

**Seguimiento y determinación de la composición florística en la revegetación realizada
en la margen de la quebrada agua caliente, sector mina Iza – Boyacá**

Juliana Kaszas Barrera

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente
Ingeniería Agroforestal
CEAD Sogamoso
2020

**Seguimiento y determinación de la composición florística en la revegetación realizada
en la margen de la quebrada agua caliente, sector mina Iza – Boyacá**

Juliana Kaszas Barrera

Trabajo de grado aplicado como requisito para optar al título de

Ingeniero Agroforestal

directora

Shirley Andrea Rodríguez Espinosa

Ingeniero Forestal

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente

Ingeniería Agroforestal

CEAD Sogamoso

2020

Nota de aceptación

Director

Jurado

Jurado

D (_) M (_) A (_ _ _)

Nota de advertencia

Artículo 23 de la resolución no. 13 de julio de 1946: “la universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus tesis de grado”

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre quien, permaneció junto a mí en toda mi trayectoria estudiantil, motivándome y apoyándome incondicionalmente. También dedico este trabajo a mi hermano y hermana quienes confían en mis capacidades y me inspiran a salir adelante y ser mejor cada día.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Abierta y a distancia UNAD, por ser la impulsora de mi formación profesional.

A mi asesora la ingeniera Shirley Andrea Rodríguez, por su apoyo, direccionamiento y aportes durante la ejecución del proyecto.

A la Ingeniera Janeth Esperanza Dehaquiz por su acompañamiento y motivación constante.

A la Bióloga Gina Rojas por su valioso apoyo en el trabajo de campo.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	7
Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
Objetivo general	16
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>16</i>
Marco teórico	17
<i>La revegetación de canteras</i>	<i>17</i>
Los substratos	18
Las plantaciones	19
<i>El seguimiento a las Plantaciones</i>	<i>21</i>
Metodología	23
<i>Área de estudio</i>	<i>23</i>
Geología.....	24
Zona de Vida	24
Pendiente	25
Usos del suelo	25
Coberturas.....	25
Hidrografía.....	26
<i>Diseño metodológico</i>	<i>27</i>
Seguimiento y Evaluación de la revegetación en la margen de la quebrada Agua caliente	28
Caracterización florística del área de protección de la quebrada Agua caliente	33
Acciones para el manejo y proyección de revegetaciones futuras en la mina.	34
<i>Análisis de datos</i>	<i>35</i>
Resultados y discusión	38

<i>Seguimiento y Evaluación de la revegetación en la margen de la quebrada Aguacaliente.</i>	38
Inventario Forestal 100%	38
Evaluación de áreas de difícil acceso- Extrapolación.	38
Resumen variables dasométricas tomadas en al área de estudio.....	39
<i>Caracterización florística del área de protección de la quebrada Agua caliente</i>	40
Determinación de las coberturas vegetales y de la tierra.	40
Determinación de la composición florística del área de estudio.	43
Determinación de la diversidad alfa de la zona de estudio	48
Conclusiones	53
Recomendaciones	54
Referencias bibliográficas	55

Tabla de figuras

Figura 1. Ubicación municipio de Iza	23
Figura 2. Imagen satelital de la localización Mina Puzolana	27
Figura 3. Esquema del proceso metodológico para la recolección de datos	28
Figura 4. Diseño y establecimiento de unidades de muestreo.....	29
Figura 5. Toma de datos y variables dasométricas en las parcelas establecidas.....	31
Figura 6. Ubicación de parcelas en la margen de la quebrada Agua caliente.	32
Figura 7. Categorías de tamaño de las plantas leñosas registradas en el inventario.....	39
Figura 8. Perfil de vegetación cobertura Plantación Forestal.....	42
Figura 9. Especies Exóticas y nativas registradas en el área de estudio.....	45
Figura 10. Especies Exóticas y nativas registradas en el área de estudio.....	45
Figura 11. Especies nativas registradas en el área de estudio	46

Lista de tablas

Tabla 1 Resultados Inventario forestal al 100% en la margen de la quebrada.....	38
Tabla 2 Resultados extrapolación en áreas de difícil acceso.....	38
Tabla 3. Resultados resumen de variables dasométricas tomadas a los individuos	39
Tabla 4. Coberturas registradas en el área de influencia al proyecto minero	40
Tabla 5. Especies Nativas registradas en el área de estudio.....	43
Tabla 6. Especies Exóticas registradas en el área de estudio	44
Tabla 7. Índices de diversidad	48

Resumen

Las revegetaciones son una estrategia de recuperación de áreas finales de minería ampliamente utilizada en el sector minero, por ello la compañía Holcim (Colombia) S.A desde aproximadamente una década viene realizando actividades de revegetación en un área de 4 hectáreas en la margen de la quebrada Agua Caliente, afluente del río Tota, en el Municipio de Iza, en el Departamento de Boyacá, en la zona de influencia de la mina de puzolana, con el ánimo de conocer el estado actual de las plantaciones realizadas se hace necesario 1) realizar un seguimiento y evaluación de la revegetación , 2) Caracterizar florísticamente zona de estudio , 3) Determinar la diversidad florística y 4) establecer acciones para el manejo de las plantaciones en las áreas de la mina destinadas para rehabilitación ambiental. Mediante la ejecución de un inventario forestal del 100% y una extrapolación en ciertas áreas de difícil acceso se obtuvo la información suficiente para identificar un total de 7853 individuos distribuidos de la siguiente manera: 27 familias, 37 géneros y 41 especies, de los cuales se encuentran 28 especies nativas, 13 especies exóticas. Dentro de las especies nativas identificadas se registró 1 especie categorizada como vulnerable y se registró la presencia de 1 especie invasora. El índice de diversidad en la zona es media. y se plantean acciones de manejo para el control o reemplazo de especies exóticas.

Palabras claves: Seguimiento, Revegetación, Biodiversidad.

Abstract

Revegetation are a strategy for the recovery of final mining areas widely used in the mining sector, for this reason the company Holcim (Colombia) SA has been carrying out revegetation activities in an area of 4 hectares on the margin of the Agua Caliente creek for about a decade, a tributary of the Tota River, in the Municipality of Iza, in the Department of Boyacá, in the area of influence of the pozzolana mine, with the aim of knowing the current status of the plantations carried out, it is necessary to 1) monitor and evaluation of revegetation, 2) Characterize the study area floristically, 3) Determine the floristic diversity and 4) establish actions for the management of plantations in the areas of the mine destined for environmental rehabilitation. Through the execution of a 100% forest inventory and an extrapolation in certain areas of difficult access, enough information was obtained to identify a total of 7,853 individuals distributed as follows: 27 families, 37 genera and 41 species, of which They found 28 native species , 13 exotic species, 1 species categorized as Vulnerable and the presence of 1 invasive species was recorded. The diversity index in the area is average. and management actions are proposed to control or replace exotic species.

Keywords: Monitoring, Revegetation, Biodiversity.

Introducción

La minería a cielo abierto elimina los sistemas naturales originales y modifica el paisaje. La reconstrucción de estos espacios tiene como principal problema la obtención de una morfología adecuada para la recuperación de los ecosistemas y el entorno. La secuencia de los bancos de explotación en las distintas cotas genera excavaciones de difícil integración, especialmente si no se reconsideran los aspectos técnicos que condicionan la instalación de la vegetación (Jorba, M & Vallejo, R., 2010).

Cabe resaltar que una zona alterada por extracción de minerales siempre es objeto de modificación de paisajes y ecosistemas, ya que se transforma el relieve, flujos de agua, sedimentos y nutrientes, cambia la condición original del suelo, con sus componentes abióticos y bióticos, desaparece la vegetación con sus diásporas y gran parte de la fauna. En consecuencia, no es posible una completa recuperación de la zona y menos a corto plazo (Jorba, M & Vallejo, R., 2010).

En el caso particular de las canteras, donde ha sido aprovechada durante décadas y en consecuencia se ha perdido toda la capa orgánica del suelo, las actividades de rehabilitación se llevan a cabo en diferentes sectores como: zonas de acabamiento (aplicación de biomantos), zonas con pérdida de estrato orgánico del suelo (aplicación de biosólidos), áreas de invasión (corta, enmienda y siembra de especies nativas) (Barrera *et al.* 2010) entre otras alternativas para su posterior rehabilitación o restauración.

Teniendo en cuenta lo anterior, la empresa ha venido realizando plantaciones en los predios de la mina, perteneciente al Proyecto de Explotación de Puzolana, localizada en

la vereda Agua caliente del municipio de Iza - Boyacá, con el fin de rehabilitar y a largo plazo tratar de restaurar las zonas intervenidas de dicho proyecto.

El área de concesión minera para la extracción de puzolana abarca un área aproximada de 423,52 hectáreas, de las cuáles se impactan por actividades operacionales propias de la extracción 40 hectáreas, que corresponden al 9.2% del área total de la concesión minera, el área restante, la empresa implementa revegetaciones con fines de revegetación para futura restauración de los ecosistemas (Rojas G, 2018).

La revegetación objeto de seguimiento en el presente trabajo, cubre un área de 4 hectáreas en inmediaciones de la ronda de la quebrada Agua Caliente donde se llevó a cabo la plantación de árboles en la ribera de la microcuenca y en zonas finales de mina. Estas actividades, se realizaron con la finalidad de proteger el suelo de la erosión (condición propia en algunas zonas de la ladera de la microcuenca, que no está asociada a la extracción minera) y contribuir a la recuperación de la biodiversidad del sector, por lo que surge la necesidad de realizar un seguimiento y evaluación a las siembras establecidas en el sector en los últimos años.

El área de estudio, posee unas franjas de vegetación protectora, por lo cual surge la necesidad de realizar seguimiento y caracterización de la composición florística y evaluación de la revegetación realizada por la empresa, en la margen de la quebrada, por medio de un inventario forestal al 100 % , identificando variables como: número de individuos plantados, variables dasométricas, especies nativas, exóticas, invasoras e índices de diversidad. La información obtenida, aportará al direccionamiento y la toma de

decisiones para el manejo y proyección de revegetaciones futuras en la cantera y sectores
aledaños.

Objetivo general

Realizar el seguimiento y evaluación a la revegetación realizada por Holcim (Colombia) S.A en la margen de la quebrada Agua Caliente en el municipio de Iza – Boyacá.

