

Plan de Restauración y Rehabilitación del Bosque Ripario Altoandino de la Microcuenca

O'tane

Juan Carlos Manrique y Cristian Giovanni Walteros Ortiz

Trabajo de Grado Para Optar por el Título de Ingeniero Forestal

Directora

Sandra Milena Díaz López

Ingeniera Forestal MSc en Manejo, Uso y Conservación Del Bosque

Universidad Industrial de Santander

Instituto de proyección regional y educación a distancia

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga, Santander

2021

Dedicatoria

Primeramente, dedico a Dios este logro, quien me da salud, inspiración y fortaleza para cumplir mis propósitos a corto y mediano plazo. A toda mi familia que estuvo siempre pendiente de mi desarrollo personal y profesional, especialmente a mi madre Omaira López Manrique quien me ha brindado siempre su compañía, apoyo y comprensión, a mi tía Sonia López Manrique que con su perseverancia y trabajo honesto me brindo el apoyo necesario para poder culminar mis estudios, a mi abuela María de la Cruz Crispín Manrique quien me ha enseñado los valores adecuados para ser una excelente persona éticamente y a mi hermano Ariel López Manrique quien día a día me apoya y me motiva a seguir adelante a cumplir cada logro que me propongo.

Juan Carlos Manrique

Este trabajo de investigación está dedicado a todas las personas que de una u otra manera hicieron que este logro fuera posible y que además lograron que mi estadía en la universidad fuera una etapa maravillosa en mi vida. En especial, este trabajo va dedicado a mi familia quienes son un gran apoyo y parte fundamental para mi día a día; a mi madre Ana Victoria Ortiz Herrera quien me enseñó que con dedicación, amor y sacrificio todo es posible, que con su dedicación y trabajo me brindó el apoyo necesario para la culminación de mis estudios. A mi padre Pedro Jesús Walteros León que con su esfuerzo y dedicación me enseñó a darle valor a cada una de las cosas obtenidas y además me formaron junto con mi madre en valores, gracias a ellos por confiar siempre en mí.

A mi hermano Pedro Alejandro Walteros Ortiz quién es un gran ejemplo y una persona entregada con las labores que realiza y que además con su alegría, consejos y forma de ser me brinda apoyo y seguridad a diario. A mi hermana Briyith Fernanda Walteros Ortiz quien es una gran persona, que a pesar de su corta edad me ha demostrado madurez en muchas facetas de su vida y que gracias a los consejos y amor que me brinda he podido superar momentos difíciles. A mi hermano David Santiago Walteros Ortiz que con su cariño y felicidad me brindan seguridad y confianza.

A todas las personas que me ayudan a crecer día a día, que por estar en los buenos y malos momentos y con las experiencias vividas me ayudan a ser una persona ética y moral, miles de gracias.

Cristian Giovanni Walteros Ortiz

Agradecimientos

Queremos agradecerle a Dios por permitirnos culminar esta etapa de estudio, a la Universidad Industrial de Santander, la cual durante todos los años de formación se convirtió en nuestra alma mater brindándonos sabiduría, crecimiento ético y profesional para ejercer adecuadamente labores propias forestales, a todos los docentes que nos brindaron el conocimiento necesario, acompañamiento y paciencia al educarnos como profesionales, en especial a nuestra directora de tesis, la Ing. Sandra Milena Díaz López quien con su sabiduría y apoyo nos guió en el adecuado desarrollo de este trabajo de investigación y formación profesional en las ciencias forestales, también darle las gracias al apoyo ambiental por parte de la administración municipal de Enciso, a don Orlado Gutiérrez Cárdenas por permitirnos el espacio radial. Por último, queremos agradecer a todos nuestros compañeros de estudio, darles gracias por acompañarnos durante todo nuestro proceso de aprendizaje.

Contenido

	Pág.
Introducción	15
1 Objetivos	17
1.1 Objetivo General	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2 Antecedentes	18
3 Marco referencial	20
3. 1 Marco teórico	20
3.1.1 Restauración ecológica y sus enfoques	20
3.1.2 Consideraciones preliminares a tener en cuenta para procesos de restauración	22
3.1.3 Los sistemas agroforestales como medios para restaurar áreas degradadas	23
3.1.4 Situación de los bosques altoandinos	23
3.1.5 Las cuencas hidrográficas y sistemas agroforestales como escenarios para restaurar y recuperar servicios ecosistémicos hídricos.	24
3. 2 Marco conceptual	25
3.2.1 Deterioro de cuencas	25
3.2.2 Regeneración.....	25
3.2.3 Rehabilitación	26
3.2.4 Banco de semillas.....	26
3.2.5 Sistemas agroforestales	27
3.2.6 Sistemas silvopastoriles	27

4	Metodología	28
4.1	Área de estudio.....	28
4.2	Materiales y Métodos	29
4.2.1	Estado actual del ecosistema.....	29
4.2.1.1	Medición de la franja protectora de la vegetación en la quebrada.....	29
4.2.1.2	Caracterización florística con identificación de componentes dasométricos.....	30
4.2.1.3	Aforo de caudal	31
4.2.2	Limitantes y tensionantes para la restauración.....	33
4.2.2.1	Determinación visual de tensionantes causantes del deterioro en el área de protección. .	33
4.2.2.2	Análisis de suelo	33
4.2.2.3	Aplicación de encuestas para la recolección de datos históricos.	34
4.2.3	Aspectos generales del sistema de referencia y del potencial de regeneración	35
4.2.3.1	Determinación de escenarios.....	35
4.2.3.2	Determinación del potencial de regeneración natural del bosque.....	35
4.2.4	Socialización del proyecto para el cuidado y conservación del bosque ripario.....	38
5	Resultados	40
5.1	Plan de restauración y rehabilitación para la conservación de la microcuenca O'tane	40
5.1.1	Estado actual del ecosistema.....	40
5.1.1.1	Medición de la franja protectora de vegetación en la quebrada.....	40
5.1.1.2	Clasificación de coberturas	40
5.1.1.3	Caracterización florística con identificación de componentes dasométricos.....	41
5.1.1.4	Aforo del caudal	50
5.1.2	Limitantes y tensionantes para la restauración.....	54

5.1.2.1	Determinación visual de tensionantes causantes de deterioro en la quebrada	54
5.1.2.2	Análisis de suelo	55
5.1.2.3	Aplicación de encuestas para la recolección de datos históricos	56
5.1.3	Aspectos generales del sistema de referencia y del potencial de regeneración	60
5.1.3.1	Determinación del potencial de regeneración natural del bosque.....	60
5.1.4	Socialización del proyecto para el cuidado y conservación del bosque ripario.....	66
5.1.5	Propuesta de restauración y planeación de estrategias para la potenciación de sucesión ecológica	67
6	Discusión	77
7	Conclusiones	79
8	Recomendaciones	81
	Referencias bibliográficas	83
	Apéndices.....	90

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Temática para la socialización del proyecto	39
Tabla 2. Índices de diversidad para individuos de regeneración	46
Tabla 3. Índices de diversidad para individuos fustales	48
Tabla 4. Clasificación de datos para el aforo del caudal en periodos diferentes de tiempo	52
Tabla 5. Presupuesto especificado para ejecutar los tratamientos en el escenario de Pasto.....	73
Tabla 6. Presupuesto especificado para ejecutar los tratamientos en el escenario de Rastrojo....	74
Tabla 7. Presupuesto especificado para ejecutar los tratamientos en el escenario de Bosque.	75
Tabla 8. Seguimiento de indicadores y monitoreo de la plantación establecida.	77

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación de la zona de importancia en el área de estudio en la microcuenca O'tane	28
Figura 2. Mapa de ubicación de las parcelas establecidas para la caracterización florística.....	31
Figura 3. Ubicación de puntos aleatorios para la toma de muestras de suelo.....	34
Figura 4. Diseño experimental para la regeneración y propagación de cespedones tomados de tres escenarios diferentes en la zona de estudio.....	37
Figura 5. Clasificación de coberturas para la determinación de escenarios en la franja protectora	41
Figura 6. Indicador de valor de importancia para los fustales	42
Figura 7. Abundancia de especies presentes en la regeneración	44
Figura 8. Índices de diversidad	45
Figura 9. Ilustración de las áreas transversales del afluente hídrico para el mes de junio del año 2020, las unidades de medida presentes se encuentran en centímetros (cm).....	50
Figura 10. Ilustración de las áreas transversales del afluente hídrico para el mes de octubre del año 2020, las unidades de medida presentes se encuentran en centímetros (cm).....	51
Figura 11. Ilustración de las áreas transversales del afluente hídrico para el mes de febrero del año 2021, las unidades de medida presentes se encuentran en centímetros (cm).....	52

PLAN DE RESTAURACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL BOSQUE RIPARIO	10
Figura 12.Capacidad del caudal obtenida de la quebrada Sonadora.....	53
Figura 13.Resultados de encuestas realizadas a la población asentada.	58
Figura 14.Resultados de encuestas realizadas a la población asentada.	59
Figura 15.Resultados de encuestas realizadas a la población asentada.	60
Figura 16.Evaluación de supuestos de normalidad.....	61
Figura 17.Gráfica de residuales.	62
Figura 18.Diversas comparaciones entre la cobertura y profundidad ajustadas al modelo de Bonferroni.	63
Figura 19.Modelo gráfico de la prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni.....	64
Figura 20.Análisis de varianza gráfico para la interacción entre Latifoliadas y cobertura.	65
Figura 21.Póster para promocionar los conversatorios realizados	66
Figura 22.Diagrama para aplicación de técnicas de potenciación para la sucesión ecológica del escenario de bosque	68
Figura 23.Diagrama para aplicación de técnicas de aumento de bosque para el escenario de Rastrojos	70
Figura 24.Diagrama para la aplicación de sistema silvopastoril, mantenimiento y monitoreo en el escenario de Pastos	71

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A. Datos tomados para determinar el potencial de regeneración	90
Apéndice B. Afectación de las propiedades físicas del afluyente hídrico.....	91
Apéndice C. Deforestación de vegetación ribereña por factores antrópicos.....	92
Apéndice D. Aforo del caudal.	93
Apéndice E. Proceso de socialización del plan de restauración y rehabilitación y creación de conciencia ambiental.....	94
Apéndice F. Influencia de bovinos en la franja de protección de la quebrada Sonadora.....	95
Apéndice G. Medición del área protectora haciendo uso de la cinta métrica.....	96
Apéndice H. Medición de variables dasométricas para determinar la composición estructural del bosque	97
Apéndice I. Ubicación de puntos tomados al azar para extracción de muestras de suelo y posterior análisis	98
Apéndice J. Fabricación de vivero transitorio.....	99
Apéndice K. Diseño experimental establecido en vivero transitorio.....	100
Apéndice L. Césped de suelo analizado perteneciente al escenario de pastos.....	101

Apéndice M. Recolección y preparación de las muestras de suelo específicas para el posterior análisis de laboratorio.	102
Apéndice N. Análisis de suelo para escenario de Pastos	103
Apéndice O. Análisis de suelo para escenario de Rastrojos	104
Apéndice P. Analisis de suelo para escenario de Bosque	105
Apéndice Q. Aplicación de encuestas a la población asentada en la región	106
Apéndice R. Deforestación a orillas del afluente hídrico	107
Apéndice S. Afectación del medio ambiente por causas y desastres naturales en el ecosistema de referencia	108

Resumen

Título: Plan de restauración y rehabilitación del bosque ripario altoandino de la microcuenca O'tane*

Autores: Cristian Giovanni Walteros Ortiz, Juan Carlos Manrique**

Palabras claves: restauración, rehabilitación, agroforestería, franja protectora, bosques riparios, conservación, potencial de regeneración.

Descripción: El presente estudio tiene como objetivo principal la conservación y rehabilitación de ambientes riparios altoandinos como es el caso de la microcuenca O'tane, ya que estos ecosistemas son los encargados de proveer bienes y servicios, principalmente como el recurso hídrico y la regulación del mismo, que en efecto permite un adecuado desarrollo de actividades como la agricultura y ganadería.

Principalmente, se determinó el estado actual del ecosistema con actividades como aforo del caudal, determinación visual de tensionantes, detección de escenarios en la cobertura vegetal y caracterización florística, para de esta manera evaluar los componentes estructurales del bosque, posterior a esto, se tuvieron que analizar variables de diversidad importantes para observar la diversidad del bosque y así mismo, identificar las especies con mayor valor de importancia. Además, se realizó el análisis de muestras de suelo tomadas para cada uno de los escenarios encontrados, para en efecto, determinar los componentes químicos y físicos presentes en cada una de las muestras. Conjuntamente, se realizaron encuestas a la población asentada para de esta manera obtener datos históricos y, a su vez, se efectuó la socialización del proyecto, la cual se denomina como una fase importante dentro de estos trabajos de restauración.

Entre los resultados obtenidos para este estudio se encontró que las especies vegetales de mayor valor para el ecosistema no presentan sucesión ecológica como es el caso de la *Escallonia pendula* y *Acacia melanoxylon*, Posterior a esto, en el aforo de caudal se puede interpretar que el afluente hídrico presenta diferencias significativas en su caudal para diversas épocas del año, lo cual la poca regulación hídrica que se presenta y finalmente se determina el porcentaje del potencial de regeneración de los escenarios observados, la causa de la escasa sucesión ecológica y las estrategias adecuadas.

*Trabajo de grado

**Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Directora: Sandra Milena Díaz López Ingeniera Forestal MSc en manejo, uso y conservación del bosque

Abstract

Title: Restoration and rehabilitation plan for the high Andean riparian forest of the O'tane micro-basin*

Author: Cristian Giovanny Walteros Ortiz, Juan Carlos Manrique**

Key Words: restoration, rehabilitation, agroforestry, buffer zone, riparian forests, conservation, regeneration potential.

Description: The main objective of this study is the conservation and rehabilitation of high Andean riparian environments such as the O'tane micro-basin, since these ecosystems are responsible for providing goods and services, mainly as the water resource and its regulation, which in effect allows for the proper development of activities such as agriculture and livestock.

