la deriva el principal objetivo de formular un Plan de Manejo Ambiental para una empresa extractiva.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a la Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo (ANAFALCO) por la realización del estudio, en especial a William Galvis, Coordinador Ambiental de la

asociación. Al laboratorio ITAM de la Pontificia Universidad Javeriana. A Alejandra Barriga, por su apoyo incondicional. A Lilia Roa, tutora y guía.

BIBLIOGRAFÍA.

[CAR] CAR de C (2009) Guía para la explotación, mitigación y recuperación de canteras. Bogotá D.C.

Aguilar C, León N, Meléndez M (2006) El sector de materiales de construcción en Bogotá-Cundinamarca. Fedesarrol. La Imprenta Editores Ltda., Colombia

Alatorre LC et al. (2014) Evolución de la dinámica vegetal mediante una serie de imágenes landsat TM (1986-2011): Región central de chihuahua, México. Cuadernos de Investigacion Geografica 40:449–476

Alberto M, Lucero C (2017) La Responsabilidad Social En Colombia De Acuerdo Con Los Estándares Normativos Internacionales. Universidad Militar Nueva Granada

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría Distrital de Ambiente [SDA] Términos de Referencia para elaborar el Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental (PMRRA) de áreas afectadas por actividad extractiva dentro del perímetro urbano de Bogotá, D.C.

Avellaneda MR, Mesa LE (2006) Plan de Manejo Ambiental para la Licencia de Explotación Minera BA3-152.

Barnsbee L et al. (2018) Cost-effectiveness. In: Mechanical Circulatory and Respiratory Support. Australia pp. 749–772.

Barrera-Cataño JI et al., eds. (2009) Restauración Ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto en Colombia. Pontifica Universidad Javeriana, Bogotá D.C.

Cesar Augusto SZ, Martinez-Rincon RO, Morales-Zarate MV (2017) Tendencia en el siglo XXI del Índice de Diferencias Normalizadas de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California. Investigaciones Geograficas

Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente (2000) Protocolo distrital de

restauracion ecologica.

Duque Ramírez GT (2016) Los conflictos socio-ecológicos alrededor de las cuecas media y baja del río Tunjuelo de la ciudad de Bogotá D.C. (1950-2014). Bogotá D.C.

Galvis SR (2012) La Regulación Ambiental y social de la minería en Colombia: Comentarios al proyecto de ley de reforma al código de minas. Foro Nacional Ambiental 16

Gómez Giraldo JC (2013) Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos. 103

Guhl Nannetti E, Leyva P (2015) La gestión ambiental en Colombia, 1994-2014: ¿un esfuerzo insostenible? Cima Gráfica, Bogotá D.C.

Hernández Jatib N et al. (2014) Evaluación Ambiental Asociada a La Explotación Del Yacimiento De Materiales De Construcción La Inagua, Guantánamo, Cuba. Luna Azul 146–158

Holl KD, Howarth RB (2000) Paying for restoration. *Restoration Ecology* 8:260–267

Ibarra Padilla AM (1992) Principios de la responsabilidad social empresarial en el ordenamiento jurídico. *Revista de Derecho* 51–82

Juárez M, Cerdán M, Sánchez-Sánchez A (2007) Hierro en el sistema suelo-planta.

Kimball S et al. (2015) Cost-effective ecological restoration. *Restoration Ecology* 23:800–810

Lizcano R et al. (2017) Muestreo de Suelos, Técnicas de Laboratorio e Interpretación de Análisis de Suelos. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Lozano Rodriguez LA, Vieira Muñoz MI, Ramírez Martínez NMa, eds. (2018) La restauración como acción de compensación para proyectos licenciables. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá D.C.

Luna Hernández JA (2015) El impacto ambiental por la actividad de explotación de canteras en la localidad de Usme y sus principales medidas de manejo. Universidad Militar Nueva Granada

- Martínez Ortiz A (2014) Minería y Medio Ambiente en Colombia. 1–171
- Martinez Y (2007) Zonificación Ambiental Al Interior De Los Parques Mineros Industriales. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente] (2015) Plan Nacional de Restauración. Restauración Ecológica , Rehabilitación y Disturbadas.
- Ministerio del Medio Ambiente (2002) Manual de seguimiento ambiental de proyectos: criterios y procedimientos.
- Montes de Oca-Risco A, Ulloa-Carcassés M (2013) Recuperación de áreas dañadas por la minería en la cantera Los Guaos, Santiago de Cuba, Cuba. Luna Azul 74–88
- Moros A Diagnóstico de los procesos productivos utilizados actualmente en la ladrillera ‘LUISBOR’. 1–132
- Ospina Betancur E, Molina Escobar JM (2013) Legislación Colombiana De Cierre De Minas. ¿Es Realmente Necesaria? Boletín de Ciencias de la Tierra 51–64
- Peña J et al. (2014) La normativa minera en Colombia. Foro Debates
- Portela Aguirre M de P, Unibio Piñeros PA (2017) Evaluación Del Marco Normativo Legal Minero Ambiental Para El Desarrollo De La Actividad Minera De Extracción De Materiales De Construcción. Estudio De Caso Soacha – Sibate (Cundinamarca). Universidad Distrital Francisco José de Caldas
- Proaño R, Duarte N (2018) Planificación para la implementación de prácticas de restauración a escala local. In: Guía para la Restauración de Bosques Montanos Tropicales. Proaño, R, Duarte, N, Cuesta, F, & Maldonado, G, editors. CONDESAN, Quito pp. 1–81.
- Ramirez Carvajal R (1997) Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Santa Fe de Bogotá, Septiembre 13–23
- Secretaría Distrital de Ambiente Cerros Orientales.
- Secretaría Distrital de Planeación (2007) LOS CAMINOS DE LOS CERROS. Bogotá D.C.

Seifu W, Elias E (2018) Soil Quality Attributes and Their Role in Sustainable Agriculture: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science* 26:1–26

Terán-Valez A et al. (2018) Practicando la restauración ecológica: el monitoreo y mantenimiento de áreas. In: *Guía para la Restauración de Bosques Montanos Tropicales* 2. Proaño, R, Duarte, N, Cuesta, F, & Maldonado, G, editors. CONDESAN, Quito pp. 1–75.

Unidad de Planeación Minero Enegetica - Ministerio de Minas y Energía (1988) Decreto 2655 De 1988. 1–85

Zhang Q, Zhang T, Liu X (2018) Index system to evaluate the quarries ecological restoration. *Sustainability (Switzerland)* 10

Ilustraciones.

Tabla 1. Resultados propiedades fisicoquímicas de suelos.

Tabla 2. Ladrillera Los Cristales.

Tabla 3. Cerámica San Marcos.

Tabla 4. Cerámica El Portal del Mochuelo

Tabla 5. Valores promedio de EVI calculado en los pixeles dentro de los polígonos de las empresas.

Tabla 6. Costos reportados por empresa.

Figura 1. Mapa Zona de estudio.

Figura 2. Método de recolección de información de suelo y vegetación.

Figura 3. Valores del EVI promedio en los años evaluados en las empresas Cerámica Portal El Mochuelo, Cerámica San Marcos y Ladrillera Los Cristales.