Objetivos Específicos

- Caracterizar florísticamente el área establecida en la zona de protección de la quebrada Agua Caliente en inmediaciones de la mina de Puzolana en el municipio de Iza – Boyacá.
- Determinar la diversidad florística en la zona de estudio.
- Establecer acciones para el manejo y proyección de revegetaciones futuras en las áreas de la mina destinadas para rehabilitación ambiental.

Marco teórico

La gestión del sector minero en las zonas de influencia de sus proyectos no solo se enfoca en brindarles a sus pobladores diferentes oportunidades con proyectos productivos, educación o programas culturales, sino que también tienen en la reforestación de esos territorios otro de sus principales objetivos (Ramírez, 2019).

Las actividades de revegetación tienen como objetivo principal servir como cobertura al suelo, en áreas finales de minería y en general en las áreas definidas para tal objeto, para minimizar la activación de procesos erosivos y de este modo propiciar a mediano y largo plazo la recuperación de la cobertura vegetal.

La revegetación de canteras

El proceso de revegetación, es la integración de los espacios degradados en su entorno natural. Para ello se pueden considerar las siguientes orientaciones de la restauración: ecológica, para uso agrícola, para uso forestal o para conservación de suelos. Sin embargo, se debe tener en cuenta, al momento de realizar programas de restauración o de revegetación de una zona degradada los siguientes aspectos: el tipo de pendiente, los suelos, el clima y el tipo de material que va a utilizarse como sustrato, ya que estos factores limitan y condicionan las acciones de revegetación. (Alcañiz, J., Ortiz, O. & Carabassa, V. 2007).

El proceso de restauración tiene que contemplar los siguientes pasos:

- Paso 1. Creación de la morfología y establecimiento del sistema de drenaje
- Paso 2. Obtención de los sustratos
- Paso 3. Siembras

- Paso 4. Plantaciones
- Paso 5. Mantenimiento

La bibliografía específica recoge la necesidad de disponer de espacios con pendientes moderadas para obtener buenos resultados en los trabajos de restauración. Una vez se ha establecido la morfología de las diferentes unidades de la cantera a restaurar, hay que proporcionar un sustrato edáfico que permita el desarrollo del tipo de formación vegetal deseado.

Los sustratos

Muy a menudo los suelos de las canteras son esqueléticos, muy pedregosos, y pobres en nutrientes. Por lo tanto, la restauración con criterios ecológicos no debe pretender crear sustratos muy fértiles, gruesos o con mucha tierra fina, si se quiere que se desarrolle una vegetación semejante a la natural. Por el contrario, cuando se quiere reestablecer campos de cultivo, crear pantallas verdes, o estabilizar taludes con vegetación, el suelo deberá tener una profundidad y fertilidad suficientes. Es conveniente aprovechar los materiales de rechazo mineral de la propia explotación siempre que sean adecuados como materiales formadores de suelos (Jorba, M., & Vallejo, R., 2010).

Además de los parámetros analíticos del sustrato, hay que controlar que los materiales de rechazo no contengan residuos como hierros, plásticos, vidrios, neumáticos, escombros, entre otros y no estén contaminados por lubricantes, fugas de combustibles, entre otros. Para mejorar la fertilidad química y biológica de los sustratos puede ser conveniente añadir pequeñas dosis de materiales orgánicos residuales (lodos de depuradora,

compost de diversa procedencia, estiércoles) o restos vegetales procedentes de un desbroce reciente (Alcañiz, J., Ortiz, O. & Carabassa, V. 2007).

Las plantaciones

Las plantaciones tienen diferentes finalidades. La cubierta vegetal reduce la escorrentía superficial y la erosión. En condiciones susceptibles de presentar procesos erosivos importantes (taludes de gran pendiente con sustratos muy erosionables), las siembras iniciales tienen como objetivo principal la fijación del sustrato. Se suelen utilizar especies de rápido crecimiento, con frecuencia denominadas especies *estárter*, capaces de formar un estrato herbáceo denso con relativa rapidez. Entre estas especies, las gramíneas tienen un papel relevante, ya que son capaces de formar numerosas hojas a ras del suelo y porque enraízan densamente en el suelo. También tienen interés las leguminosas, a causa de su capacidad de utilizar el nitrógeno atmosférico, y por tanto de crecer en sustratos pobres en nutrientes y de mejorarlos (Jorba, M., & Vallejo, R., 2010).

El uso de especies *estárter* anuales o que persistan poco en las zonas plantadas puede generar cubiertas vegetales iniciales importantes y posteriormente pueden permitir la introducción espontánea o forzada de las especies presentes en los ecosistemas naturales de referencia.

Algunas de las especies escogidas para las plantaciones son cosmopolitas, presentes en muchas comunidades vegetales y se han incluido por su capacidad de generar el recubrimiento vegetal en condiciones adversas. Otras son más específicas, y se recomiendan en determinados climas, o sustratos.

El principal objetivo de las plantaciones en las canteras, en el contexto de la restauración ecológica, es acelerar la sucesión creando la composición, la estructura física y la función del ecosistema de referencia (entendido como el que representa el paisaje del entorno del área a restaurar o el paisaje preexistente). Se asume que esta combinación de estructura y función será capaz de aportar una serie de servicios a la sociedad (depuración del agua, control hidrológico, protección del suelo, entre otros servicios ecosistémicos). (Cárdenas & S.P. Montoya-Villarreal. 2010).

Los ecosistemas, incluso los aparentemente más sencillos, constituyen una compleja red de interacciones dinámicas: reconstituirlos de forma completa partiendo de cero no es posible. Pero hay medios que pueden facilitar el ensamblaje de diferentes partes del ecosistema y la reorganización de estos. La introducción de plantas leñosas tiene un objetivo doble, por un lado, *recuperar estas especies*, con frecuencia emblemáticas y necesarias para el funcionamiento del ecosistema en su conjunto y por otro, *promover su papel como especies clave*, que pueden atraer otras especies, contribuyendo a el restablecimiento de la integridad del ecosistema (Alcañiz, J.; Ortiz, O.; & Carabassa, V. 2007).

En términos generales, la actividad de extracción minera a cielo abierto genera impactos ambientales, que deben ser controlados y mitigados, para ello habitualmente los planes de manejo ambiental incorporan programas de revegetación en áreas finales y áreas de influencia del frente de explotación. La empresa cuenta con un programa de revegetación y recuperación de áreas degradadas producto de la actividad minera.

La continuidad en la revegetación y demás acciones que implica la recuperación de áreas, más el estricto cumplimiento de los planes señalados, son tres aspectos que respaldan la gestión de Holcim en este sentido, donde se garantiza la supervivencia de las especies plantadas y recuperación ecológica del sector de manera paulatina.

El seguimiento a las Plantaciones

El monitoreo es un proceso y no una meta por si misma (Hellowell 1991), esta actividad permite revelar si ha ocurrido un cambio en un sistema, su dirección e intensidad, a su vez permite detectar si un sistema se mantiene estable, al compararlo de manera continua o periódica con su estado inicial (o con un intervalo de variación) y observar que los resultados no cambian (Hellowell 1991). En contraste, cuando se manipula un sistema en una dirección esperada, como es el caso de la restauración ecológica, el monitoreo permite evaluar, por un lado, cuanto ha cambiado el mismo con respecto a su condición inicial y, por otro lado si ha cambiado en la dirección esperada hacia un estado ideal o de referencia y que tan cerca está de ese estado (Ferraro y Pattanayak 2006). El seguimiento o monitoreo brinda transparencia y claridad en la rendición de cuentas y así genera confianza sobre un proyecto y su administración.

Una vía para prevenir, contrarrestar y mitigar los efectos de los impactos negativos en el desarrollo minero lo constituyen las evaluaciones ambientales como herramientas de gestión; estas tienen por objetivo verificar el cumplimiento de las normativas y parámetros ambientales vigentes y dar a conocer el estado de los componentes del entorno, posibilitando la planificación de las acciones para mantener o mejorar las características del medio ambiente (Oyarzún, 2008).

Como parte de las tareas de protección de los recursos naturales, varias compañías de la industria minera entre ellas Holcim, han implementado sistemas de monitoreo y seguimiento para determinar el grado de cumplimiento y efectividad de los programas establecidos y la necesidad de ajustarlos o diseñar nuevas medidas, además dicho monitoreo es una forma de acumular experiencia que puede ser de utilidad en otras fases del proyecto o en proyectos nuevos.

La exdirectora del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y actual rectora de la Universidad EAN, Brigitte Baptiste, señala que la labor que están haciendo las compañías mineras en cuanto revegetación y reforestación es muy importante y que está funcionando bastante bien porque ahora hay capacidad de monitoreo, garantías para que esas actividades de restauración no se pierdan rápidamente y se manejen condiciones mucho más cuidadosas de gestión asociada con la restauración.

La restauración ecológica requiere de un compromiso a largo plazo y que toma décadas para mostrar los resultados esperados (Rey Benayas et al. 2009, Moreno-Mateos et al. 2012). La restauración ecológica conlleva un alto nivel de incertidumbre producto de la compleja naturaleza socioecológica de los proyectos, del entorno biofísico y de la naturaleza experimental de metodologías aun en desarrollo. Por añadidura, es una actividad costosa que puede ascender a varias decenas de miles de dólares por hectárea (Erskine 2002), especialmente cuando se requieren obras de ingeniería. Esta combinación de incertidumbre, largo plazo y alto costo le confiere a la restauración ecológica un alto nivel

de riesgo, lo cual puede interferir con el apoyo del público y los donantes para llegar resultados exitosos.

Metodología

Área de estudio

El presente proyecto se realizó en el municipio de Iza, forma parte de la provincia de Sugamuxi, en el Departamento de Boyacá, limita por el sur con Cuitiva, por el norte con Firavitoba, por el occidente con Pesca y por el oriente con Sogamoso, está situado a $5^{\circ}35'40''$ de latitud norte y a $72^{\circ}59'$ longitud oeste en relación con el meridiano de Greenwich. Se encuentra localizado en el piedemonte de la Cordillera oriental y sobre el costado sur del Valle de Sogamoso.