In particular, the current state of the ecosystem was determined with activities such as flow capacity, visual determination of tensioners, detection of scenarios in the vegetation cover and floristic characterization, in order to evaluate the structural components of the forest, subsequent to this, important diversity variables had to be analyzed to observe the regulation in terms of homogeneity or diversity of the forest and also, identify the species with the greatest value of importance. In addition, the analysis of soil samples taken for each of the scenarios found was carried out, in order to determine the chemical and physical components present in each of the samples. Together, surveys of the settled population were carried out in order to obtain historical data and, in turn, the socialization of the project was carried out, which is called an important phase within these restoration works.

Among the results obtained for this study it was found that the plant species of greatest value for the ecosystem do not present ecological succession as is the case of the *Escallonia pendula* and *Acacia melanoxylon*, Subsequent to this, in the flow capacity it can be interpreted that the water tributary presents significant differences in its flow rate for different times of the year, which the low water regulation that occurs and finally determines the percentage of regeneration potential of the observed scenarios, the cause of the low ecological succession and the appropriate strategies.

*Degree Work

**Institute for Regional Projection and Distance Education IPRED. Forest Engineering Program. Director: Sandra Milena Díaz López MSc Forestry Engineer in forest management, use and conservation

Introducción

En 2016 Colombia borró de su territorio 178597 hectáreas de bosque, lo que en términos gráficos es similar al área del departamento del Quindío anualmente, cada hora se pierden veinte hectáreas de bosque en todo el país (Rosales, 2019) . La disminución en grandes áreas conlleva a la baja diversidad de flora y fauna, afectando de esta manera la disponibilidad de servicios ecosistémicos, como la regulación del ciclo del agua.

La cobertura vegetal es fundamental para la regulación del ciclo hidrológico del planeta, favorece la retención e infiltración del agua, ayuda a controlar la erosión y contribuye a su almacenamiento en acuíferos y otras reservas subterráneas (De Groot, Wilson, & Boumans, 2002).

Los suelos ubicados en la parte alta de la cuenca que han perdido la cobertura vegetal, carecen de capacidad para la retención e infiltración del recurso hídrico, por ende, en época de lluvias, el caudal incrementa ocasionando inundaciones, (Arévalo, 2012). En los últimos 50 años a través de diversas iniciativas se han reforestado áreas críticas en Colombia.

Debido al mal uso y descuido que se les da hoy en día a las fuentes hidrográficas del país, y que conllevan a la alteración de la composición física y química, además de la disminución en el caudal , se busca rehabilitar la quebrada Sonadora perteneciente a la microcuenca hídrica O'tane, la cual supe del recurso hídrico a cerca de 250 familias que se encuentran distribuidas en siete veredas del municipio de Enciso, Santander (CAS, 2020). Adicional a esto, se ha registrado el consumo de agua de aproximadamente 1000 cabezas de ganado y usos agrícolas.

Según los testimonios de la comunidad, durante los últimos años se ha observado una fluctuación del caudal, que provoca un contenido hídrico inestable, lo cual conlleva, a la

disminución o recorte de las áreas de cultivo y generación de conflictos del uso del suelo como la subutilización ligera a moderada del recurso hídrico entre la misma comunidad.

El análisis del paisaje se considera importante para el entendimiento de aproximaciones con el fin de entender patrones espaciales pasados, actuales y de futuros escenarios, para de esta manera elaborar estrategias que permitan la adaptación al desarrollo de procesos sostenibles siendo claves para incluirlas en las actividades de restauración (MinAmbiente, 2015).

Principalmente, se deben realizar estudios y trabajo de campo para de esta manera llevar a cabo evaluaciones del ecosistema con el fin de conocer la composición, estructura y posibles limitantes a resolver para de esta manera proceder a la reconstrucción espacial del ecosistema a causa de los disturbios causados (Reynolds & Hessburg, 2005). Del mismo modo, se deben implementar técnicas de restauración a escala regional integrando así a la población para la obtención de una participación activa (MinAmbiente, 2015) obteniendo efectividad en los objetivos trazados principalmente.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Identificar la opción más viable para la restauración y rehabilitación de la parte alta de la microcuenca O'tane, localizada en el municipio de Enciso, Santander.

1.2 Objetivos Específicos

Determinar las acciones que llevaron a la degradación y al estado actual de la cuenca para proceder a la planeación del proyecto de restauración.

Realizar cursos y/o talleres acerca de la restauración y rehabilitación de ecosistemas, con especial énfasis en fuentes hídricas a través de estaciones radiales presentes en el municipio.

Identificar el potencial de regeneración natural de la zona como parte fundamental para el aseguramiento de la sucesión ecológica.

2 Antecedentes

Para los planes de restauración ecológica realizados anteriormente en el país, se ven involucrados la rehabilitación y recuperación de las funciones del bosque (MinAmbiente, 2014). Estudios similares realizados por el Ministerio del Medio Ambiente para la dirección ambiental de los ecosistemas definen los pasos para un plan estratégico encaminados hacia la restauración ecológica y el establecimiento de los bosques en Colombia, definiéndolo como un plan verde para el año de 1998 (García, 2015). A partir de esto, se establecieron estrategias para involucrar el uso forestal, la agroforestería, la conservación y restauración ecológica al hacer énfasis en la disminución de daños de los ecosistemas degradados para la conservación de áreas de importancia ambiental y social, incorporando de una u otra manera criterios ambientales que contribuyan a detener la deforestación, impulsando los procesos de formación y participación ciudadana para la conservación del medio ambiente y la recuperación de bosques (MinAmbiente, 2014).

Estos planes para la restauración ecológica de los bosques de Colombia garantizarían el suministro de bienes y servicios ambientales básicos para el desarrollo económico y social, así mismo para la prevención de catástrofes y la manutención de la biodiversidad del ecosistema (Vargas et al., 2012), por lo tanto, es la degradación y deforestación del hábitat una de las causas que contribuyen a la pérdida de diversidad, disminución del caudal, erosión del suelo e incremento de procesos que afectan de manera directa o indirecta en el bienestar de la población (MinAmbiente, 2015).

Para el plan de restauración ecológica realizado para el municipio de Santa Bárbara donde se deforestaron zonas boscosas con el fin de ser reemplazadas por monocultivos, se propuso el establecimiento de sistemas silvopastoriles o la aplicación de métodos de agroforestería para la

obtención de áreas completamente reguladas y auto sostenibles al asociar de esta manera especies productivas y aprovechables con la parte arbórea o leñosa. Como primera parte, tuvieron en cuenta la caracterización diagnóstica del componente biótico y social en el cual se identificaron y establecieron las metas de restauración, a partir de lo cual, se aplicó la eliminación o reducción de tensionantes y limitantes (Acosta, 2016).

El trabajo realizado por Vargas et al., (2012) autores de guías técnicas de restauración ecológica señalan disturbios antrópicos que se pueden presentar en los ecosistemas ribereños, que a su vez, conllevan al deterioro del afluente hídrico en sus propiedades físicas, químicas o biológicas; entre los disturbios que pueden agravar el problema se tuvo a la deforestación como una de las principales causas, generada por los sistemas de producción no sostenible como la ganadería, agricultura extensiva, contaminación, sedimentación y sobre explotación de recursos biológicos.

Por otra parte, entre los objetivos que estos autores señalaban y las principales actividades a realizar se encontraban la evaluación del sistema fluvial que incluye la caracterización geomorfológica del lecho del río y su valle; de la misma forma, se ubicó el diseño de procedimiento, el cual se encontraba definido por técnicas de reconstrucción física para rehabilitar la dinámica hídrica, es decir, se implementaron técnicas de reconstrucción del hábitat establecidas para crear pozos, rápidos y caídas que son componentes fundamentales de la estructura física de un río en rehabilitación.

Por último, se tuvo en cuenta el establecimiento de la vegetación y de la franja amortiguadora de impactos nocivos encargada de minimizar el daño que pueden ocasionar los disturbios presentes en el ecosistema, la selección de plantas se realizó de acuerdo a los requerimientos del microclima y zona de vida locales para el sitio específico, las cuales deben presentar crecimiento rápido para

la competencia de las mismas con gramíneas exóticas que puedan retrasar el proceso de regeneración natural.

3 Marco referencial

3.1 Marco teórico

3.1.1 *Restauración ecológica y sus enfoques*

Vargas (2008) propone la restauración ecológica como una actividad antrópica, la cual busca recuperar las dinámicas naturales al intentar llegar a las condiciones que se presentaban originalmente, de manera asistida con planes de inclusión de aspectos sociales, económicos y políticos para de esta manera lograr una restauración efectiva. Además, se deben determinar los agentes causantes del estado de deterioro en el que se encuentra actualmente el ecosistema, para de esta manera asistir los componentes bióticos y abióticos del ambiente y superar las barreras que impiden la regeneración natural para devolverlos a su estado original.

La rehabilitación ecológica tiene como principal objetivo recuperar las funciones de un ecosistema degradado, sin tener en cuenta el restablecimiento de su estructura como objetivo principal, lo cual, se presenta de manera efectiva en la restauración ecológica (Aronson et al., 1993)

La recuperación de la cobertura y de las funciones ecosistémicas no dependen sólo del control que se tienen a los tensionantes presentes en el ecosistema para todos los casos, sino que la restauración o la rehabilitación deben realizarse teniendo en cuenta la integración de participación por parte de la comunidad ocasionando de esta manera un proceso más eficiente y logrando mejores resultados (Corbin & Holl, 2012).

La degradación de ecosistemas se da a raíz del cambio de uso del suelo para actividades no forestales y del cambio de cobertura, principalmente en la que se reemplazan zonas boscosas por áreas de cultivos, ganadería, minería, introducción de especies exóticas y la explotación inadecuada de los bosques (MinAmbiente, 2015). Las cuencas que alimentan o nutren los principales ríos del país se encuentran en notable deterioro, que además de contribuir al impacto en las inundaciones agravan el efecto de otros fenómenos ambientales y del mismo modo, el deterioro de las presas que abastecen de agua a la población se encuentra directamente relacionado con las cuencas hidrográficas del país, esto se da debido al mal uso de áreas forestales y la conversión de éstas en áreas de ganadería o agricultura (Sierra, 2019). Como es el caso de estudio, una microcuenca es un área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales de caudal continuo o intermitente que confluyen en un curso mayor, el cual puede desembocar en un río principal (Adarme et al., 2015). Es aquella cuenca que está dentro de una sub zona hidrográfica, cuya área de drenaje es inferior a 500 km (Minambiente, 2012), la cual capta la precipitación de un lugar de tal manera que la transforma en un afluente que posteriormente puede ser usado para fines agrícolas, ganaderos o de consumo humano.

El suministro de agua constante de una región se ve asociado directamente a las cuencas hidrográficas que allí se localizan, de esta manera, la estabilidad en la disponibilidad del recurso genera la necesidad de construir un plan de acción para la conservación y restauración del ecosistema, con el fin, de regular el volumen de agua que emite el caudal para que de esta manera en temporadas de lluvia el agua no escurra sin control sobre los lechos de los ríos y se almacene en el suelo y, por el contrario, en las temporadas secas en las cuales casi no se encuentra disponible el recurso exista en abundancia la cantidad y calidad del mismo (Padilla, 2016).

Las plantas cumplen un papel muy importante en la superficie terrestre, entre los que se destacan la captura de carbono, regulación del clima y del ciclo hidrológico, asimismo, se encargan de minimizar el impacto y energía cinética de las gotas de lluvia con la superficie con el fin de reducir la erosión y el transporte de sedimentos (Adarme et al., 2015). Si se observa solamente al agua y suelo, al dejar a un lado el componente biótico que se presenta dentro del bosque podemos encontrar un sinfín de funciones para la regulación hídrica y soporte del sustrato orgánico encargados de regular el recurso hídrico en caudales. De esta manera, la relación directa que se presenta entre el componente leñoso y las propiedades físico químicas del agua mejoran significativamente al componente abiótico, al presenciar de esta manera un aumento significativo de árboles dentro del bosque que conlleva a la mejora de las propiedades físicas y químicas del agua obteniendo un volumen de caudal regulado y constante.

3.1.2 Consideraciones preliminares a tener en cuenta para procesos de restauración

La sensibilización ambiental es de gran importancia a la hora de la realización de un proyecto de esta índole, debido a que se basa principalmente en el cuidado que se debe tener por estas coberturas en formación, se trata de ser consciente con énfasis a la protección del medio ambiente y sus diferentes componentes, para lo cual, este proceso va acompañado de la socialización de dichos proyectos (Adarme et al., 2015).

Por otra parte, la participación comunitaria es un proceso de gran importancia para cualquier método de restauración empleado, en la cual los participantes comprenden las causas y razones de la degradación ambiental, así mismo, los efectos en la restauración, para lo cual, la población tendrá un mayor compromiso con la conservación y cuidado de las áreas recuperadas, además,

cambiarán las prácticas de uso de los recursos del suelo que provocaron el estado actual de deterioro del ecosistema (Burgos & Useche, 2019).

3.1.3 Los sistemas agroforestales como medios para restaurar áreas degradadas

Los sistemas agroforestales pueden proveer a la población de diversos servicios ecosistémicos, lo cual, los convierte en una herramienta de gran utilidad para la restauración del paisaje, debido a que pueden mejorar características físicas, químicas y biológicas del suelo que se encargan del control y amortiguación de diferentes perturbaciones en el medio, al obtener de esta manera la mitigación en procesos erosivos, aumento de la fertilidad del suelo y mejora sustancial en la disponibilidad de agua para las áreas directamente relacionadas con el sistema en cuestión (FAO, 2017).

Para escenarios ribereños, los sistemas agroforestales pueden contribuir en la formación de la capa orgánica que ha sido explotada de manera desmedida, al agotar la disponibilidad de la misma y afectar de esta manera la estructura y composición física del suelo (Alonso, 2011). Entre los beneficios que se tienen por parte de la implementación de sistemas agroforestales se aprecia la recuperación de fertilidad del suelo que suele ser un proceso largo y demorado, lo que a su vez, con la asociación de dos o más especies vegetales puede influir directamente en la recuperación de nutrientes y mejoramiento de la estructura del suelo, en lugares que han sido explotados de manera desmedida, y de esta manera aumentar la productividad de cultivos agrícolas (FAO, 2017).

3.1.4 Situación de los bosques altoandinos

Los bosques andinos abarcan una gran variedad de ecosistemas montanos presentes en condiciones bioclimáticas secas y estacionalmente húmedas con altos porcentajes de niebla, del mismo modo, la altitud de estos bosques oscila entre los 1000 y 3500 msnm. (Novoa, 2016). Por

tal motivo, estos paisajes son frágiles y vulnerables a los efectos combinados del cambio climático, deforestación y degradación del bosque. De esta manera los ecosistemas montanos se encargan de mitigar el cambio climático, restaurar funciones ecosistémicas claves y reducir la vulnerabilidad de las poblaciones andinas (Bosques Andinos, 2020).

Del mismo modo, se presentan disturbios antrópicos ocasionando diferentes problemáticas que se reflejan en la fragmentación y pérdida del hábitat, lo cual ocasiona paisajes determinados por diferentes coberturas, entre las cuales se presentan para gran parte de la ocupación del suelo los mosaicos de cultivos y pastos con pequeños relictos de bosque inmersos dentro de la deforestación y cambio de coberturas causada por el hombre. De esta manera, se genera el desplazamiento de especies nativas para ser reemplazadas y dominadas por gramíneas exóticas y la colonización de especies invasoras ocasionando la pérdida de micro hábitats impidiendo así la regeneración (Velazco & Vargas, 2008)

La gran problemática ambiental está dada principalmente en la degradación de ecosistemas, lo cual disminuye las posibilidades de subsistencia de las especies, reduce la retención de agua lluvia y a su vez se incrementa la sedimentación, que como resultado produce grandes inundaciones en las cuencas bajas de ríos grandes. Dicha degradación ocurre de diferentes maneras y se manifiesta en la disminución de la riqueza en los ecosistemas locales, su diversidad biológica y la capacidad de suministrar bienes o servicios que estos ecosistemas puedan ofrecer (Arias & Bohr, 2018).

3.1.5 Las cuencas hidrográficas y sistemas agroforestales como escenarios para restaurar y recuperar servicios ecosistémicos hídricos.

Debido a que los árboles tienen la capacidad de absorber agua y más cuando las condiciones climáticas son extremas en sequías, se requieren especies endémicas con baja demanda hídrica

impresas en el sistema silvopastoril con la finalidad de disminuir la competencia por el agua entre árboles. Por otra parte, para escenarios ribereños, los sistemas agroforestales diseñados de manera correcta, pueden contribuir con el objeto de mitigar el efecto de erosión y el almacenamiento de materia orgánica que se encarga de mejorar el balance hidrológico, aportando de esta manera para procesos de regulación del sistema hídrico (FAO, 2017).

3.2 Marco conceptual

3.2.1 Deterioro de cuencas

Las cuencas hidrográficas del planeta han sufrido una intensa degradación debido a las actividades antropogénicas y a que han sido descuidadas sin siquiera tenerles el debido control y manejo (FAO, 2007). Gran parte de estas áreas han cambiado su cubierta vegetal para ser transformadas en áreas de cultivo o aptas para la ganadería, causando así un desbalance en las tasas de evapotranspiración y precipitación (FAO, 2017). La teoría clásica de la sucesión ecológica o regeneración natural en claros resulta insuficiente para el estudio de la restauración ecológica de dichas áreas degradadas (Martinez & Garcia, 2007). Para mitigar estos cambios, se requiere de nuevos principios ecológicos que permitan la recuperación de bosques en lugares en los que ha sido transformada su cobertura boscosa.

3.2.2 Regeneración

Los disturbios que incentivan procesos y la dinámica de regeneración traen consigo la renovación y continuidad de especies, para lo cual, se presenta entre tantos procesos naturales la caída natural de ramas grandes y árboles completos que crean claros que generan la obtención de recursos, los cuales favorecen a la sucesión ecológica, ya que permiten el desarrollo de nuevas generaciones de plantas (Cisneros, 2013). Para que la regeneración sea efectiva, los bordes del

bosque deben presentar la distancia suficiente y que de esta manera los propágulos se puedan regenerar y establecer (Vargas, 2007). Existen dos tipos de desplazamiento de propágulos: anemocoria y zoocoria, éstas se diferencian por el medio de dispersión que se presenta entre ellos.

3.2.3 Rehabilitación

Comúnmente es asociado el término como sinónimo de restauración, pero en realidad son procesos que difieren en su objetivo principal. La rehabilitación de un ecosistema busca recuperar las funciones o servicios del ecosistema, sin necesidad de recuperar al completo su estructura ni sus condiciones originales; este proceso se puede realizar llevando a cabo el sistema degradado a un sistema similar siendo autosostenible con la posibilidad de reemplazar algunas de las especies que componen dicho ecosistema (Vargas, 2007).

3.2.4 Banco de semillas

Se ve asociado con las reservas de semillas viables que se encuentran almacenadas en el suelo, dicho banco de semillas se puede definir como transitorio y permanente, depende del horizonte del suelo en el cual se encuentren los propágulos dispersados y el tiempo que estos permanezcan viables dentro del sustrato orgánico. Se debe tener como diferencia las semillas enterradas en los horizontes superiores del suelo a menos de 5 cm de la superficie y que no permanecen más de un año viable sin germinar (transitorios) (Cárdenas et al., 2002). Por otra parte, la fracción de semillas que permanecen por más de 1 año enterradas y son viables en los horizontes más profundos, es decir, a más de 5 cm de la superficie recibe el nombre de banco de semillas persistentes (Thompson & Grime, 1979; Garwood, 1989).

La población de semillas se encuentra generalmente en su mayoría dominada por arbustos o árboles pioneros que esperan las condiciones propicias para germinar y de esta manera salir de los

periodos de dormancia bajo los cuales se encuentran sometidos debido a las condiciones en las cuales se encuentran (Bedoya et al., 2010).

3.2.5 *Sistemas agroforestales*

Según Sánchez (2007) el término también se ve asociado a la agroforestería, lo cual, se entiende por la asociación de dos o más especies arbóreas con especies arbustivas o herbáceas para un aumento de rendimiento en la producción específica de cultivos. Además de lo mencionado anteriormente, existen diversas maneras de implementar el sistema, el cual se ve determinado por diferentes diseños y de esta manera usar el que más se ajuste a las necesidades, al ser más común el diseño en callejones que consiste en establecer hileras de árboles en colindancia con los bloques de producción de madera (Chavarría, 2013).

3.2.6 *Sistemas silvopastoriles*

El silvopastoreo se encuentra asociado a la presencia de especies arbóreas, herbáceas y animales que pastan bajo la presencia de las especies arbóreas. Así mismo, el componente arbóreo puede estar determinado como la vegetación natural o plantados para diferentes fines asociados a la industria como la madera, productos industriales, frutales o producción animal (Sánchez, 2007).

Los sistemas silvopastoriles se han establecido con el fin de proporcionar alimento y sombra a los animales, lo cual genera una reducción significativa del estrés calórico y de esta manera obtener un mayor rendimiento por parte de los animales en cuanto a carne o producción de leche (Navas, 2010).

4 Metodología

4.1 Área de estudio

Figura 1.

Ubicación de la zona de importancia en el área de estudio en la microcuenca O'tane



El estudio se realizó en la quebrada Sonadora de la microcuenca O'tane del municipio de Enciso, el cual cuenta con una temperatura anual que varía entre los 25°C y 35°C, por otro lado, la precipitación promedio que se presenta en este lugar fluctúa los 191 mm mensuales (IDEAM, 2021).

El área de estudio cuenta con un bosque ripario altoandino que se encuentra localizado en un ecosistema cuya principal cobertura es mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales siendo ésta considerada como la matriz principal. A partir de esto, se puede inferir la presencia de franjas boscosas en dicha matriz, entre las cuales, se pueden determinar parches de bosques remanentes y en otras se evidencia la presencia del bosque ripario como corredor natural, el cual se encarga de conectar unidades de vegetación. Por otra parte, la economía base que se desarrolla en la región está dada principalmente por actividades como la agricultura y ganadería intensiva, al ser éstas las causas o tensionantes principales que ocasionan el deterioro de la cuenca, además, se pueden encontrar mosaicos de diversos cultivos como la cebolla, el frijol, tomate, maíz, entre otros (DANE, 2015).

Para la identificación de la zona de mayor importancia tenemos la zona alta y media de la red hídrica de la quebrada Sonadora del municipio de Enciso, al presentar así elevaciones entre los 2237 m.s.n.m. y los 2127 m.s.n.m., considerando este transecto como la zona más influyente debido a que allí se encuentra el nacimiento de agua que se quiere proteger, al controlar las tasas de evaporación por medio del dosel cerrado del bosque para de esta manera evitar el desecamiento de la misma, por ende, definir la protección del afluente a lo largo del canal y de esta manera obtener un caudal con mayor regulación.

4.2 Materiales y Métodos

4.2.1 Estado actual del ecosistema

4.2.1.1 Medición de la franja protectora de la vegetación en la quebrada. Para este proceso se realizaron mediciones a la izquierda y derecha del afluente, haciendo énfasis en el decreto 1076 del 2015, pertenecientes a la ley 99 de 1993, para lo cual, este procedimiento tuvo

lugar desde la parte baja, al contar con una elevación de 2127 m.s.n.m. del afluente hacia la parte alta con elevación de 2237 msnm. que presenta de esta manera situaciones extremadamente contrastantes. Lo anterior se realizó para determinar la franja protectora de la red hídrica y de esta forma detallar la zona de estudio para posterior intervención.

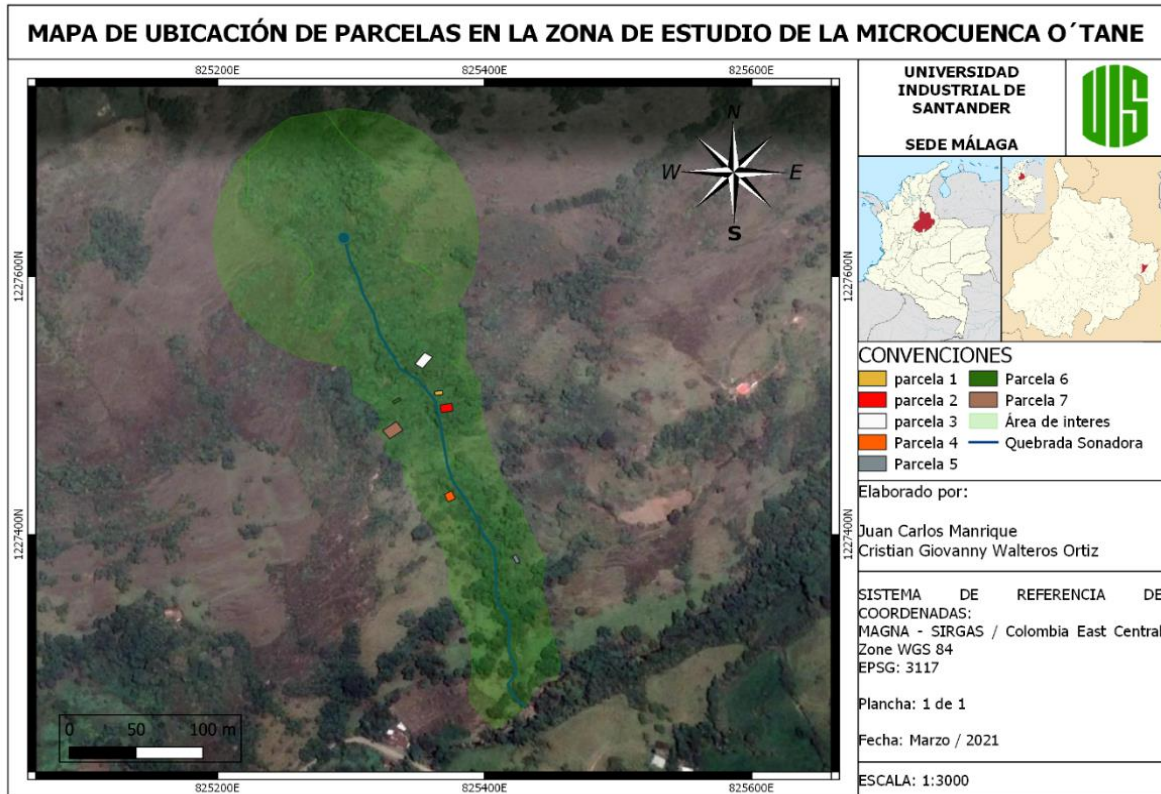
4.2.1.2 Caracterización florística con identificación de componentes dasométricos.

Para la determinación del estado actual del ecosistema estudiado es necesario realizar una caracterización florística para de esta manera analizar las variables que se encuentran relacionadas con el objeto de estudio, a partir de lo cual, se utilizaron diferentes instrumentos de medición como cinta métrica, diamétrica y aplicaciones para interpretar las variables dasométricas del bosque ripario. Posterior a esto, se procedió a determinar por medio de conocimientos previos y ayuda del material bibliográfico la diversidad de especies vegetales presentes en el área de estudio.

La franja protectora de la quebrada Sonadora cuenta con 5,12 ha, área en la cual se procedió a delimitar parcelas rectangulares semipermanentes para la determinación de la composición florística dentro del bosque, por lo cual, se definieron tres parcelas, las cuales cuentan con dimensiones de 12m X 5m cada una, para un área total inventariada de 180 m² en las parcelas de muestreo rápido, con el fin de obtener valores para las variables dasométricas que se pueden medir dentro del bosque. Por otro lado, las cuatro parcelas de regeneración establecidas cuentan con dimensiones de 5m X 2m cada una, para un área total de 40 m² en las que se determinaron las especies y su frecuencia dentro del sotobosque.

Figura 2.

Mapa de ubicación de las parcelas establecidas para la caracterización florística



4.2.1.3 Aforo de caudal. Además de la inspección del área de trabajo, se realizaron pruebas de aforo del caudal con el fin de determinar el estado actual de la microcuenca respecto al recurso hídrico. Así mismo, la utilidad de los datos tomados establece el estado actual y contraste de la cantidad del agua que se puede obtener gracias a dicho afluente. En consecuencia, para la realización de estas actividades fue seleccionado el método del flotador, al ser esta una de las pruebas de campo más sencillas, rápidas y económicas para la determinación del volumen de agua que contiene un río o afluente hídrico.