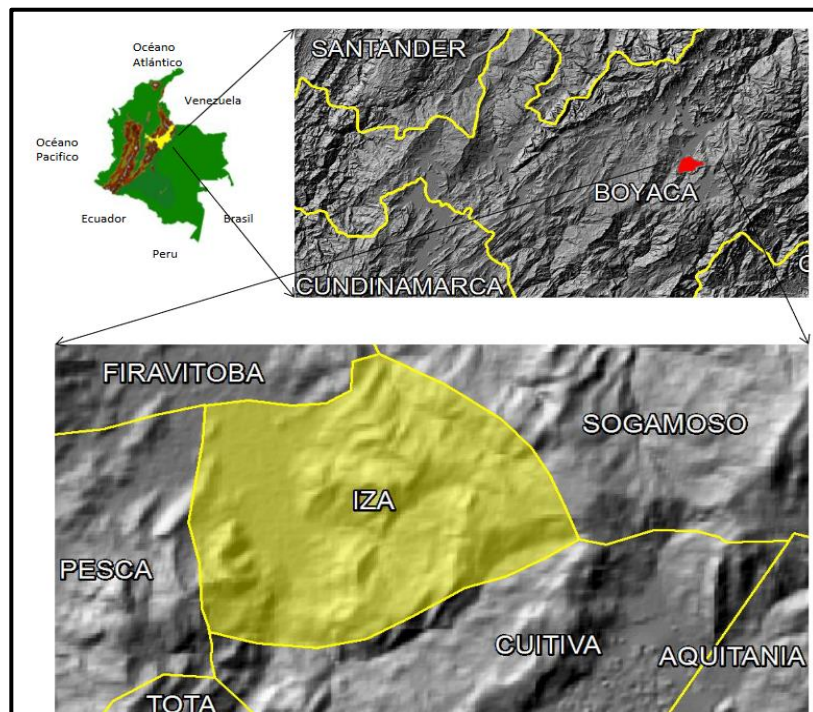


Figura 1. Localización municipio de Iza.

Fuente: Plan de desarrollo municipal Iza 2016-2019

Abarca 3.400 Ha (34 Km²); a una altitud 2550 m; con temperatura media de 15°C, y población de 1.878 habitantes. Se encuentra 90 Km. al oriente de Tunja; en el sector urbano se encuentran 461 predios, 67 hectáreas, 9800 m² y un área construida de 34226 m². El sector rural cuenta con 1492 predios, 3.332 hectáreas, 200 m² y un área construida de 19560 m². Forma en su conjunto el denominado “Valle de Iza”, producto de la depresión de la cordillera oriental. El Municipio de Iza, además de la cabecera municipal lo conforman 7 veredas: Agua Caliente, Busagá, Carichana, Chiguatá, San Miguel. Toquilla y Usamena. (Rojas G, 2018).

Geología

Geológicamente en el municipio de Iza, afloran rocas de origen sedimentario, pertenecientes a las formaciones Conejo, Ermitaño, Guaduas, Socha Inferior, Socha Superior, Picacho y Concentración, además de un depósito de rocas ígneas intrusivas (riolitas) de origen hidrotermal, localizada al oeste del Municipio. (EOT, 2000).

En el territorio existen explotaciones de 3 clases diferentes de minerales con una producción de 400.000 Toneladas /año, sobresaliendo las de puzolana, roca fosfórica y carbón. (Aguilar & Molano, 2015).

Zona de Vida

Esta área de estudio está inmersa en la una zona de vida correspondiente a Bosque seco montano bajo (bs-MB), según el sistema de clasificación propuesto por (Holdridge 1977), el cual se encuentra rodeado por los piedemontes de la cordillera oriental, a nivel local, corresponde a las zonas bajas de laderas muy pendientes con tierras secas y subhúmedas influenciadas por las corrientes de las altas montañas desde Sogamoso

pasando por el municipio de Iza y todo el descenso del Rio Chicamocha en la región media de Boyacá.

Pendiente

Las pendientes de los suelos varían de 0 a 15% la cual constituye la parte plana del municipio, localizada en las veredas de Agua caliente, Toquilla, San Miguel, Busagá y Usamena y son utilizadas para cultivos, pastos, rastrojos, bosques de eucaliptos, vivienda y minería en afloramientos rocosos. Las áreas con pendientes mayores del 50% están cubiertas por rastrojos, algunas también constituyen afloramientos rocosos. (CIDEA,2013).

Usos del suelo

La cobertura vegetal en el municipio es muy escasa, predominan algunos relictos de bosque nativo y bosque secundario especialmente de Eucaliptos. (Rojas G, 2018). Las principales actividades económicas son la explotación minera de carbón y puzolana, actividades agrícolas representadas por los cultivos de cebolla, papa, maíz y la ganadería a pequeña escala. También se puede apreciar bosques plantados de eucaliptos y pequeños reductos de matorrales entre zonas de colinas y laderas utilizados para conservar los suelos (EOT, 2000).

Coberturas

El PMA del municipio en 2013, señala que en Iza se presentan las siguientes: Bosque Natural Primario Intervenido, localizados en la parte media y alta del área municipal en la vereda de Busagá y el sector alto de la microcuenca de la quebrada Chiguatá. Bosques Secundarios, conformado por áreas de bosque de pino, eucalipto y sauce, distribuidos heterogéneamente en el municipio, para usos domésticos, sostenimiento

de las minas de carbón y como materia prima para la industria de papel, cultivos Mixtos e Intercalados (Ms): corresponden a cultivos de papa, arveja, maíz, trigo, haba, pastos y rastrojos; estas se encuentran localizadas en las veredas de Chiguatá, Busagá y Carichana.

En la zona de estudio la cobertura es de rastrojos, localizados principalmente en las veredas de Agua caliente, Usamena, Toquilla, Carichana, Busagá, conformado principalmente por espino, hayuelo, chilco, upa, retamo, arrayán, cañuela, ciro y rastrojo bajo como verbena, amapola, coronilla, mastrantillo, vegetación es utilizada como leña y alimento para Ovinos, Bovinos y Caprinos. Y los pastos manejados, en las veredas de Usamena, Toquilla, San Miguel y Agua Caliente, en la parte plana del municipio con pendientes que varían del 0-15 y del 15 al 30% en zonas de ladera. Los pastos son kicuyo, carretón, raigrás y alfalfa, están siendo utilizados en ganadería extensiva, producción de leche, levante y engorde de ganado Holstein.

Hidrografía

Iza hace parte de la gran cuenca del río Magdalena, la cual integra como una de sus principales unidades la cuenca del río Chicamocha. Dentro del municipio se encuentra la micro cuenca del río Iza, que es alimentada por las quebradas Chiguatá, Toquilla, la Fragua, Aguacaliente, y Carichana entre otras. (Alvarado, Malaver, Nieto,2017)

La Quebrada Agua caliente, nace a una altura de 2.950 m.s.n.m en la vereda Agua caliente y ocupa un área de 247.65 hectáreas, con caudal intermitente, lo que quiere decir que solo presenta corriente de agua durante alguna parte del año por lo general, en la época de lluvias.



Figura 2. Imagen satelital de la localización Mina Puzolana.

Fuente: Google earth 2020.

Diseño metodológico

El esquema planteado a continuación muestra los pasos que se siguieron para el seguimiento a la reforestación realizada en la margen de la quebrada agua caliente, sector mina Iza – Boyacá.

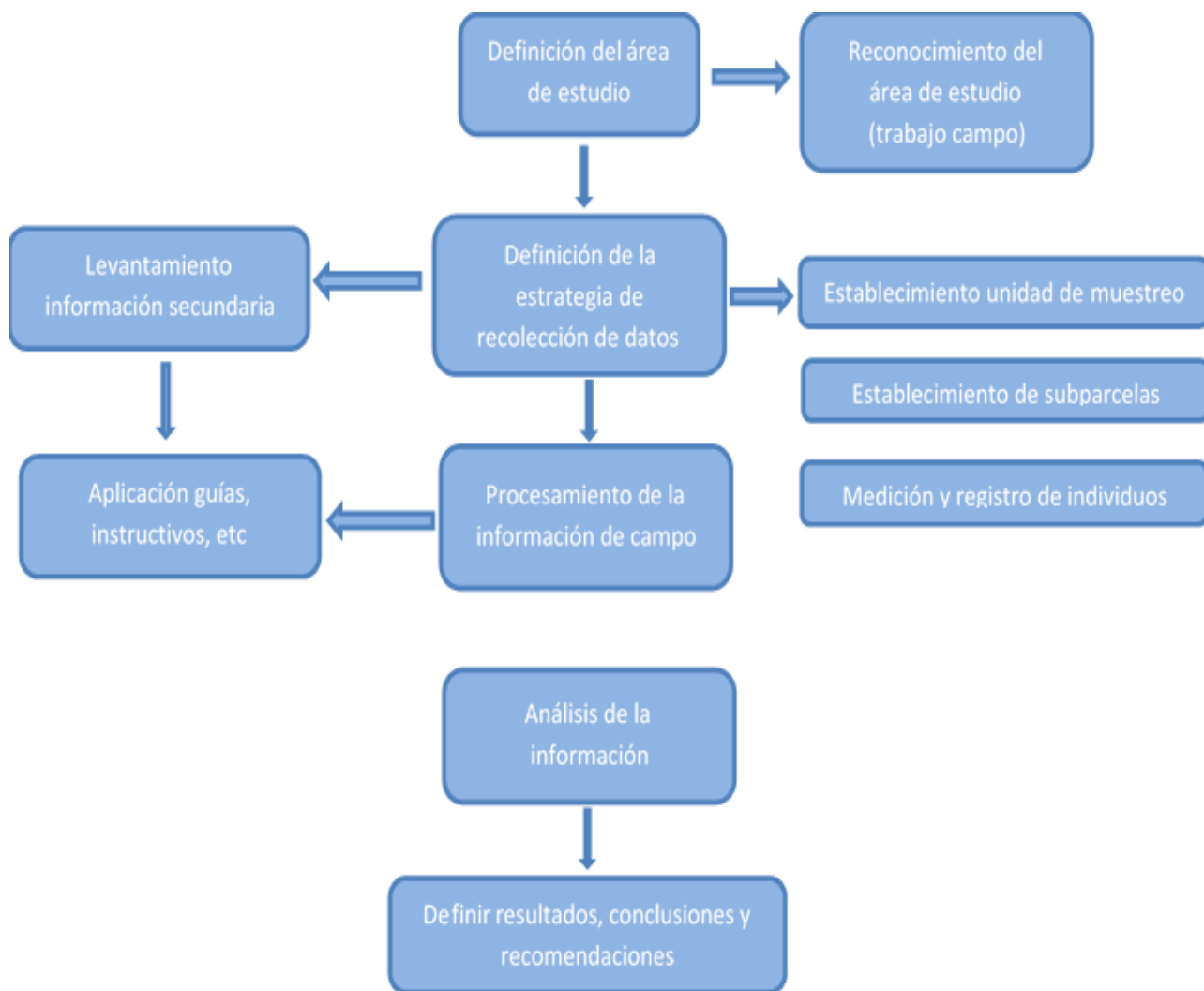


Figura 3. Esquema del proceso metodológico para la recolección de datos.