Placencio (2018) menciona que se debe tomar un tramo recto de al menos 5 metros lineales con la mayor uniformidad transversal posible, lo cual minimiza el grado de error que se pueda llegar a tener con tramos en curvas, zigzag u otras formas presentes y por medio de un objeto cuya densidad sea inferior a la del agua, en este caso un ping pong, se puede determinar la velocidad del agua que transcurre por dicho cauce. A partir de lo mencionado anteriormente, se procedió a extender una cuerda en la parte inicial y otra en la parte final para proceder a la realización de la toma de datos correspondiente al área transversal superior e inferior del tramo seleccionado. Posterior a esto, con la ayuda de un cronómetro se realizan varias mediciones de tiempo (10) en las cuales el ping pong debe cruzar desde la cuerda tendida en la parte superior hasta llegar a la parte inferior del tramo determinado para luego ser promediadas y obtener la velocidad promedio con la que el ping pong pasa entre las cuerdas, se obtiene así la velocidad que tiene el agua en este tramo.

A partir de los datos tomados anteriormente, se procede a la aplicación de la siguiente fórmula que estima el caudal promedio que se encuentra en dicho afluente.

$$Q = A * V * 0,08$$

Donde,

Q = Caudal (m/s)

A = Área de la sección transversal (m²)

V= Velocidad del flujo (m/s)

0,08=Factor de corrección

Según Villavicencio & Villablanca (2011), el factor de corrección incluye ajustes en la velocidad del agua y cambio de unidades de medida. Cabe mencionar, el proceso de promediar las dos áreas transversales obtenidas para de esta manera proceder a la aplicación de la fórmula con un único valor para la variable “área transversal”.

4.2.2 Limitantes y tensionantes para la restauración

4.2.2.1 Determinación visual de tensionantes causantes del deterioro en el área de protección. Para la determinación de las acciones que deterioraron la microcuenca de estudio y la llevaron al estado actual, se realizó un monitoreo minucioso y específico, el cual conllevó a inspeccionar de cerca el bosque afectado, al observar la degradación del suelo y deterioro, con la finalidad de determinar cambios en el ambiente y procesos de degradación en la cobertura y estructura del bosque (Muñoz, 2018).

4.2.2.2 Análisis de suelo. Para la extracción de las muestras de suelo y posterior análisis, se procedió a la recolección de tres muestras de sustrato orgánico con profundidad de 15 cm y tomados completamente al azar para cada uno de los escenarios en cuestión, con la finalidad de obtener una muestra representativa del sustrato que allí se encuentra (IGAC, 2017). Principalmente, se realizó la recolección del análisis de tres sub muestras de suelo, de aproximadamente un kilogramo sobre las cuales cada una contiene la información representativa perteneciente a los tres escenarios (pastos, rastrojo y bosque) encontrados en el área de estudio. Por otro lado, para la toma de muestras se utilizó la pala y el barreno como herramientas de trabajo en campo con el fin de realizar una extracción limpia de las sub-muestras que posteriormente se van a mezclar, arreglar y enviar al laboratorio de suelos del IGAC.

Figura 3.

Ubicación de puntos aleatorios para la toma de muestras de suelo



4.2.2.3 Aplicación de encuestas para la recolección de datos históricos. La aplicación de encuestas sobre actores claves en la zona de estudio se hizo para determinar los posibles cambios del bosque ripario al tener como principal variable la temporalidad, de esta forma se recolectaron datos históricos en el fenómeno de cambio de cobertura. Para la obtención de dicha información, se procedió a realizar un formato de encuestas descriptivas con respuesta abierta que contienen diversas preguntas relacionadas con el cambio de cobertura, disminución del bosque o ampliación de la frontera agrícola y la regularidad del caudal al tener en cuenta sus propiedades físicas para la determinación del factor causante del deterioro de dicho ecosistema.

4.2.3 Aspectos generales del sistema de referencia y del potencial de regeneración

4.2.3.1 Determinación de escenarios. Para la identificación de escenarios, se procedió a realizar una inspección del área de trabajo desde la parte baja de la quebrada hacia la parte más alta y con la ayuda de la cinta métrica se identificó el área protectora de 30 metros a cada lado del afluente, usando el borde del cauce para determinar cada medida, a partir de lo cual, mediante la clasificación de coberturas o identificación de escenarios y con ayuda del GPS se realizaron los polígonos correspondientes para cada una de las coberturas presentes, y, de esta manera confirmar y cotejar la información obtenida por el programa QGIS al conseguir una clasificación supervisada del área de trabajo.

Para el trabajo en oficina, se realizó un buffer al shapefile de la quebrada Sonadora de 30 metros a cada lado a lo largo de la misma y, posterior a esto, para la parte superior del bosque en el cual se encuentra el nacimiento del agua o cabecera de la quebrada identificado con un vector punto se realizó un buffer con 100 metros de radio, a razón de obtener el área de protección del afluente; estas medidas se definieron de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 2.2.1.1.18.2 del Decreto 1076 de 2015.

4.2.3.2 Determinación del potencial de regeneración natural del bosque. Principalmente, se marcan los puntos al azar de cada muestra que se van a extraer con ayuda de un GPS (Global Positioning System), a partir de lo cual, se empiezan a extraer las muestras con el debido cuidado para no alterar ni destruir los bloques del mismo, los cuales cuentan con dimensiones específicas para este trabajo de campo en este caso se presentan muestras de 15 cm de ancho, 30 cm de largo y una profundidad efectiva de 15 cm). Así pues, fueron tomadas tres muestras para cada escenario de vegetación con lo cual se extrajeron nueve muestras en total. A

continuación, se procede a dividir los bloques entre horizontes por cada cinco centímetros de profundidad, es decir, se deben obtener tres divisiones para cada muestra o bloque establecido que a la vez deben ser mezclados con los bloques y estratos de cada escenario en cuestión; este procedimiento se realiza para cada uno de los escenarios. En otras palabras, se mezclan los primeros 5 cm de profundidad de las tres muestras de bosque y así se continua con el siguiente intervalo de profundidad de 5 a 10 cm y de 10 a 15 cm respectivamente, hasta llegar a realizar este mismo procedimiento para cada uno de los escenarios encontrados, como es el caso de bosque, rastrojo y pasto (Cárdenas et al., 2002), (García & Rico, 1996).

Ahora bien, para las unidades del diseño experimental que se establecieron con el fin de determinar el éxito de la regeneración, se realizaron tres réplicas por cada uno de los tres intervalos de profundidad realizados para cada escenario (Muñoz et al., 2017), por tal motivo, se debe contar con 27 cubetas para efecto de este estudio.

Con el propósito de mantener controladas las condiciones climáticas y para no exponer a factores externos el proceso de germinación de las muestras, se procedió a fabricar un invernadero temporal a base de madera y plástico, el cual cuenta con dimensiones de 1,50 metros de ancho, 2,00 metros de largo y 1,80 metros de alto, para de esta manera, establecer las muestras tomadas en un lugar definitivo. Adicional a esto, se fabricaron mesones a 0,50 metros del suelo para la instalación de las muestras y de esta manera evitar la contaminación de las mismas (Martínez & Roca, 2011).

Figura 4.

Diseño experimental para la regeneración y propagación de cespedones tomados de tres escenarios diferentes en la zona de estudio.



Lo primero que se debe aclarar es que el diseño experimental empleado fue un Diseño de bloques al azar de medidas repetidas, en el cual se emplearon 3 escenarios o coberturas (B = Bosque, R= Rastrojo y P=Pastos) en cada escenario se tuvieron 3 tratamientos, que hacen referencia a la profundidad de la muestra o cespedón para analizar (I = muestra de 0-5 cm, II = muestra de 5 – 10 cm y III = muestra de 10 – 15 cm) y de medidas repetidas, pues se realizaron 3 réplicas para cada uno y se tomaron 3 mediciones en el transcurso de un mes, para poder hallar medias y sumatorias del número de plántulas que germinaron en el cespedón de suelo analizado (apéndice A).

De esta forma se tienen tres variables principales en el diseño, como variables independientes se tiene la cobertura (B, R y P) y la profundidad (I, II y III) y como variable dependiente o respuesta el número de plántulas germinadas. Respecto al número de plántulas germinadas al final del tiempo de evaluación se realizó una clasificación de latifoliada o gramínea.

Para evaluar resultados significativos en el diseño propuesto y analizar el potencial de regeneración natural en el banco de semillas del área de estudio, se realizó un Análisis de varianza (Anova) de doble vía, el cual pretende evaluar la interacción entre el tipo de cobertura y la profundidad en la variable respuesta de Número de plántulas germinadas.

Para llevar a cabo este análisis, se tuvieron en cuenta los supuestos de normalidad para realizar un Anova, por medio de prueba de Shapiro Wilk y Levene y de acuerdo con la significancia en la interacción de las variables, la realización posterior de pruebas post hoc, todo lo anterior en el software Rstudio.

4.2.4 Socialización del proyecto para el cuidado y conservación del bosque ripario.

La socialización del proyecto es un factor clave en el adecuado desarrollo del mismo, se decidió difundir la información a través de medios radiales debido a la situación que nos generó la pandemia del COVID 19, lo cual no permitía realizar aglomeraciones de más de 10 personas, para lo cual se tuvo como estrategia la difusión de la información con un mayor rango de dispersión y de esta manera establecer estrategias que lleven a la conservación del bosque ripario al tener como base la funcionalidad y dinámica del bosque mediante tres sesiones radiales diferentes.

Tabla 1.*Temática para la socialización del proyecto*

ACERCAMIENTO A LA COMUNIDAD POR MEDIO DE TALLERES PEDAGOGICOS			
Charlas	Actividad	Temática	Instrumentos
Conversatorio N 1	Taller virtual	Estrategias para la conservación de áreas boscosas	Medios radiales
	Encuestas	Cambios de coberturas	Puerta a puerta
	Charlas	Funcionalidad y dinámica del bosque ripario	Medios radiales
Conversatorio N 2	Taller virtual	Estrategias para la protección de áreas boscosas	Medios radiales
	Encuestas	Deterioro de la cubierta vegetal	Puerta a puerta
	Charlas	Funcionalidad y dinámica del bosque ripario	Medios radiales
Conversatorio N 3	Taller virtual	Estrategias para la restauración de áreas boscosas	Medios radiales
	Encuestas	Creación de conciencia ambiental para la protección de bosques	Puerta a puerta
	Charlas	Funcionalidad y dinámica del bosque ripario	Medios radiales

Se realizaron encuestas y charlas de aprendizaje a la comunidad, las cuales tenían como idea principal la conservación, rehabilitación y cuidado que se debe tener a las coberturas boscosas y en general el cuidado a los ecosistemas, puesto que estos nos brindan bienes y servicios que se obtienen a raíz del correcto funcionamiento del ecosistema. Para esto, se contó con la ayuda de Orlando Gutiérrez quien es el propietario del equipo radial del municipio. Por otra parte, se involucró a la persona encargada de la parte medio ambiental de la alcaldía municipal.

La dinámica de la socialización se basó en talleres radiales en los cuales se informaban puntos claves acerca de los impactos causados a raíz del cambio de cobertura boscosa y, por ende, la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria, al ser tensionantes, agravantes y limitantes en la erosión del suelo y el deterioro de la microcuenca. Posterior a esto, se concluyó con los beneficios de mantener, preservar y manejar la vegetación boscosa en estas rondas hídricas con especial énfasis en la creación de conciencia del cuidado necesario de los bosques.

5 Resultados

5.1 Plan de restauración y rehabilitación para la conservación de la microcuenca O'tane

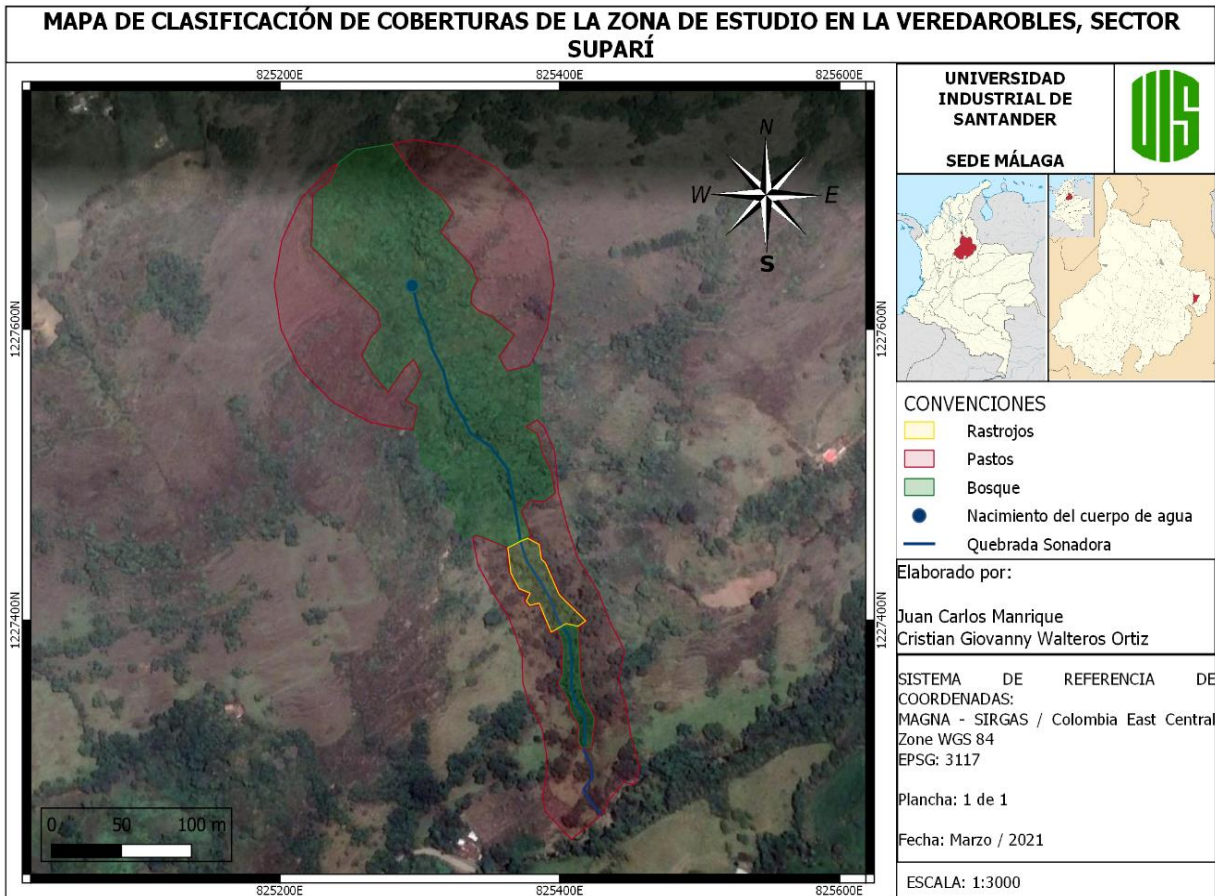
5.1.1 *Estado actual del ecosistema*

5.1.1.1 Medición de la franja protectora de vegetación en la quebrada. Para los resultados alcanzados en la medición de la franja protectora que cuenta con 417 m de longitud para la extensión de la quebrada en el área de estudio, se evidenció que no hay componente arbóreo en gran parte de la franja de protección, especialmente en la parte baja, para lo cual, en algunos tramos o segmentos en específico, el bosque ripario no cuenta ni siquiera con tres metros de vegetación ribereña (apéndice f), de esta manera se define el deterioro y el mal estado en el que se encuentra el bosque ripario de la quebrada Sonadora.

5.1.1.2 Clasificación de coberturas Se encontraron tres coberturas vegetales diferentes que conforman el área de protección de la quebrada las cuales son: escenario de bosque, rastrojos y pastos, para lo cual, cada uno cuenta con áreas de 2,30 ha, 0,15 ha y 2,67 ha respectivamente, por tal motivo, se concluye que para la franja de protección de la quebrada se cuenta con un área de 5,12 ha. En efecto, se busca crear un escenario para cada una de estas coberturas ya que son áreas que se encuentran parcialmente aprovechadas de manera equívoca, en otras palabras, el uso actual del suelo difiere con el uso potencial. No obstante, el objetivo que se quiere cumplir es el de obtener de una u otra manera el uso adecuado y único para la franja de protección establecida en la quebrada de interés.

Figura 5.

Clasificación de coberturas para la determinación de escenarios en la franja protectora



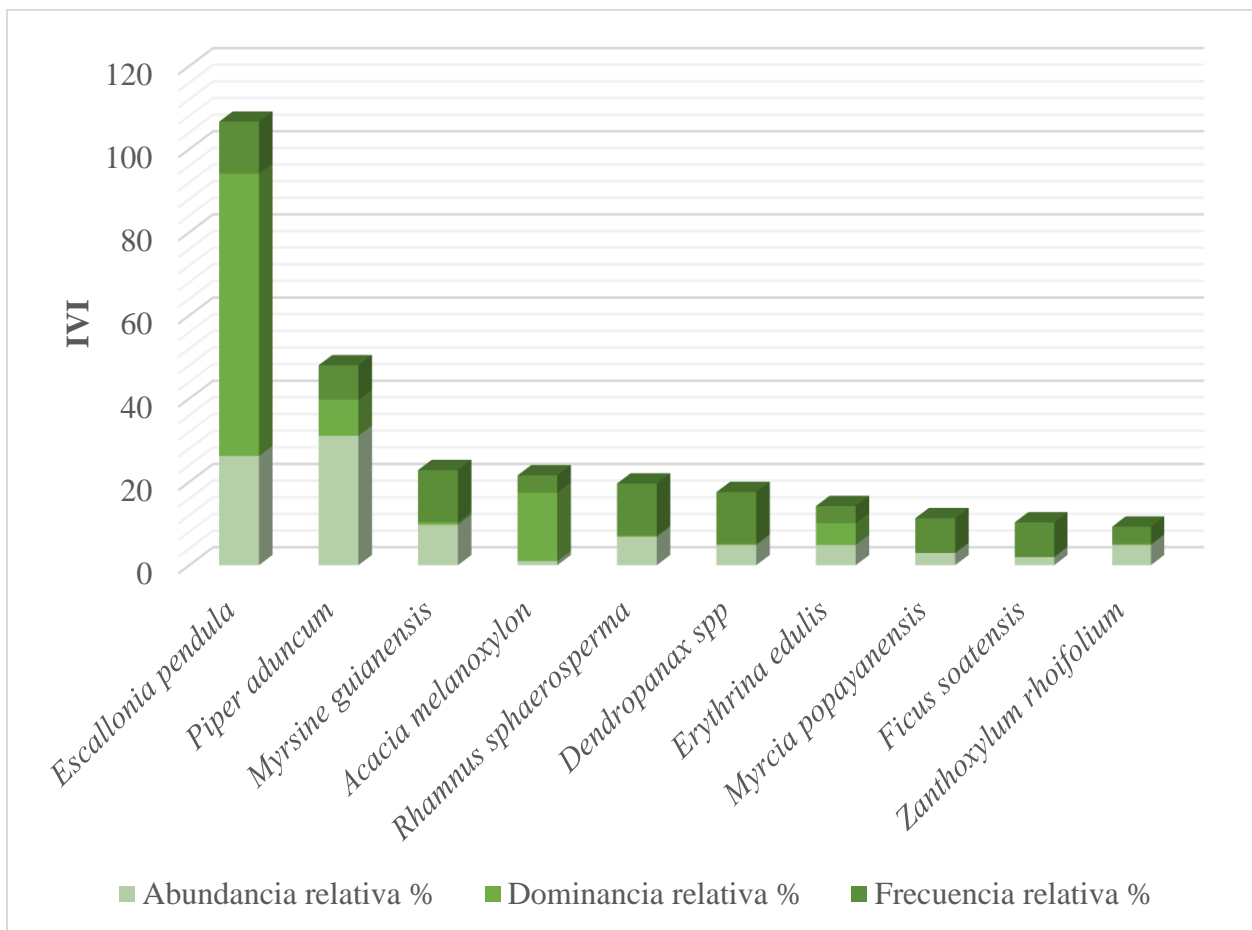
5.1.1.3 Caracterización florística con identificación de componentes dasométricos. La investigación de las variables de importancia en este estudio, necesitó del análisis del bosque ripario en cuestión, para lo cual, se obtuvieron los siguientes resultados en el índice de valor de importancia de las especies más representativas del bosque inventariado.

Índice de valor de importancia. La competencia por la obtención de los recursos abióticos del ecosistema hace que las especies de comunidades vegetales aprovechen de manera óptima los recursos disponibles para dominar la comunidad. Estas especies tienen mayor facilidad para el

desarrollo y reproducción convirtiéndose así en las de mayor importancia en el bosque (Santos, 2018). Para identificar las especies con mayor valor de importancia se debe realizar la sumatoria de frecuencia, abundancia y dominancia relativa.

Figura 6.

Indicador de valor de importancia para los fustales

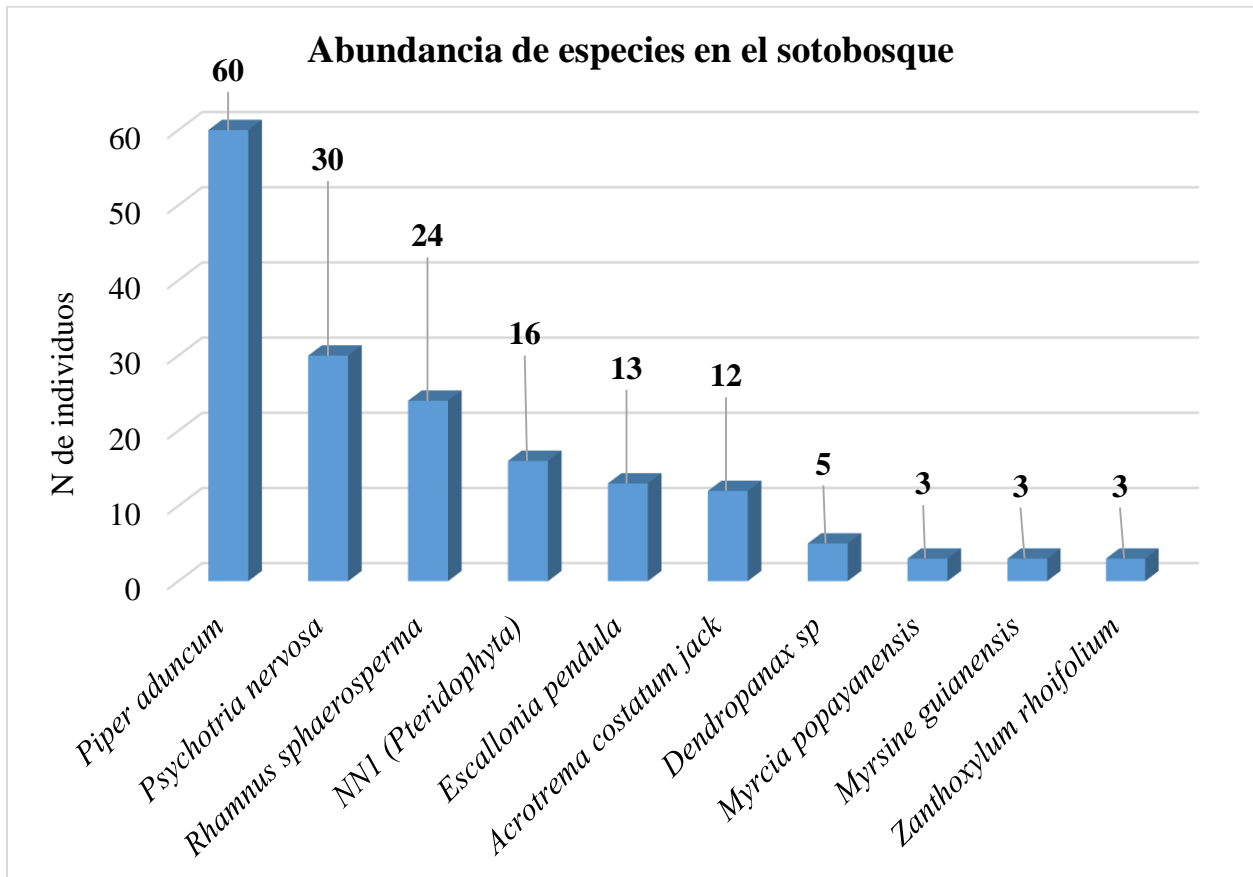


Se encontró que las especies más abundantes e importantes del bosque son las mostradas en la figura 6, lo cual determina que se debe hacer énfasis en el cuidado especial para la conservación de estas especies debido a que son endémicas (a excepción de *A. melanoxylon*) y propias de este ecosistema, ya que cumplen funciones muy importantes dentro del bosque.

Las especies *Escallonia pendula*, *Piper aduncum* y *Myrsine guianensis* poseen los valores más elevados, es decir, cuentan con mayor valor de importancia dentro de la comunidad florística inventariada. Así mismo, los resultados obtenidos en la figura 6 hacen referencia a la composición vegetal de la zona que se encuentra conformada principalmente por dichas especies.

Entre las especies dominantes se tiene a la *Escallonia pendula*, con valores en DAP superiores respecto a las demás especies encontradas dentro del bosque. *Acacia melanoxylon* es la segunda especie con mayor dominancia. Por su parte *Piper aduncum*, sobresale al presentar la mayor abundancia del muestreo.

Por otra parte, la frecuencia relativa hace referencia a la presencia de estas especies en la mayoría de las muestras realizadas; al ser el *Escallonia pendula* observada en tres parcelas de las tres inventariadas, al igual que el caso de *Myrsine guianensis* y *Rhamnus sphaerosperma*. Esto quiere decir que las especies que presentan un mayor valor son aquellas que poseen un patrón regular, por lo cual su rango de dispersión es más homogéneo y, por ende, podemos encontrarlas como se ha dicho anteriormente en patrones regulares continuos y congruentes.

*Abundancia de especies presentes en parcelas de regeneración***Figura 7.***Abundancia de especies presentes en la regeneración*

En la figura 7, se presentan las diez especies más abundantes y significativas en las parcelas de regeneración lo cual determina la abundancia de especies que se presentan al interior del mismo, al tener como especie más frecuente y dominante *Piper aduncum* con 60 individuos, al ser esta de gran importancia dentro del bosque debido a su fácil adaptación y para tener en cuenta las funciones que ésta ejerce dentro del ecosistema ya que se presenta en gran cantidad, lo cual quiere

decir, que su dispersión es más homogénea entre las parcelas estudiadas en el bosque que el resto de las especies.

Índices de diversidad Alfa. La diversidad alfa es considerada como la riqueza biológica de un determinado hábitat y para la implementación de los índices de diversidad alfa en este trabajo, se emplearon los índices de Simpson, Berger Parker, Margalef y Shannon-Wiener, los cuales determinan la diversidad, dominancia y equidad que nos permite observar más a fondo el área de estudio.

Figura 8.