Fuente: Autora (2020)

Seguimiento y Evaluación de la revegetación en la margen de la quebrada Agua caliente

La estrategia seleccionada para recolectar la información necesaria para la evaluación de la revegetación realizada por la empresa se llevó a cabo mediante un inventario forestal al 100% en las zonas planas y de fácil acceso, a su vez, se realizó un muestreo sistemático (extrapolación) en áreas con dificultad para acceder, debido a la

pendiente del terreno. La metodología se implementó teniendo en cuenta lo establecido en el “Manual de Campo: Inventario Forestal Nacional de Colombia (2018), y “Manual de Inventario Forestal Integrado para unidades de Manejo” (2014) de los cuales se escogieron los siguientes pasos:

- Establecimiento unidad de muestreo

La definición de la unidad de muestreo fue establecida de acuerdo a las coberturas vegetales identificadas en los predios de la compañía y estipuladas por la Autoridad Ambiental encargada de la revisión de los planes de manejo.

- Establecimiento de parcelas

El establecimiento de las parcelas se realizó de acuerdo al manual de inventario forestal integrado para unidades de manejo de la WWF- PROARCA (Pinelo, 2014). Las parcelas establecidas fueron de forma rectangular, con un ancho de 10 m y una longitud de 500 m cada una, divididas en sub-parcelas de 50x10m. Estas se trazaron de acuerdo al cambio de las coberturas vegetales y de los linderos de la empresa.



a. *Figura 4. Diseño y establecimiento unidades de muestreo. (a).* **b.** *Diseño de parcelas(4b).*

Fuente: Pinelo (2014), Google earth (2020)

Establecimiento de parcela y sub-parcelas en el área de estudio.

En cada sub-parcela se registraron los siguientes parámetros de acuerdo al Manual de Campo de Inventario Forestal Nacional de Colombia.

✓ Categorías de tamaño

1. Brinzales: $DAP < 2,5 \text{ cm}$

2. Latizales: $DAP < 10 \text{ cm} \geq 2,5 \text{ cm}$

3. Fustales: $DAP \geq 10 \text{ cm}$

✓ DAP: Es la medida del diámetro a la altura de la cintura. La medida promedia establecida es a 1.30 m de altura desde el suelo.

✓ Altura Total (HT): Es la altura estimada del árbol desde la superficie hasta el ápice de la planta.

✓ Especie: la unidad básica de clasificación biológica.

✓ Nombre común: Es el nombre local, con el cual es conocida la especie en la zona.

✓ Cobertura (C): es la proporción de suelo ocupado por cierta especie de planta, es decir, el área total cubierta (área basal o el follaje de la copa) por la especie.



Figura 5. Toma de datos y variables dasométricas en las parcelas establecidas.

Fuente: Autora (2020).

- Evaluación de áreas de difícil acceso- Extrapolación.

Para la evaluación de tres (3) áreas que se encontraron con condición de difícil acceso (parcelas 5, 6 y 7) se optó por realizar extrapolación, por lo tanto para realizar el cálculo de estimación de individuos se consideró la similitud de las características de la cobertura vegetal en las parcelas censadas, la forma y densidad de siembra, las cuales corresponden a sistema tres bolillo y 1,5m de distancia entre plantas.

Para la estimación de la abundancia o cantidad de individuos plantados en las áreas extrapoladas (parcelas 5, 6 y 7) se empleó la metodología propuesta por la evaluación y seguimiento de la restauración de zonas afectadas por minería 2015. Donde la diversidad se estima mediante la identificación de las especies de árboles en parcelas de muestreo de 10 x 10 m. La abundancia de leñosas se obtuvo contando en cada parcela número de

individuos de especie. Para obtener un dato representativo se tomó medidas en un mínimo de cuatro parcelas por zona y expresar los resultados como una media. (Carabassa, Ortiz y Alcañiz, 2012).

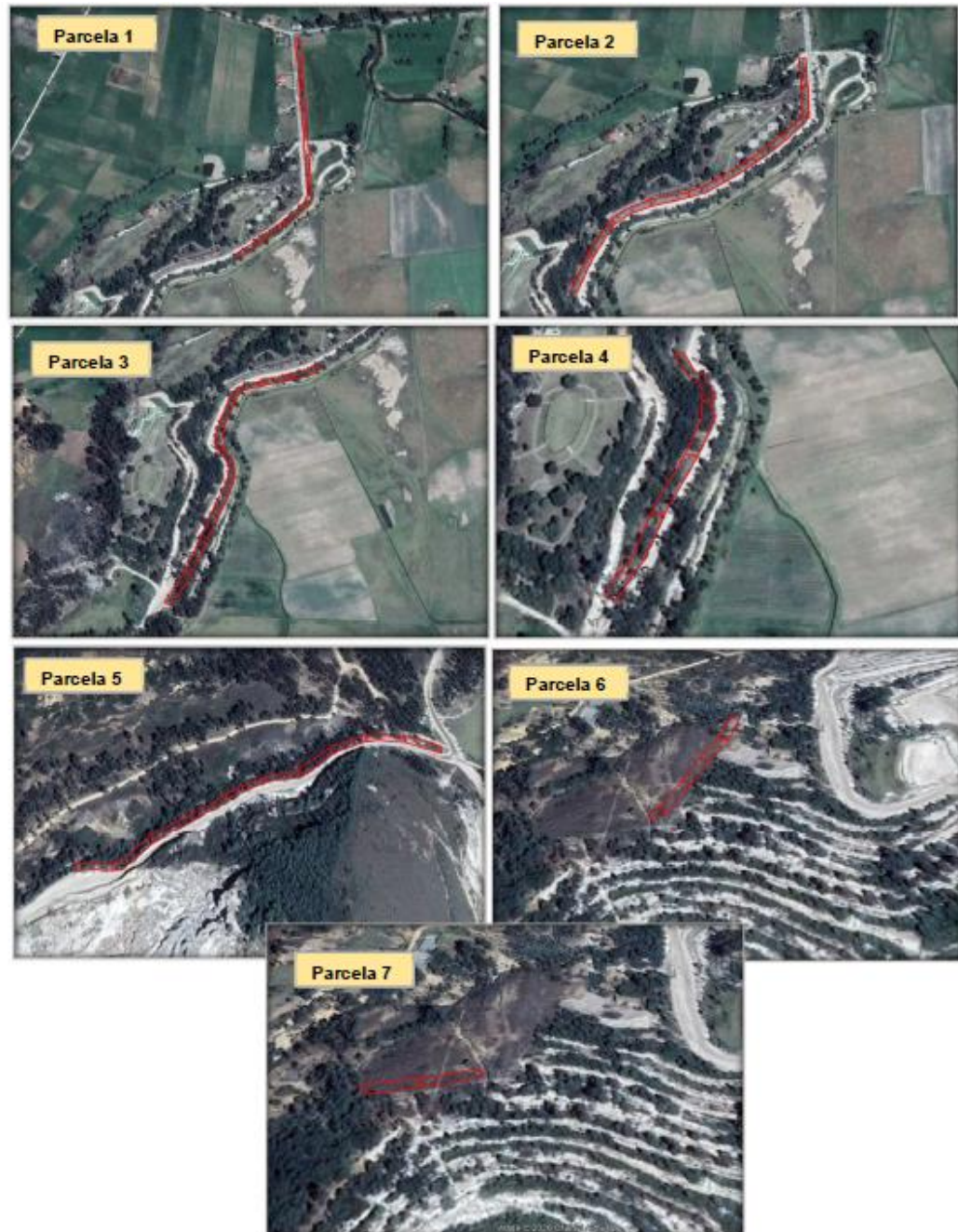


Figura 6. Ubicación de parcelas en la margen de la quebrada Agua caliente.

Fuente: Google earth 2020. Diseño del trazado Kaszas J. & Rojas G.

Caracterización florística del área de protección de la quebrada Agua caliente

Para realizar la caracterización florística del área de protección de la quebrada

Agua caliente se realizaron las siguientes actividades:

- Determinación de las coberturas vegetales existentes en el área de estudio.

Para la determinación de coberturas vegetales y de la tierra se utilizó la metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia por el IDEAM en 2010, la cual es exigida por la autoridad ambiental (CORPOBOYACÁ) y consulta de la cartografía básica y temática existente para la zona de estudio.

- Composición florística

Para determinar la composición florística de la zona de estudio, se procedió a la identificación de las especies leñosas registradas en cada una de las parcelas establecidas con la ayuda de biólogos botánicos y guías de flora especializadas para zonas de vida de Bosque seco montano bajo, la descripción de la fisionomía, los perfiles de vegetación de cada cobertura existente y se calculó la diversidad alfa del área de estudio.

- Diversidad alfa de la zona de estudio

El cálculo de la diversidad de la zona de estudio se realizó con el Software - PAST. Se identificaron y analizaron los índices de diversidad de acuerdo a lo definido por Villarreal, et. al. (2004), de la siguiente manera:

Dominancia: Tiene en cuenta las especies que están mejor representadas (dominan) sin tener en cuenta las demás.

Diversidad de Shannon: Asume que todas las especies están representadas en las muestras; indica qué tan uniformes están representadas las especies (en abundancia) teniendo en cuenta todas las especies muestreadas.

Brillouin: Asume que toda la población ha sido muestreada; predice como están representadas las especies con base en la relación entre el número total de individuos de todas las especies y el número de individuos de cada especie.

Margalef: Relaciona el número de especies de acuerdo con el número total de individuos.

Equitabilidad: Tiene en cuenta la abundancia de cada especie y que tan uniformemente se encuentran distribuidos.

Acciones para el manejo y proyección de revegetaciones futuras en la mina.