Índices de diversidad

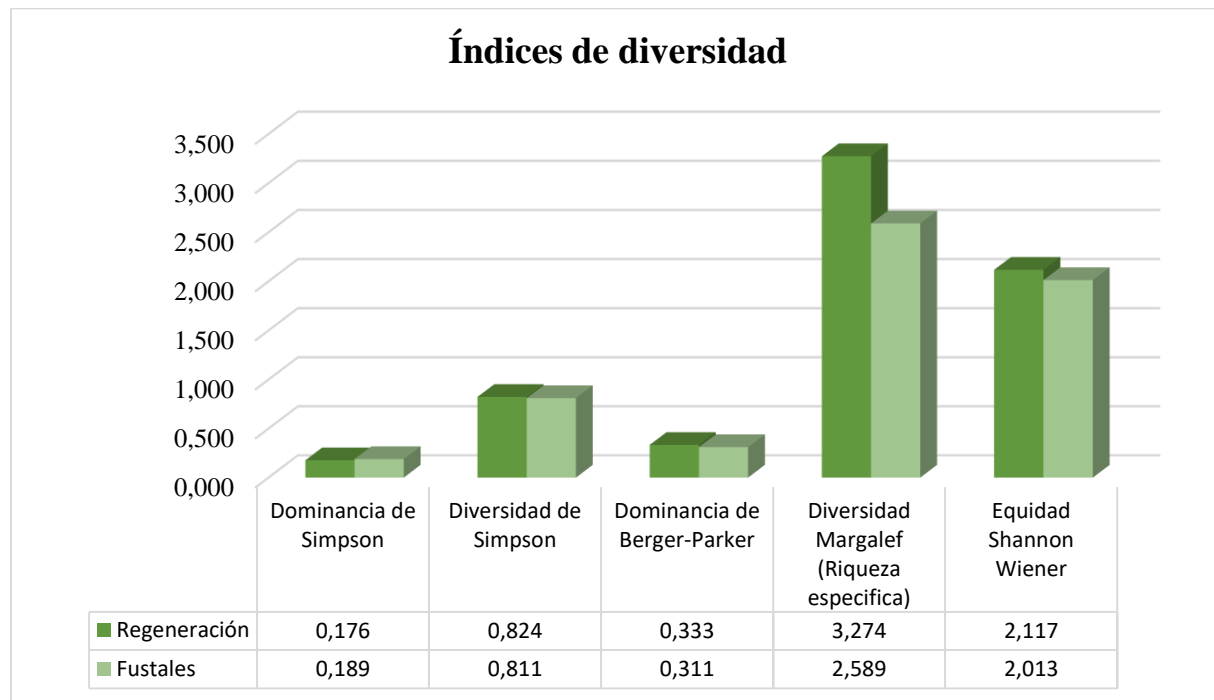


Tabla 2.*Índices de diversidad para individuos de regeneración*

REGENERACIÓN	
Número total de individuos	180
Número total de especies	18
Dominancia de Simpson	0,176
Diversidad de Simpson	0,824
Dominancia de Berger-Parker	0,333
Diversidad Margalef (Riqueza específica)	3,274
Equidad Shannon Wiener	2,117

La dominancia de Simpson demuestra la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar en una comunidad muestreada pertenezcan a la misma especie y su clasificación oscila en rangos desde de cero a uno, teniendo en cuenta que cuanto más se acerca el valor a cero menor es la dominancia del hábitat. Para lo cual se tienen valores de 0,176 más cercanos a cero representando así una dominancia baja, de manera tal que se clasifica como una muestra con gran diversidad.

Por otra parte, la diversidad de Simpson determina la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar en una comunidad muestreada pertenezcan a diferentes especies y el valor del índice oscila entre cero y uno, para lo cual, cuanto mayor es el valor, mayor es la diversidad de la muestra. Categorizando de esta manera una diversidad alta con valores de 0,824 que finalmente concluye a una muestra con gran diversidad.

Cuando los valores obtenidos en el análisis de la dominancia de Berger-Parker se acercan a cero, se identifica a la muestra estudiada como muy diversa, así mismo, se encuentra una baja

dominancia. Dicho de otra manera, no hay alguna especie que domine en el bosque para lo cual se encuentran resultados de gran diversidad, caso contrario a cuando los valores obtenidos se alejan de cero con tendencia próxima a uno, reflejando que hay una especie que domina. Los resultados obtenidos en este índice son de 0,333 lo cual refleja la abundancia que tiene la especie *Piper aduncum* en el sotobosque, es decir, a esta especie la podemos observar en el 33% de la población estudiada. Con esto, se quiere decir que una de cada tres especies es representada por el taxón más abundante presentándose con mayor frecuencia.

El estudio de la riqueza específica de Margalef presenta la diversidad de una comunidad con base en la distribución numérica de los individuos para las diferentes especies muestreadas. La fórmula demuestra el grado de diversidad del ecosistema con relación a la población estudiada y para la interpretación de este índice se clasifican los valores inferiores a dos como zonas de baja diversidad, por otro lado, los indicativos de alta diversidad van determinados por valores superiores a cinco. El valor obtenido para este parámetro fue de 3,274 siendo un valor intermedio que permite identificar etapas sucesionales secundarias tempranas, las cuales cuentan con un grado de diversidad media (Velázquez et al., 2010).

El índice de equidad de Shannon Wiener se refiere el grado de homogeneidad o igualdad de especies, su valor es de uno, el cual se presenta cuando todas las especies presentan la misma abundancia (Darré, 2012). Por otro lado, este índice es uno de los más utilizados para determinar la diversidad de especies de plantas en un determinado hábitat y se basa en la teoría de la información y la probabilidad de encontrar un determinado individuo en un ecosistema. Este se encuentra relacionado con el número de especies y la proporción de individuos pertenecientes a

cada una de ellas y, a su vez, mide la uniformidad de la distribución de los individuos entre las especies. Dicho de otra manera, se tiene en cuenta la riqueza de especies y su abundancia.

De la misma manera, el índice de Shannon-Wiener asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Cuando los valores son cercanos a cero la diversidad es baja, caso contrario si los valores superan 3,5 siendo esto una diversidad alta (Magurran, 1988). El resultado de la aplicación de dicho índice es de 2,117, por tanto, esto demuestra que la comunidad es equitativa en cuanto a diversidad y abundancia.

Tabla 3.

Índices de diversidad para individuos fustales

FUSTALES	
Número total de individuos	103
Número total de especies	13
Dominancia de Simpson	0,189
Diversidad de Simpson	0,811
Dominancia de Berger-Parker	0,311
Riqueza específica (I. diversidad Margalef)	2,589
Equidad Shannon Wiener	2,013

Como se ha mencionado anteriormente, la dominancia de Simpson trata la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar en la comunidad muestreada pertenezcan a la misma especie es de 0,189 y se representa una dominancia baja, de manera tal que se clasifica como una muestra con gran diversidad.

Por otro lado, se presentan valores de 0,811 para la diversidad de Simpson, el cual determina la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar en una comunidad muestreada

pertenezcan a diferentes especies, lo que a su vez refleja una alta diversidad en la población vegetal.

Cuando los valores obtenidos para el análisis del indicador de dominancia de Berger-Parker se acercan a cero, se identifica a la muestra estudiada como muy diversa, así mismo, se encuentra una baja dominancia. Del mismo modo, los resultados obtenidos en este índice son de 0,311 que identifican una diversidad media en la población estudiada, que, a su vez, representa la abundancia que tiene la especie *Piper aduncum* en el bosque, es decir, a esta especie la podemos observar en el 31% de la población estudiada.

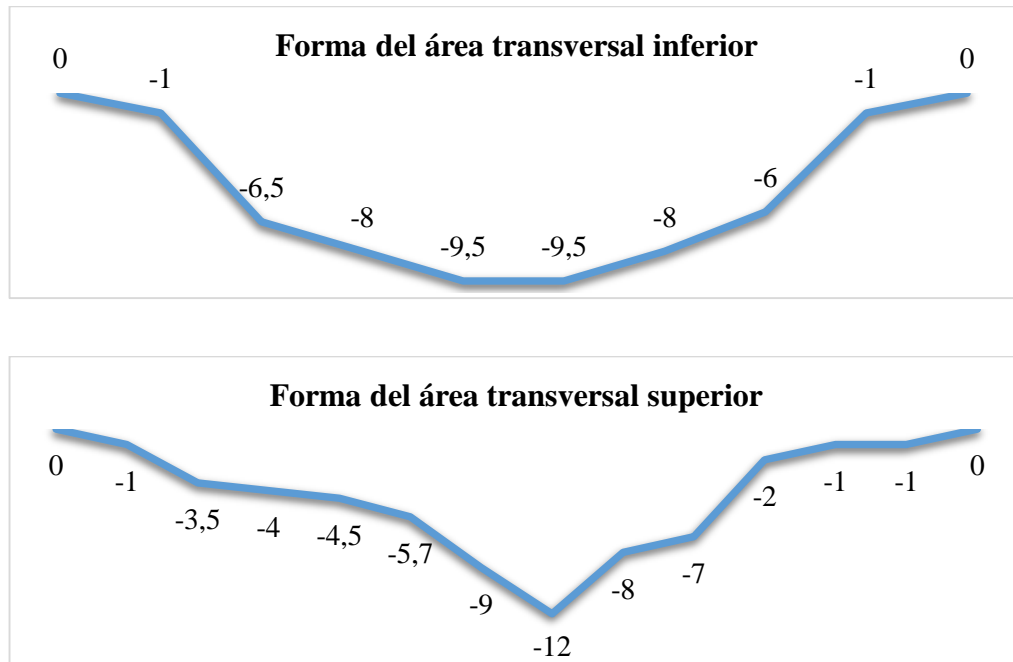
El estudio de la riqueza específica del índice de Margalef presenta la diversidad de una comunidad con base en la distribución numérica de los individuos para las diferentes especies muestreadas. Clasifican los valores inferiores a dos como zonas de baja diversidad, por otro lado, los indicativos de alta diversidad van determinados por valores superiores a cinco. El valor obtenido para este parámetro fue de 2,589 siendo un valor cercano al límite de la diversidad baja.

El índice de Shannon-Wiener es utilizado para determinar la diversidad de especies de plantas en un determinado hábitat y se encuentra relacionado con el número de especies y la proporción de individuos pertenecientes a cada una de ellas, a su vez, mide la uniformidad de la distribución de los individuos entre las especies. Dicho de otra manera, se tiene en cuenta la riqueza de especies y su abundancia. De la misma manera, el resultado de la aplicación de dicho índice es de 2,013, por lo tanto, esto demuestra que la comunidad es equitativa en cuanto a diversidad y abundancia.

5.1.1.4 Aforo del caudal.

Figura 9.

Ilustración de las áreas transversales del afluente hídrico para el mes de junio del año 2020, las unidades de medida presentes se encuentran en centímetros (cm).



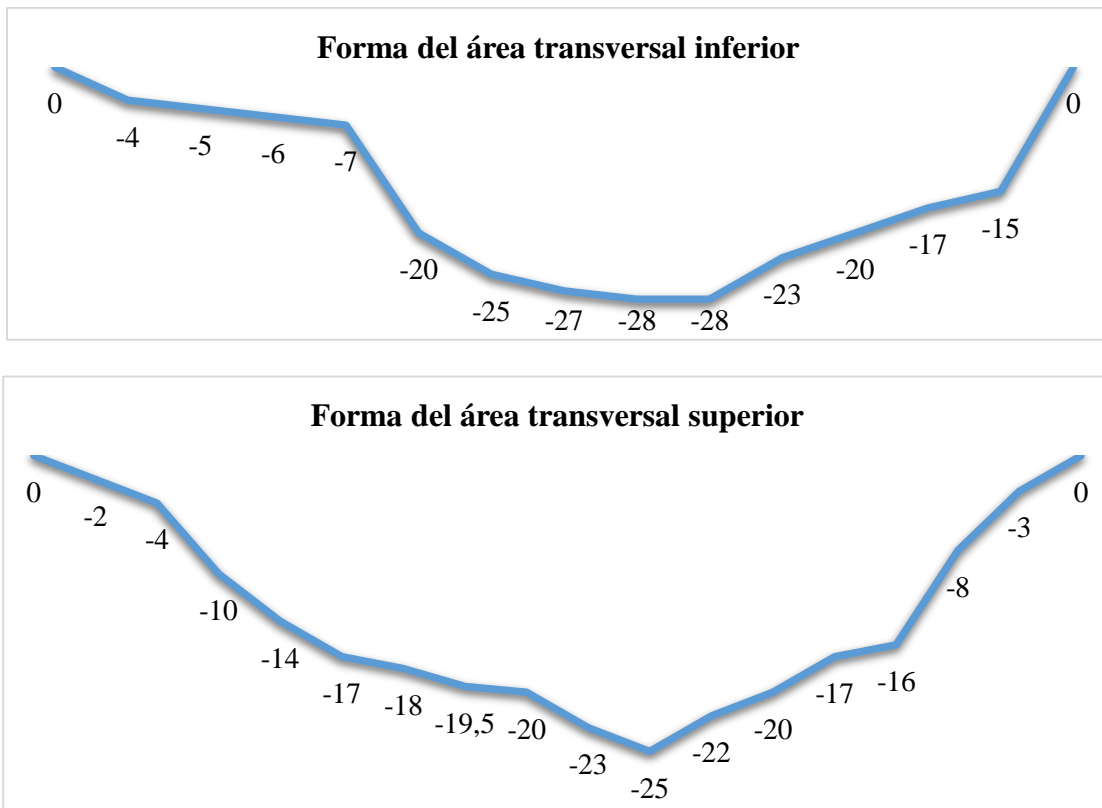
Caudal Junio

Para la obtención de las áreas transversales superior e inferior del tramo del cauce elegido, el cual cuenta con los parámetros establecidos por Placencio (2018), se procedió a realizar la sumatoria de las áreas estimadas, para lo cual, se presentaron valores del área promedio de 0,027 m². Por otra parte, en la medición de la velocidad del cauce se obtuvo un promedio de 0,535 m/seg, lo cual, hace referencia a la velocidad con la que transita el cuerpo flotante con menor densidad que el agua que recorre el tramo elegido. Así mismo, con la aplicación de la fórmula de velocidad y el coeficiente de corrección, se obtiene una velocidad promedio del agua de 0,455 m/seg.

Por último, para la determinación del caudal del afluente hídrico para el mes de junio se aplicó la fórmula anteriormente definida y a raíz de esto se obtuvo una capacidad de 12,308 litros/seg.

Figura 10.

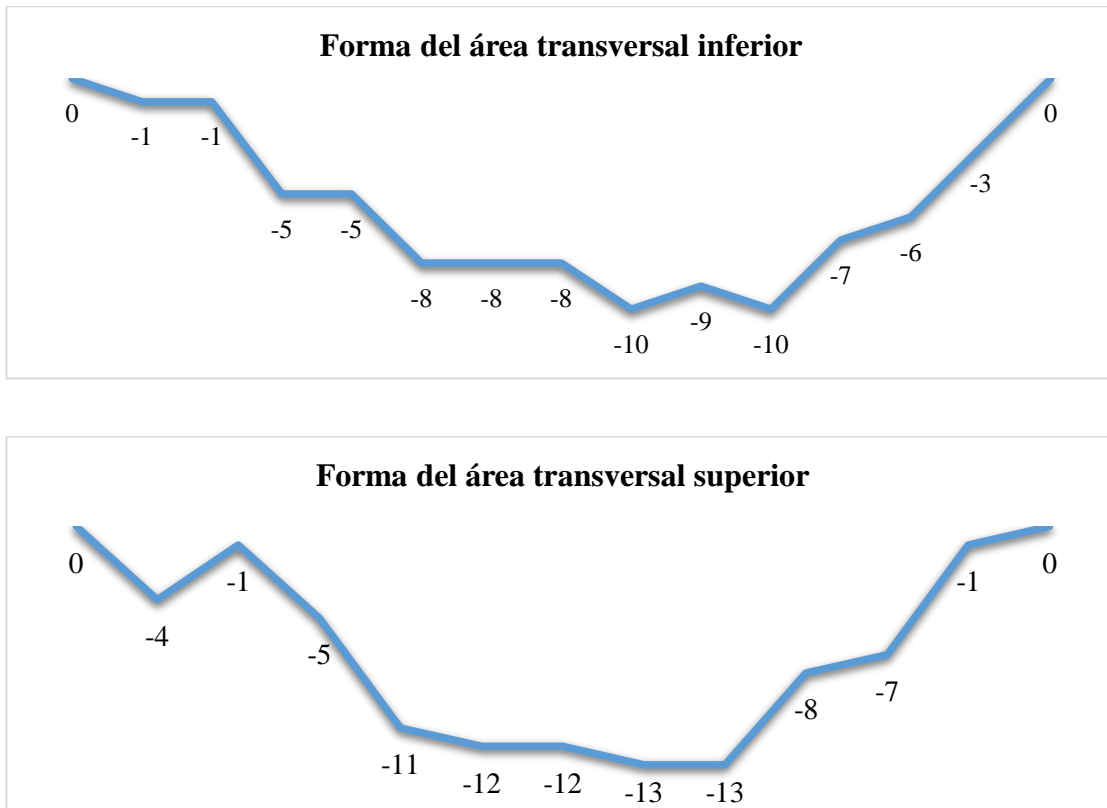
Ilustración de las áreas transversales del afluente hídrico para el mes de octubre del año 2020, las unidades de medida presentes se encuentran en centímetros (cm).



Caudal Octubre

Figura 11.

Ilustración de las áreas transversales del afluente hídrico para el mes de febrero del año 2021, las unidades de medida presentes se encuentran en centímetros (cm).



Caudal Febrero

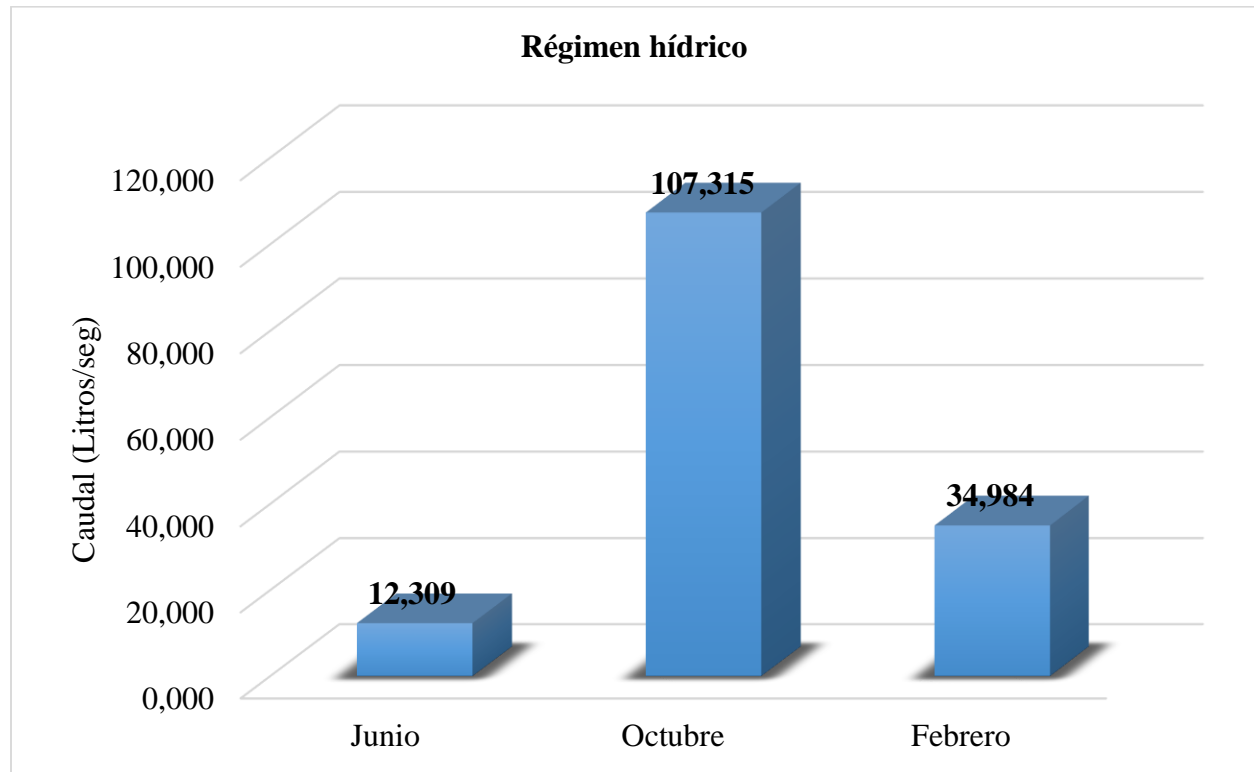
Tabla 4.

Clasificación de datos para el aforo del caudal en periodos diferentes de tiempo

Variable	Junio	Octubre	Febrero
Área transversal promedio (m ²)	0,027	0,116	0,042
Velocidad del cuerpo flotante (m/seg)	0,535	1,090	0,985
Velocidad promedio del agua (m/seg)	0,455	0,926	0,837
Capacidad del caudal (litros/seg)	12,309	107,315	34,984

Figura 12.

Capacidad del caudal obtenida de la quebrada Sonadora



En el gráfico anterior, podemos observar los volúmenes de agua captados para cada aforo realizado, en el cual observamos la amplia fluctuación que existe en el caudal de esta quebrada. Como consecuencia, se quiere regular la oferta de estos servicios ecosistémicos que benefician a la población, además de beneficiar al bosque en el proceso de conservación.

Como se ha dicho anteriormente, por la intervención antrópica y degradación los ecosistemas altoandinos se han implementado diversas estrategias para la regulación del recurso hídrico entre las cuales está la inversión de recursos financieros para de esta manera enfrentar la desaparición y degradación de los bosques (Quintero et al., 2017).

5.1.2 Limitantes y tensionantes para la restauración.

5.1.2.1 Determinación visual de tensionantes causantes de deterioro en la quebrada.

La rehabilitación de ambientes altoandinos suele ser un proceso demorado y difícil, ya que se deben tener en cuenta los tensionantes que se presentan a raíz de disturbios causados por factores bióticos y abióticos que se observan en el ecosistema. Para esto, se deben evaluar las condiciones del medio ambiente y el estado actual en el que éste se encuentra. En consecuencia, es necesaria la determinación visual de tensionantes que provoquen el deterioro en el cuerpo de agua y la degradación en la cobertura vegetal y suelo, a partir de lo cual, se pudieron observar diversas afectaciones en el área de protección de la quebrada, que establecida por la ley 99 de 1993 y el decreto 1076 del 2015 es de 30 metros a cada lado del cauce (González, 2017), en la cual se identificaron la deforestación de especies relacionadas directamente con los cuerpos de agua, la erosión y degradación del suelo. Asimismo, se logró identificar en porcentaje la ausencia del área protectora para gran parte de la quebrada objeto de estudio.

En lo que se refiere al componente vegetal, se identificaron diversos parches de cobertura dominados por pastos y cultivos, que se generan al ampliarse la frontera agrícola y, por ende, al disminuir la cobertura boscosa con el fin de satisfacer la demanda de alimentos para la población y el sustento de las familias de esta región, siendo esta actividad una de las principales como fuente de ingreso para los habitantes. Sin embargo, el principal causante de la conversión del suelo ha sido la implementación del terreno para uso ganadero (Muñoz, 2018).

Además de lo mencionado anteriormente, se logró determinar con ayuda de observaciones en la zona, la presión existente entre los factores bióticos y abióticos, mediante lo cual, se encontró sobrepastoreo en el área de influencia directa, el cual incluye la presencia excesiva de bovinos en

una área relativamente pequeña, provocando de esta manera la compactación y por ende la erosión y degradación del suelo (Ríos, 2011), al ser éste el principal tensionante a resolver en las áreas que pertenecen a la franja protectora del afluente hídrico. Se deben señalar dichas acciones en vista del deterioro que se provoca en el ecosistema y, a la vez, por la influencia de la cría y levante de ganado para la producción de carne y leche se observa la contaminación y afectación del afluente hídrico, además de la poca sucesión ecológica que se presenta en la franja protectora o límites cercanos al afluente, debido a que estos rumiantes minimizan el porcentaje de sobrevivencia y sucesión de las especies presentes en dicho lugar (Bohórquez, 2013).

5.1.2.2 Análisis de suelo. Con la ayuda de la realización de este estudio de suelos podemos analizar cautelosamente algunos aspectos de la composición física y química del suelo. Inicialmente, se puede observar que la textura del suelo corresponde a una textura franca para las coberturas pasto y rastrojo, mientras que para el bosque se presenta una cobertura franco arenosa, el pH obtenido para las muestras de bosque, rastrojo y pasto contiene valores de 6,5, 7,2 y 7,7 respectivamente, donde los suelos de las coberturas de bosque y rastrojo son ligeramente ácidos, mientras que para la cobertura o escenario de pastos el pH es neutro. En el análisis de los suelos se define que el porcentaje de carbono orgánico es alto para las tres coberturas en clima medio con valores superiores a 4,53, lo que traduce a altas cantidades de materia orgánica y por ende, la conservación del suelo presentando estabilidad en su estructura, retención y liberación de nutrientes que permiten la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo, al igual que sucede con el porcentaje de nitrógeno total siendo alto para las tres coberturas con un valor de 0,39 . Por último, la saturación de bases para las tres coberturas es elevada cerca del 100%.

Con los datos mencionados anteriormente, podemos interpretar que los suelos de los tres escenarios contienen bajo contenido de arcillas y alto porcentaje de arena por lo tanto es un suelo que no tendrá problemas por saturación de agua, al tener de esta manera una alta infiltración. Con respecto al pH, se presentan valores normales, por ende, la saturación de aluminio es baja y de esta manera no limitan algunas especies forestales susceptibles a la acidez. Estos suelos contienen una alta saturación de bases con iones cargados positivamente que excluyen iones como el hidrogeno y aluminio. Por otro lado, los suelos de estas tres coberturas contienen alto porcentaje de carbono orgánico, lo cual se resume en suelos con alto contenido de materia orgánica y la existencia de biota en el suelo.

Respecto a las especies de mayor importancia determinadas con el IVI y que no presentan regeneración se encuentra la *Escallonia pendula* que requiere suelos con excelente drenaje, además no exige suelos bien fertilizados y la *Acacia melanoxylon*, que requiere de suelos húmedos bien drenados, con bastante materia orgánica y además de ser resistente a suelos pobres y arcillosos. Estas especies mencionadas anteriormente se ajustan adecuadamente al tipo de suelo que encontramos en esta zona, ya que los requerimientos de las especies se acoplan exitosamente a lo obtenido en el estudio de suelos (Corpoboyacá, 2016).

5.1.2.3 Aplicación de encuestas para la recolección de datos históricos. En el procedimiento de la aplicación de encuestas para recolección de datos históricos, se realizaron ocho preguntas para cada una de las encuestas con el fin de determinar los conocimientos de algunos temas correspondientes a la conservación y determinación del estado y las condiciones físicas como también los factores abióticos de la zona de estudio, dentro de los cuales, los resultados obtenidos reflejan en una de las conclusiones que para el 100% de las encuestas

realizadas, las personas encuestadas tienen conocimientos acerca de términos como la reforestación y conservación, teniendo claridad en conceptos claves acerca de medidas de mitigación para daños resarcidos por causas bióticas o abióticas.

Por otra parte, en la pregunta que define si existe o se han presentado cambios de cobertura en la zona de estudio, se obtuvieron diversas respuestas donde el 43% de las personas encuestadas define la existencia de un cambio de coberturas, otro 43% define que no existe y el 14% restante no sabe si esto sucedió, lo cual no nos ofrece información de calidad para este interrogante, ya que manifiestan no conocer muy bien la zona de estudio. Del mismo modo, para la fluctuación de las propiedades físicas y la cantidad del recurso hídrico se quería indagar del conocimiento de la población hacia un posible aumento o disminución de la cantidad del recurso hídrico, además de la contaminación del caudal, para lo cual el 86% de los encuestados afirmaron que efectivamente existe una disminución del contenido hídrico, además de la afectación en las propiedades físicas del mismo, lo cual compromete la calidad del recurso que los suple, por otra parte, el 14% de la población encuestada respondieron negativamente a la fluctuación en la cantidad o calidad del recurso hídrico suministrado por la red hídrica en cuestión.