Para determinar las acciones de manejo y proyección de futuras revegetaciones se tuvo en cuenta los resultados obtenidos de la evaluación de la reforestación de la quebrada Agua caliente y se consultaron las disposiciones de los convenios suscritos por el Ministerio de Ambiente en materia de "Conservación, Restauración y Manejo Sostenible de Ecosistemas Forestales en Cuencas Hidrográficas", en el cual se busca asegurar la renovación y disponibilidad del recurso hídrico para el consumo humano y las actividades productivas.

Análisis de datos

Teniendo como base los registros de campo se digitalizó la información recolectada y revisada en formato Excel, generando una base de datos que incorpora los atributos dasométricos de los árboles de cada una de las parcelas establecidas.

Se procesó la información contenida en la base de datos para estimar el total de individuos en el área de estudio, el área basal y volumen total, índices de biodiversidad, especies amenazadas y especies invasoras.

Para obtener la cubicación forestal y área basal se empleó la metodología propuesta por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, (CORPOBOYACÁ), debido a que esta institución como autoridad ambiental es la encargada de emitir los términos de referencia para estudios técnicos de inventarios y aprovechamientos forestales.

- Cubicación forestal y área basal:

Para establecer el volumen en metros cúbicos a aprovechar se aplicó la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi}{4} (\text{DAP})^2 \cdot \text{At} \cdot \text{fm}$$

fm = factor forma (cilíndrico 0,75)

At = Altura total.

DAP = Diámetro a la altura del pecho (1.3 metros).

El área basal por individuo se calculó con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi}{4} (\text{DAP})^2$$

- Identificación especies nativas y exóticas

Para la identificación de especies nativas y exóticas se realizó la revisión bibliográfica para flora de Colombia, Catálogo de plantas y líquenes de Colombia de la universidad Nacional, Herbario virtual BIOVIRTUAL de la UNAL y la base de datos del jardín botánico: Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá. También se contó con la colaboración de una profesional conocedora de la flora nativa de la zona durante el trabajo de campo y la experiencia propia de la autora de este trabajo.

- Identificación especies invasoras

Previo al trabajo de campo, se realizó la revisión bibliográfica de libro “Estado de conocimiento de especies invasoras: Propuesta de lineamientos para el control de los impactos” publicado por el Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander Von Humboldt y se hicieron visitas a otros predios, para el reconocimiento de dichas especies mediante observación directa, con el fin de facilitar su identificación en campo.

- Identificación especies amenazadas

Una vez identificadas las especies del área de estudio se procedió a compararlas con el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica continental y marino-costera colombiana teniendo en cuenta las siguientes categorías de acuerdo a la resolución 1912 del 15 de septiembre del 2017, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible:

1. En Peligro Crítico (CR): Aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre.

2. En Peligro (EN): Aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre.

3. Vulnerable (VU): Aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre.

Las especies que no se encuentran en el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica continental y marino-costera colombiana se les asignó la categoría (LC) preocupación menor de acuerdo a la categorización de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN.

Resultados y discusión

Seguimiento y Evaluación de la revegetación en la margen de la quebrada Aguacaliente.

Inventario Forestal 100%

El inventario forestal realizado a las plantas leñosas en el área de estudio arrojó los siguientes resultados: El área de estudio inventariada es de 4 Ha en las cuales se registró un total de 7.853 individuos, distribuidos en 41 especies.

Tabla 1. Resultados Inventario forestal al 100% en la margen de la quebrada Aguacaliente.

PARCELA N°	Total Individuos	Total Individuos DAP \geq 10cm	Total Individuos DAP <10 cm \geq 2,5 cm	Total Individuos DAP < 2,5cm
1	429	304	119	6
2	834	133	500	201
3	890	693	195	2
4	401	127	125	149
5	1176	685	273	218
6	482	2	480	0
7	245	15	230	0
TOTAL	4.457	1.959	1.922	576

Evaluación de áreas de difícil acceso- Extrapolación.

Tabla 2. Resultados extrapolación en áreas de difícil acceso

AREA EXTRAPOLADA	TOTAL INDIVIDUOS
1 (p5)	1100
2(p6)	1490

3(p7)	806
-------	-----

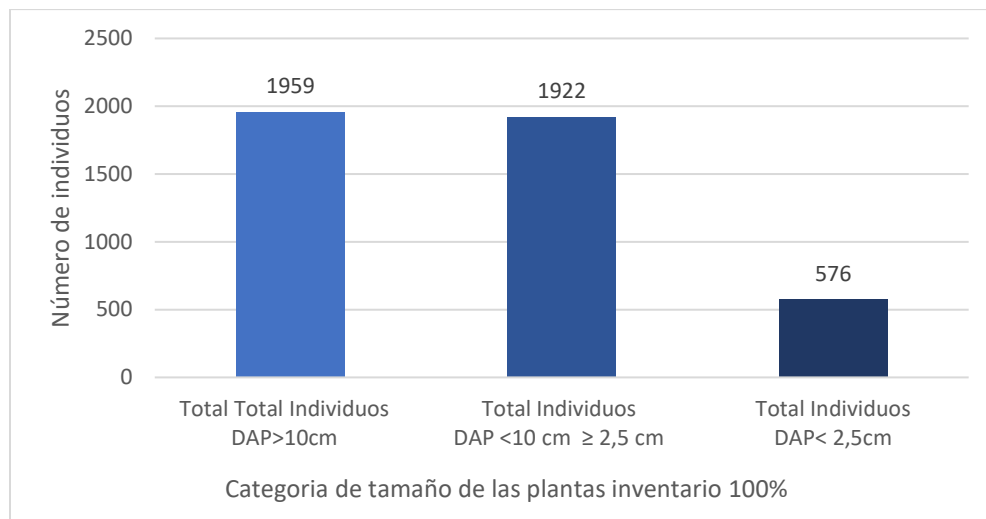


Figura 7. Categorías de tamaño plantas leñosas registradas en el inventario del 100%.

Fuente: Autora (2020)

Resumen variables dasométricas tomadas en al área de estudio.

Tabla 3. Resultados resumen de variables dasométricas tomadas a los individuos

TOTAL INDIVIDUOS	Nº FUSTALES DAP \geq 10cm INVENTARIADOS	DAP (m) PROMEDIO	ALTURA (m) PROMEDIO	AREA BASAL (m) PROMEDIO	VOLUMEN TOTAL (m ³)	VOLUMEN PROMEDIO (m ³)	DENSIDAD (ARB/HA)
7.853	1.959	0,47	7,10	0,60	4.688,77	4,78	1.963,25

En la tabla 3, se puede observar que la densidad de árboles/ha en el área de estudio es de 1.963indv/ha, a su vez se calculó un volumen estimado de 4.688m³ para toda el área inventariada con un promedio de DAP de los árboles equivalente a 0,47m. Lo anterior indica que la zona revegetada corresponde a un bosque secundario en proceso de desarrollo, en los que la dinámica natural de crecimiento refleja rodales en diferentes fases

de evolución. Las especies con mayor DAP y altura registradas en el área de estudio corresponden a acacias y eucaliptos las cuales aportan los mayores volúmenes en términos de madera aprovechable y biomasa, esto debido a sus características de crecimiento rápido y fácil adaptabilidad a diferentes tipos de climas y suelos. Por su parte las especies nativas plantadas, presentan menores volúmenes y menores alturas dadas sus características de crecimiento lento y mayores dificultades de adaptación, principalmente en suelos pobres en nutrientes como es el caso de Iza.

Caracterización florística del área de protección de la quebrada Agua caliente

Determinación de las coberturas vegetales y de la tierra.

Tabla 4 . Coberturas registradas en el área de influencia al proyecto minero.

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.3 Zonas de extracción minera y escombreras 1.3.1 Zonas de extracción minera
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.3. Pastos 2.3.1 Pastos limpios
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	3.1 Bosques 3.1.5 Plantación forestal
	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva 3.2.1.1 Herbazal denso 3.2.1.1.2 Herbazal denso de tierra firme arbolado 3.2.1.2 Herbazal abierto 3.2.1.2.2 Herbazal abierto rocoso 3.2.2.1 Arbustal denso 3.2.3 Vegetación secundaria

En el área de estudio (margen de la quebrada Agua caliente se registró la cobertura de la tierra correspondiente a *Plantación forestal*. Las demás coberturas reportadas en la tabla 4, se registraron en las inmediaciones de todo el título minero de la compañía.

- **Plantación forestal:** Corresponde a coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. En este proceso se constituyen rodales forestales, establecidos mediante la plantación durante el proceso de forestación o reforestación, para la producción de madera (plantaciones comerciales) o de bienes y servicios ambientales (plantaciones protectoras). En el área de estudio esta cobertura está representada por misceláneo de especies nativas o introducidas que fueron sembradas para recuperación de las áreas degradadas. Se pueden encontrar mezclados por varias especies o separados por especies como por ejemplo Bosque forestal de eucalipto: corresponde a masas boscosas con predominio de *Eucalyptus globulus*, con alturas entre 4 y 15 metros, encontrados en los límites de la explotación; son bosques utilizados principalmente para la extracción de maderas y restauración de zonas rocosas. Bosque de Acacias: Corresponde a pequeñas áreas de bosque plantado con varias especies de acacias como: *Acacia melanoxylon*, *Acacia decurrens*, con alturas entre 8 y 12 metros. Bosque mixto plantado con especies nativas y exóticas: se registraron varias plantaciones mixtas en diferentes estados de crecimiento. Estas plantaciones forman pequeños bosques donde se encuentra la presencia de especies como: garrocho (*Viburnum triphyllum*), drago (*Croton bogotanus*), aliso (*Alnus acuminata*), cerezo (*Prunus serotina*), entre otros.
- **Fisionomía del área de estudio:** La comunidad está definida por vegetación arbórea de individuos bien desarrollados que alcanzan alturas hasta 12,5 metros. Se diferencian dos estratos fundamentales: el arbóreo con especies que superan los 8

metros de altura y el estrato arbustivo con especies que se encuentran entre los 3 y 6 metros.

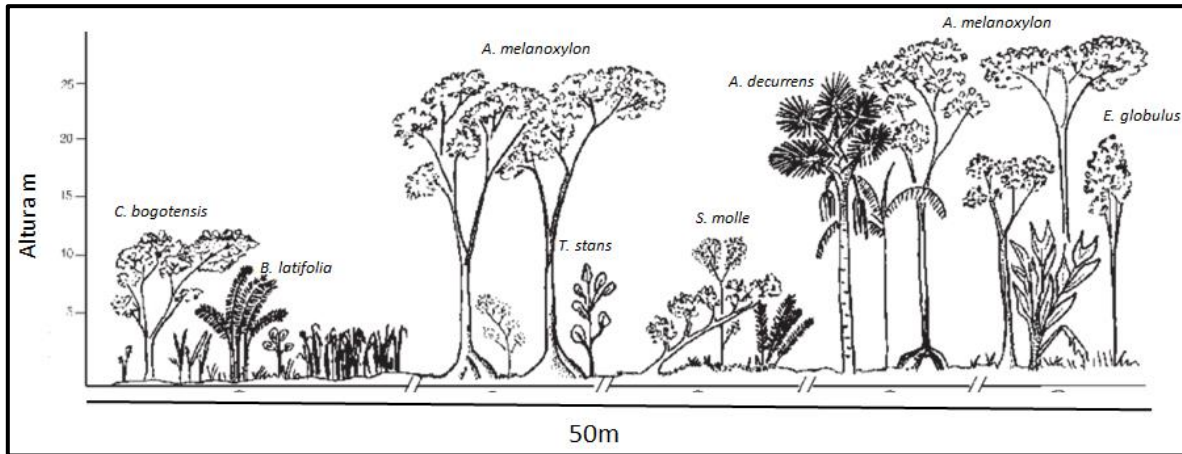


Figura 8. Perfil de vegetación cobertura Plantación Forestal.

Fuente: Autora (2020)

En el perfil de vegetación horizontal y vertical, realizado a la cobertura Plantación forestal, se puede apreciar el grado de sociabilidad y estructura espacial de la cobertura, se encontró que las especies *A. melanoxydon*, *A. decurrens* y *E. globulus*, presentan los mayores grados de sociabilidad y amplia distribución espacial. Estos taxones revisten importancia estructural y funcional debido a sus altos valores de abundancia-dominancia, sociabilidad, cobertura, además son especies facilitadoras de los procesos de regeneración ecológica. Su presencia en el ecosistema objeto de estudio, definen la configuración y composición de las comunidades vegetales de pastos. Las demás especies registradas se pueden catalogar como especies comunes no estructurales y no funcionales con respecto a las anteriores debido a sus bajos valores de abundancia-dominancia y sociabilidad. Sin embargo, no significa que nos sean importantes para el ecosistema.

- Ecología de la comunidad vegetal: las plantas se desarrollan sobre suelos extremadamente ácidos, de textura franco arcillosa, pobremente drenados. Se encuentra entre 2500 a 2900 m.s.n.m., en sitios con pendiente del 15 al 55%, ubicada en zonas de laderas bien definidas, donde sus principales representantes son las acacias. (Rojas G, 2018)

Determinación de la composición florística del área de estudio.

En la margen de la quebrada Agua caliente, se registraron un total de 7.853 individuos distribuidos de la siguiente manera: 27 familias, 37 géneros y 41 especies, de los cuales se encuentran 28 especies nativas, 13 especies exóticas. Dentro de las especies nativas identificadas se registró una (1) especie categorizada como Vulnerable y dentro de las especies exóticas se registró la presencia de 1 especie invasora.

Tabla 5. Especies Nativas registradas en el área de estudio.

Familia	Especie	Nombre común	Biotipo	Usos Potenciales	Categoría Amenaza - RES 1912/2017
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	Muelle	Árbol	Cercas vivas	LC
Adoxaceae	<i>Viburnum triphyllum</i>	Juco/ Garrocho	Árbol	Madera	LC
Araliaceae	<i>Oreopanax incisus</i>	Mano de oso	Árbol	Protección fuentes hídricas	LC
Asteraceae	<i>Baccharis bogotensis</i>	Chilca/ Ciro	Árbol	Protección de suelos	LC
	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilco	Árbol	Protección de suelos	LC
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	Árbol	Control de erosión, madera	LC
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i>	Chicalá	Árbol	Cercas vivas, alimento fauna	LC
Euphorbiaceae	<i>Croton bogotensis</i>	Drago	Árbol	Cercas vivas, protección suelos	LC
Myricaceae	<i>Morella parvifolia</i>	Laurel de cera	Árbol	Protección suelos	LC
Rosaceae	<i>Hesperomeles ferruginea</i>	Mortiño	Árbol	Cercas vivas, alimento fauna	LC
Salicaceae	<i>Xylosma spiculifera</i>	Corono	Árbol	Cercas vivas	LC
Saxifragaceae	<i>Escallonia pendula</i>	Mangle	Árbol	Control de erosión	LC
Verbenaceae	<i>Citharexylum sulcatum</i>	Cajeto	Árbol	Cercas vivas, madera	LC
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i>	Hayuelo	Arbusto	Protección suelos	LC
Myrtaceae	<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	Arrayán	Árbol	Conservación	LC

Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Cucharo	Árbol	Cercas vivas, alimento fauna	LC
Verbenaceae	<i>Duranta mutisii</i>	Espino	Arbusto	Cercas vivas	LC
Fabaceae	<i>Senna viarium</i>	Alcaparro	Arbusto	Cercas vivas	LC
Solanaceae	<i>Solanum ovalifolium</i>	Cucubo	Árbol	Protección de suelos	LC
Moraceae	<i>Ficus tequendamae</i>	Caucho	Árbol	Cercas vivas, alimento fauna	LC
Cactaceae	<i>Opuntia schumannii</i>	Tuno/Penco	Suculenta	Cercas vivas	LC
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i>	Hayuelo	Arbusto	Recuperación de suelos	LC
Caesalpinaceae	<i>Caesalpinia spinosa</i>	Dividivi	Árbol	Cercas vivas	LC
Bignoniaceae	<i>Crescentia cujete</i>	Totumo	Árbol	Madera	LC
Adoxaceae	<i>Sambucus peruviana</i>	Tilo	Árbol	Cercas vivas, madera	LC
	<i>Sambucus nigra</i>	Sauco	Árbol	Cercas vivas, madera	LC
Fagaceae	<i>Quercus humboldtii</i>	Roble	Árbol	Protección de suelos, alimento fauna	VU
Salicaceae	<i>Salix Humboldtiana</i>	Sauce	Árbol	Recuperación de suelos	LC

Tabla 6. Especies Exóticas registradas en el área de estudio.

Familia	Especie	Nombre común	Biotipo	Usos Potenciales	Categoría Amenaza
Fabaceae	<i>Acacia melanoxylon</i>	Acacia negra	Árbol	Cercas vivas, maderable	LC
Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	Árbol	Madera, Cercas vivas	LC
Fabaceae	<i>Acacia baileyana</i>	Acacia mimosa	Arbusto	Ornamental	LC
Fabaceae	<i>Acacia decurrens</i>	Acacia	Árbol	Cercas vivas	LC
Rosaceae	<i>Cotoneaster pannosus</i>	Holly liso	Árbol	Cercas vivas, ornamental	LC
Pittosporaceae	<i>Pittosporum undulatum</i>	Jazmín	Árbol	Control de erosión, madera	LC
Rosaceae	<i>Pyracantha coccinea</i>	Holly espinoso	Árbol	Cercas vivas	LC
Rosaceae	<i>Prunus serotina</i>	Cerezo	Árbol	Protección de suelos, alimento fauna	LC
Cupressaceae	<i>Cupressus sempervirens</i>	Pino ciprés	Árbol	Cercas vivas	LC
Poaceae	<i>Penisetum setaceum</i>	Paja morada	Herbácea	Protección de suelos, alimento fauna	LC
Agavaceae	<i>Agave americana</i>	Agave amarillo	Suculenta	Ornamental	LC
Plantaginaceae	<i>Hebe speciosa</i>	Hebe	Arbusto	Ornamental	LC
Plumbaginaceae	<i>Limonium sinuatum</i>	Limonio	Herbácea	Ornamental	LC

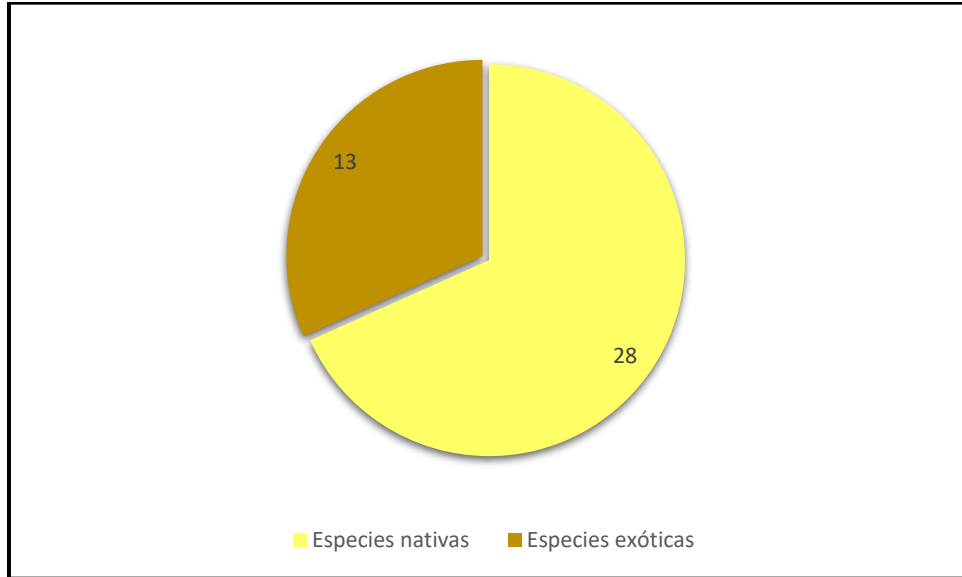


Figura 9. Especies Exóticas y nativas registradas en el área de estudio.

Fuente: Autora (2020)

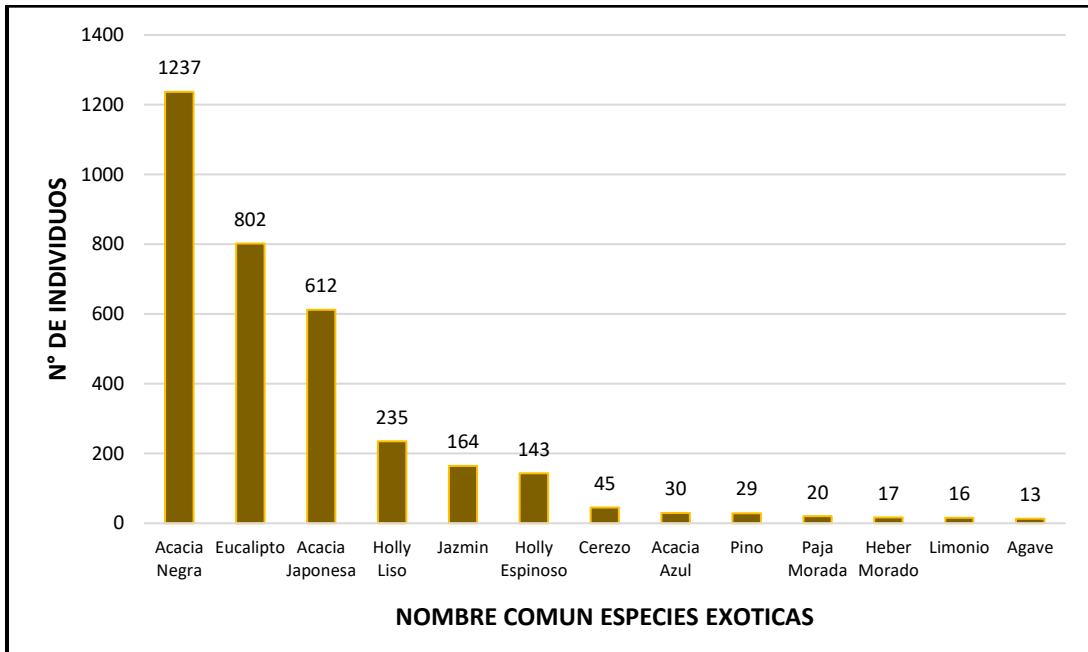


Figura 10. Especies exóticas registradas en el área de estudio.

Fuente: Autora (2020)

En la figura 9, se puede apreciar que las especies con mayor número de individuos corresponden a Acacia negra, Eucalipto y Acacia japonesa o minosa. Estas especies presentan distribución cosmopolita y mayor producción de semillas, por lo tanto se caracterizan por ser colonizadoras de cualquier tipo de hábitat.

En la tabla 6, se observa que la familias más dominantes corresponden a Fabaceae, y Rosaceae con 3 especies cada una. Estas familias presentan distribución cosmopolita y en particular la familia Fabaceae reúne árboles, arbustos y hierbas perennes o anuales. Es una familia de distribución con aproximadamente 730 géneros y unas 19.400 especies, lo que la convierte en la tercera familia con mayor riqueza de especies en el mundo.

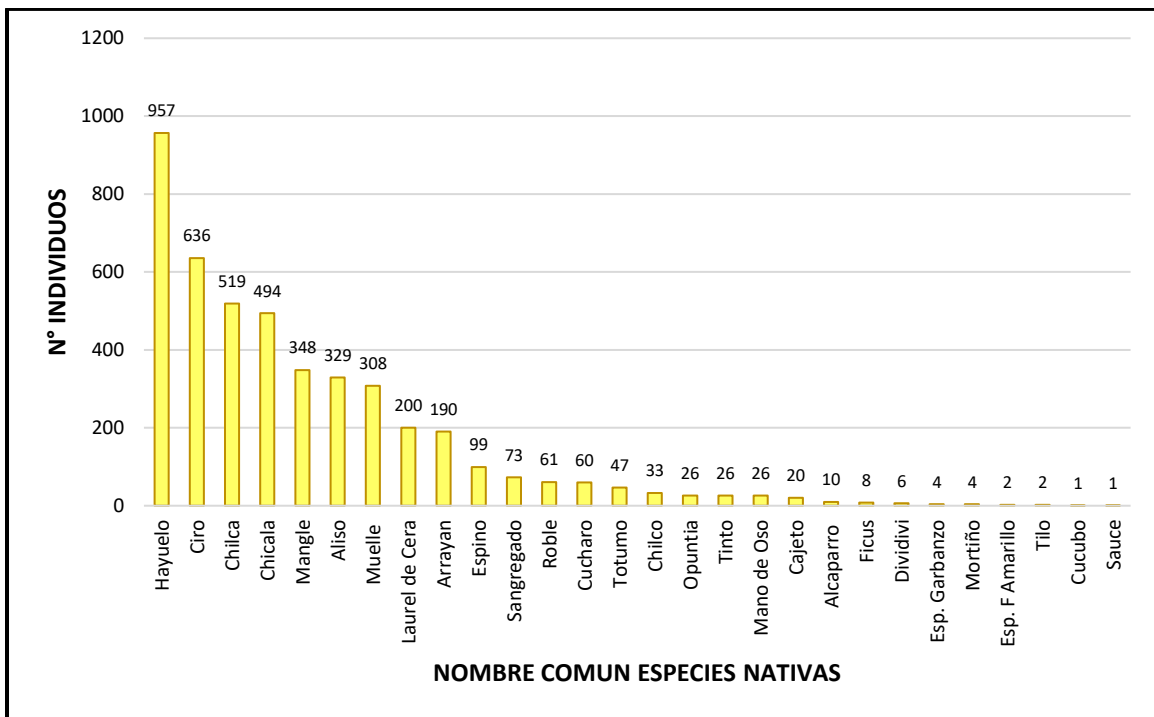


Figura 11. Especies nativas registradas en el área de estudio.

Fuente: Autora (2020)

En la figura 10, se observa que las especies con mayor número de individuos corresponden a Hayuelo, Ciro, Chilca, Chicalá y Mangle. Estas especies nativas tienen mejor desarrollo en este tipo de suelos pobres en nutrientes y por lo tanto fueron plantadas en mayor proporción, en comparación con las otras especies nativas registradas en la zona de estudio.

Colombia posee entre 40.000 y 90.000 especies de plantas, lo que equivale al 10 ó 20% del total de especies de plantas a nivel mundial, considerado muy alto para un país de tamaño intermedio, nuestro país ocupa el tercer lugar en número de plantas vasculares endémicas alberga más de 50.000 especies de flores. Sin embargo esta riqueza de flora, se ve amenazada con la introducción de especies exóticas debido al alto grado de competencia que éstas presentan y por lo tanto hacen difícil el establecimiento las especies nativas.(Campo M, 2015)

- Especies amenazadas de Colombia: De acuerdo con la resolución 1912 de 2017, solo se encontró una especie en categoría Vulnerable (VU) correspondiente al roble, (*Quercus humboldtii*) a pesar de ser una especie de amplia distribución, muy abundante y conformar grandes bosques, la mayoría de las corporaciones autónomas regionales del país la reportan como una especie con un grado avanzado de amenaza debido a la extracción maderera (Cárdenas, Salinas, 2006). En el inventario realizado se identificaron 61 individuos. Sin embargo es muy importante resaltar el hecho que la empresa siembre esta especie en sus zonas de revegetación a fin de contribuir con la recuperación de sus poblaciones.

- **Especies invasoras:** Al consultar la resolución 0207 de 2010, en el área de estudio, solo se registró la presencia de una especie invasora, el retamo liso (*Teline monspessulana*), encontrada en la parcela 3 sub parcelas 1, 2, 3, 4, 9 y en la parcela 4 sub parcela 2.

Determinación de la diversidad alfa de la zona de estudio

Tabla 7. Índices de diversidad

TAXA_S	41
INDIVIDUALS	7853
DOMINANCE_D	0,07971
SHANNON_H	2,837
BRILLOUIN	2,822
MARGALEF	4,46
EQUITABILITY_J	0,7638

De acuerdo a los índices calculados se puede inferir que la diversidad de la zona evaluada es media, teniendo como principal estimador el índice de Shannon donde sus valores se analizan en rangos de 0 a 5. También se observa que las especies plantadas en la zona están imparcialmente representadas de acuerdo con sus abundancias, y presentan una Equitatividad de un 76%.

En términos de riqueza de especies, se puede apreciar mayor riqueza de nativas con 28 especies registradas, seguidas de las exóticas con 13 especies registradas. Sin embargo, se observó que existe mayor abundancia (N° de individuos) de árboles y arbustos

exóticos, en comparación a la abundancia de las plantas nativas, se refleja un menor número de individuos por unidad de área en las inmediaciones de la microcuenca.

La superioridad de la abundancia de plantas exóticas en la mina, se puede presentar debido a los procesos de intervención antrópica, ya que luego del levantamiento de la cobertura vegetal para el proceso de extracción de la puzolana, las especies exóticas son las que primero colonizan los suelos y afloran en zonas donde hay pocos nutrientes. Otro factor que puede explicar la abundancia de estas plantas son los procesos de revegetación de la cantera, ya que se realizaba en su mayoría con especies introducidas, de rápido crecimiento, aprobadas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo, mediante la resolución 711 del 31 de octubre de 1994, (CAR,2018). Posteriormente con la aparición del Ministerio del medio ambiente la normatividad exigió la implementación de especies nativas, la cual fue acatada por la empresa. Por tales razones la revegetación de la microcuenca es un misceláneo de especies exóticas y nativas en diferentes estados sucesionales, conforme avanzan las actividades de revegetación de la compañía.

Acciones para el manejo y proyección de revegetaciones futuras en la mina.

Se puede observar que cobertura vegetal implementada en la margen de la quebrada Agua caliente, podría eventualmente presentar ciertas características suficientes para que algún grupo de animales (polinizadores o dispersores de semillas como insectos y aves) puedan establecer perchas, refugios o sean utilizadas como fuente de alimento. Es importante resaltar que durante la fase campo se observó que la cobertura vegetal, es utilizada como una zona de tránsito por diferentes especies de aves.

Uno de los grandes desafíos para Colombia, es conservar la extensión de sus ecosistemas naturales y, más aún, tratar de recuperar superficies forestales que se han perdido o degradado por factores como el cambio de uso del suelo a favor de las actividades de industrialización, entre otros factores. El Gobierno Nacional lanza en el año 2015 el Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas, para ser implementado en los ecosistemas forestales a través de la realización de obras de conservación de suelos, procesos de restauración ecológica, restauración asistida y reforestación en terrenos degradados, incorporando como criterio relevante la focalización de acciones en zonas críticas, siempre que se cuente con la voluntad y el interés de los propietarios, o administradores de dichas tierras. El Plan Nacional de Restauración reúne tres enfoques de implementación: *la restauración ecológica, la rehabilitación y la recuperación*, que dependen del tipo de intervención, del nivel de degradación del área y del objetivo de restauración.

En concordancia con lo anterior, La empresa ha destinado unas áreas para rehabilitación y recuperación de las zonas degradadas producto de la actividad minera. La empresa ha adquirido el compromiso de restaurar sus zonas degradadas con la implementación de especies nativas, sin embargo en algunas zonas de difícil adaptación y crecimiento producto de varios factores como la inestabilidad del suelo, deficiencia de nutrientes, dificultad para la retención hídrica, o zonas de bastante erosión y vientos fuertes se ha tenido que recurrir a la plantación de algunas especies exóticas pero no invasoras como holly liso y jazmín pero que según expertos en restauración han funcionado bastante bien para los procesos de recuperación de suelos en las canteras.

Teniendo en cuenta las recomendaciones de los expertos en el campo de la restauración y conservación de ecosistemas y tomando como referencia otras experiencias exitosas en el país, la empresa ha decidido enfatizar en la plantación de ciertas especies recomendadas para el control de la erosión en sus áreas degradadas. Las especies recomendadas son las siguientes:

- ✓ Chilco (*Baccharis latifolia*): excelente para la recuperación de suelos desnudos, control de taludes y surcos.
- ✓ Hayuelo (*Dodonaea viscosa*): excelente para restauración de focos de erosión severa y afloramiento rocoso, restauración en zonas con bajo potencial hídrico.
- ✓ Cucubo (*Solanum lycioides*): importante en la restauración de focos de erosión severa protección de taludes.
- ✓ Uva camarona (*Macleania rupestris*): Como herramienta agroforestal, como barrera contra vientos y contra heladas.

En cuanto al porcentaje de supervivencia de las plantas establecidas en la mina durante estos periodos se ha registrado un 97%, según lo reportado por la empresa y lo observado en campo; este alto porcentaje de supervivencia en las plantaciones se debe al compromiso de la empresa y los contratistas por mantener los altos Porcentaje de sobrevivencia de plantaciones en la Mina, ya que no van a ser sometidas a procesos de explotación y que por el contrario empiezan a convertirse poco a poco en hábitats aprovechables para fauna silvestre, entomofauna y edafofauna, los cuales a largo plazo darán origen a ecosistemas fundamentales como zonas importantes de conectividad en áreas perturbadas por industrialización.

Dentro de las acciones de manejo para revegetaciones futuras en la mina se pueden listar las siguientes:

- Realizar entresacas controladas para remplazar las especies exóticas como acacias y eucaliptos por especies nativas, con el fin de contribuir con un mejor proceso de restauración del ecosistema, ya que las especies nativas brindan mayores servicios ecosistémicos, y evitar la transformación total del paisaje por colonización de especies exóticas.
- Llevar a cabo seguimientos y monitoreos anuales de las plantaciones realizadas en la mina, con el fin de tener el registro de las especies sembradas, crecimiento, estado fitosanitario e incremento en biomasa y valores de supervivencia. Esto permite centrar esfuerzos en las especies nativas con mejor adaptabilidad y más efectivas en los procesos de control de erosión y restauración de suelos.
- Continuar con los inventarios de biodiversidad que realiza la empresa en las áreas revegetadas, debido a que esto permite establecer si las revegetaciones presentan efectividad en términos ecológicos como factores de restauración del ecosistema degradado, debido al incremento de dispersores, polinizadores, mejoramiento de las condiciones de suelos, disminución de efectos de desecación entre otros.

Conclusiones

El seguimiento y evaluación de la revegetación permitió detectar que el ecosistema se encuentra en una sucesión ecológica avanzada, se puede afirmar que el ecosistema de la microcuenca corresponde a un bosque secundario, con diferentes estados de crecimiento de las plantas los cuales aportan a la rehabilitación de la zona de estudio.

De acuerdo a la caracterización florística realizada en el área de estudio se identificaron 7853 individuos distribuidos de la siguiente manera: 27 familias, 37 géneros y 41 especies, de los cuales se encuentran 28 especies nativas, 13 especies exóticas. Dentro de las especies nativas identificadas se registró 1 especie categorizada como vulnerable y se registró la presencia de 1 especie invasora. El área de estudio se categoriza como una cobertura de Plantación forestal.

Se determina que la diversidad de la zona evaluada es media, teniendo como principal estimador el índice de Shanon con un valor de 2,8.

Se establecen las siguientes acciones de manejo las cuales consisten en realizar entresacas controladas para remplazar las especies exóticas, continuar con los inventarios, monitoreos y seguimientos de las plantaciones. Para el área en estudio se determina una línea base para evaluaciones y seguimientos futuros de crecimiento de masa de acuerdo a las variables dasométricas obtenidas de área basal (m) promedio de 0,06 , volumen promedio de 4,7 m³ y densidad (ARB/Ha) de 1963,2.

Recomendaciones

De acuerdo a la amenaza que representa la especie *Teline monspessulana* “Retamo Liso” para nuestra biodiversidad y los hábitats propios de la fauna y la flora nativa, se recomienda implementar medidas de manejo mediante la eliminación manual o mecánica de acuerdo al anexo 1 de la resolución 684/18. De igual forma se recomienda continuar con el control y sustitución de la especie *Acacia decurrens*, la cual tiene presencia en la mayoría de las parcelas.

También se recomienda implementar un plan de prevención, manejo y control de las especie retamo liso (*Teline monspessulana*), realizar aprovechamiento forestal de las especies Eucalipto , Acacia japonesa y Acacia negra para ser sustituidas por especies nativas tales como Sangregado, Dividivi, Cucubo, Hayuelo entre otros y para la proyección de revegetaciones futuras se debe considerar la siembra de especies nativas adicionales a las identificadas en el presente estudio, las cuales deben contar con flores y frutos para contribuir con el establecimiento de la fauna asociada a estas áreas en proceso de revegetación . Algunas de las especies que pueden utilizar para el restablecimiento de las interacciones ecológicas son Uva (*Macleania rupestris*), Uva de monte (*Cavendishia pubescens*), Zarza mora (*Rubus guyanensis*), Curuba (*Passiflora adulterina*), Curuba de monte (*Passiflora crispolanata*), Tomatillo de monte (*Solanum sisymbriifolium*), Guamo (*Inga acuminata*), (*Inga cayennensis*), Caucho (*Ficus coerulescens*), y algunas especies de Fucsia para atraer a diferentes especies de colibríes.

Se sugiere implementar y continuar con los seguimientos de evaluación de las siembras realizadas con el fin de tener información pertinente del avance de los programas y de ser necesario tomar acciones oportunamente.

Referencias bibliográficas

- Alcañiz, J., Ortiz, O. & Carabassa, V. (2007). Sistema de gestión ambiental para el desarrollo y seguimiento de la restauración de actividades mineras. Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente, ISSN 1136-4785, págs. 38-42.
- Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.). 2019. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA (2014) obtenido de <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/>
- CORPOBOYACA. (2019). Terminos de referencia para estudios técnicos de aprovechamiento de árboles aislados. Tunja.
- Cuñachi, G. (s.f.). Manual práctico de inventarios forestales. Atalaya: CORPIAA.
- EOT. (2000). Esquema de ordenamiento territorial Iza Boyacá. Iza.
- Ferraro & Pattanayak. (2006). Money for Nothing? A Call for Empirical Evaluation of Biodiversity Conservation Investments. Biology. Vol.4.
- Hellawell. (1991). Development of a rationale for monitoring. Monitoring for Conservation and Ecology. Vol 3.
- IDEAM. (2018). Manual de campo inventario forestal nacional de Colombia. Bogotá.
- Isaias Godoy Ingeniería Forestal. (2014).
- Jorba, M., & Vallejo, R., (2010). Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo. Catalunya.

Orozco, L., & Brumer, C. (2002). Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Turrialba: CATIE.

Pinelo, G. (2004). Manual de inventario forestal integrado para unidades de manejo. Peten: WWF Centroamérica.

Alvarado, F. M. (2017). Caracterización socioeconómica del municipio de Iza. Sogamoso.

MAVDT. (2010). Resolución No 207. Recuperado de https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambientevdt_0207_2010.htm

MINISTERIO DE AMBIENTE. (2017). Resolución No 1912 .Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/75-res%201912%20de%202017.pdf>

MINISTERIO DE AMBIENTE. (2018). Resolución No 0684 .Recuperado de <https://www.Minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/5bres%20684%20de%202018.pdf>

MINISTERIO DE AMBIENTE, V. y. (2006). Libro rojo de plantas de Colombia (Vol. 1). Bogotá.

Oyarzún, Serrano., L., (2008). Sobre la naturaleza de la integración regional: teorías y debates. Revista de ciencia política. Vol 28.

Rey Benayas et al. 2009, Moreno-Mateos et al. 2012. Restauración de campos agrícolas sin competir por el uso de la tierra para aumentar su biodiversidad y servicios ecosistémicos. Revista de ciencia y política pública. Vol. 4.

- Ramirez, A. (21 de agosto de 2019). Reforestación, la apuesta de la industria minera en zonas de operación.
- Rojas, G. (2018). Diagnóstico de la biodiversidad de la mina Iza. Iza.
- Secretaria Distrital de Ambiente-DAMA. (2004). Guía técnica para la restauración de áreas de rondas y nacederos del distrito capital. Bogotá
- Ventura-Ríos, A., Plascencia-Escalante, F. O., Hernández de la Rosa, P. Ángeles-Pérez, G., & Aldrete, A. (2017). ¿Es la reforestación una estrategia para la rehabilitación de bosques de pino?: Una experiencia en el centro de México. *Bosque (Valdivia)*, 38(1), 55-66. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000100007>
- Vicenç Carabassa, O. O. (2012). Evaluación y seguimiento de la restauración de zonas afectadas por minería. Cataluña
- VILLARREAL H., M. Á. (2006). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. . Bogota: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA. (2008). Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas.
- Campo M. (2015). Fauna y flora de Colombia. Quindío.

CAR, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2018). Plan de prevención,
manejo y control de las poblaciones de acacia decurrens willd en la jurisdicción car.
Bogotá.