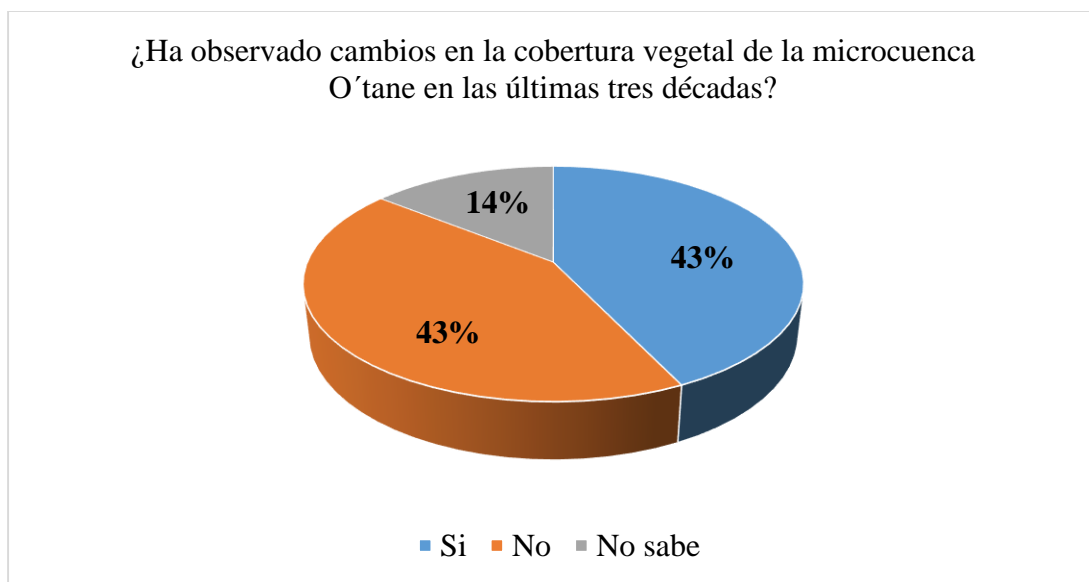
Posterior a esto, se preguntó si era posible cambiar los factores negativos que afectan la microcuenca y a su vez causan un impacto en la calidad de vida de la población como son la deforestación y la contaminación con el fin de disminuir las afectaciones en el caudal, al cual el 71% de las personas respondió que sí es posible y el 29% restante dijo que no sabía. También se realizaron preguntas enfocadas a la restauración con énfasis en la realización de actividades como la reforestación o protección de áreas boscosas por parte de la población, para lo cual, el 71% de

los encuestados afirmaron haber realizado dicha actividad y el 21% de las encuestas argumentaron nunca haberla ejercido.

Así mismo, se quería determinar si la población conservaba conocimientos relacionados con los bienes o servicios que nos ofrece la conservación de cuencas hidrográficas, para lo cual, el 71% de las personas encuestadas afirmó conocerlos mientras que el 29% desconoce o confunde estos términos. Para finalizar, el 100% de los encuestados afirman estar dispuestos a generar actitudes a favor de conservación de fuentes hídricas, lo cual sirve para determinar la buena actitud y compromiso de la comunidad para con el medio ambiente.

Figura 13.

Resultados de encuestas realizadas a la población asentada.

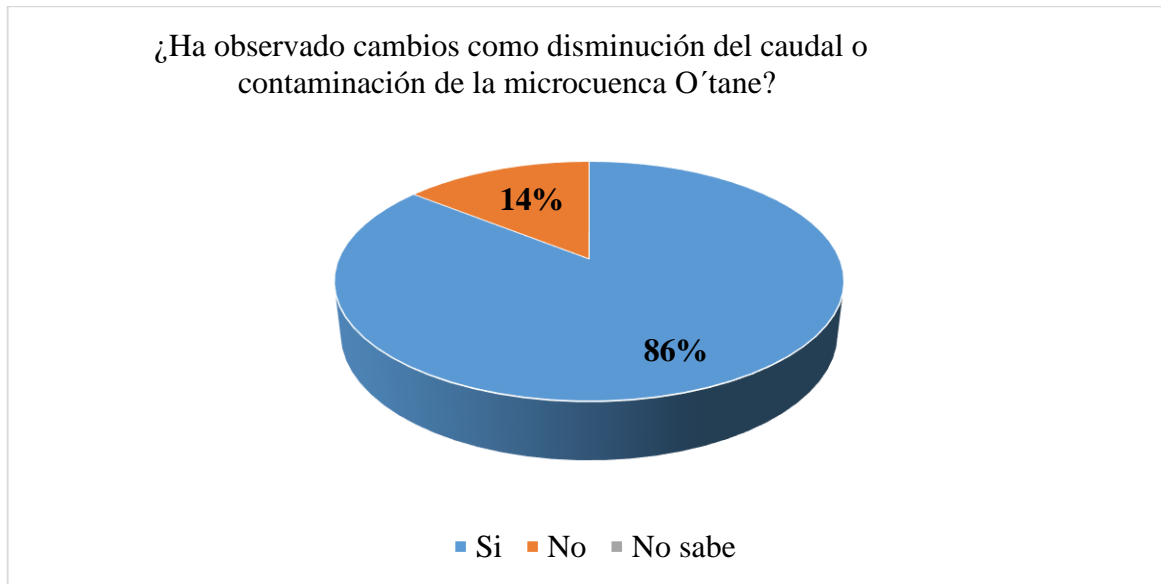


El 86% de los encuestados se encuentran divididos entre la existencia o no del cambio de coberturas en la zona de estudio, cabe recalcar que al momento de realizar esta pregunta se aclaró

que estos cambios podían ser positivos o negativos, el 14% restante de las encuestas dijeron no conocer muy bien la zona y se abstuvieron de dar una respuesta errónea.

Figura 14.

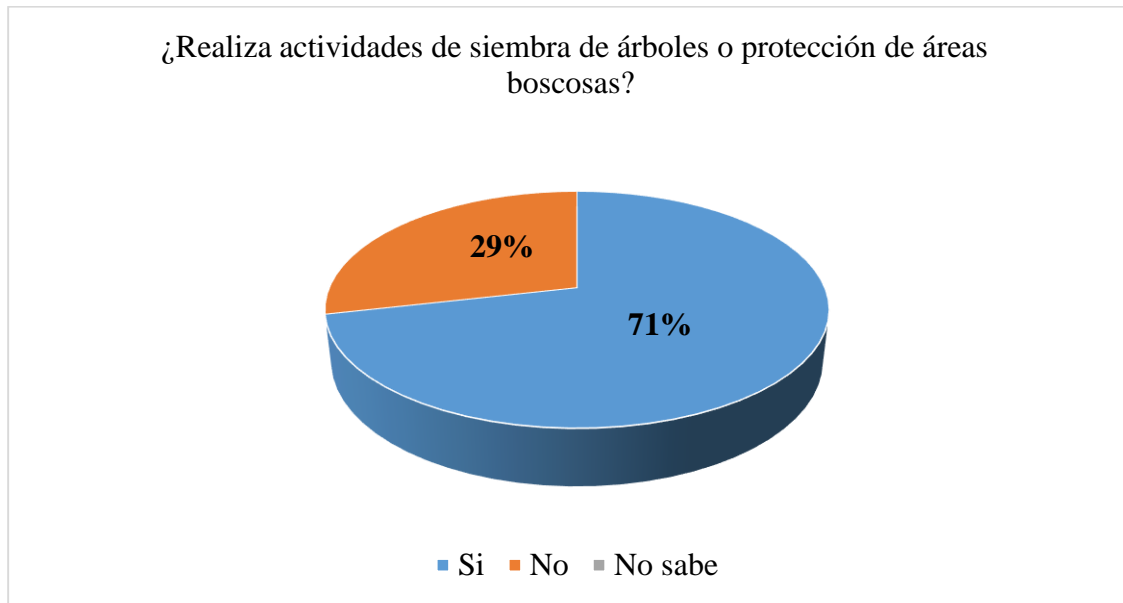
Resultados de encuestas realizadas a la población asentada.



Esta gráfica refleja los valores en las respuestas donde la mayor cantidad de encuestados afirman que existe una disminución de caudal que es dependiente de los ciclos de lluvia y que estos cambios en el caudal son drásticos, estas son afirmaciones de algunos de los encuestados. Respecto a la contaminación en el caudal ellos declaran que algunos meses atrás el agua tiende a bajar con sedimentos, la cual impide el aprovechamiento de este recurso durante al menos 10 horas.

Figura 15.

Resultados de encuestas realizadas a la población asentada.



Para finalizar con el análisis de información referente a encuestas para la recolección de datos, se puede inferir que existe una gran cantidad de los encuestados que en algún momento de su vida ha realizado reforestación o conservación de áreas boscosas y cuerpos de aguas, algunos enfatizan que lo realizan en nacimientos de agua que están dentro de sus predios. Por el contrario, el 29% de los encuestados nunca han realizado esta actividad, pero están dispuestos a fomentar acciones o actividades en pro de la conservación de cuerpos de agua y zonas boscosas.

5.1.3 Aspectos generales del sistema de referencia y del potencial de regeneración

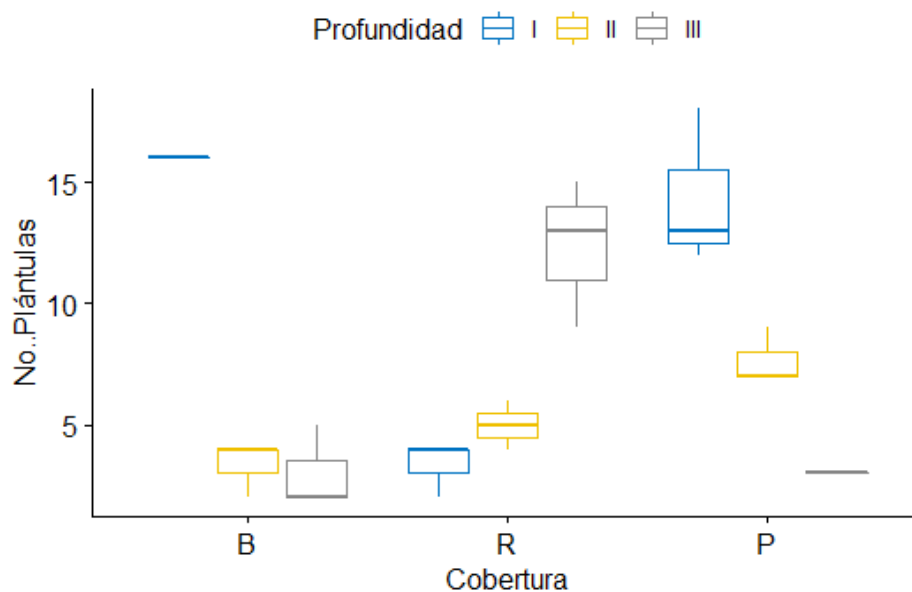
5.1.3.1 Determinación del potencial de regeneración natural del bosque. La media de datos resalta el número de datos promedio presente para la cobertura y profundidad mencionadas anteriormente, con lo cual, podemos observar para el escenario de Bosque y Pastos que la mayoría de sus semillas germinadas se encuentran en el estrato determinado de 0 a 5 cm, siendo este estrato

el más superficial. Contrario a lo que sucede con el escenario de Rastrojos, en el cual conseguimos observar la media de sus datos en el estrato más profundo, siendo para este estudio el horizonte de 10 – 15 cm.

A continuación, se pueden observar los datos ya mencionados en una gráfica de caja y bigotes.

Figura 16.

Evaluación de supuestos de normalidad.



Dónde: B = Bosque, P = Pastos, R = Rastrojos; I = horizonte de 0 – 5 cm, II = horizonte de 5 -10 cm, III = horizonte de 10 – 15 cm.

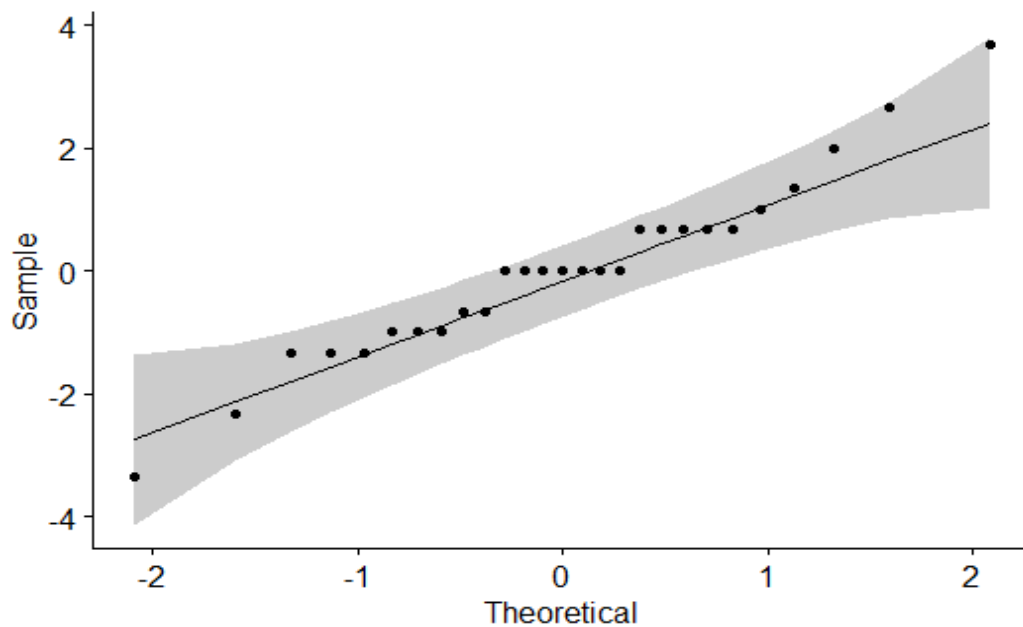
La normalidad se puede evaluar gráficamente y por medio de pruebas estadísticas teniendo como base el modelo:

$$\text{Modelo lineal} = (\text{No. plántulas} \sim \text{Cobertura} * \text{Profundidad})$$

Se realizó una gráfica de residuales del modelo, donde se puede verificar que los residuales se encuentran cercanos a la media central y dentro del umbral de normalidad, es decir no se tienen datos extremos o considerados como atípicos.

Figura 17.

Gráfica de residuales.



Se realizaron las pruebas de Shapiro Wilk para residuales, al igual que la prueba de Levene, obteniendo de esta manera valores de 0,458 y 0,624 respectivamente, lo cual determina la normalidad de los valores tomados para la realización del estudio al tener un valor de significancia mayor a 0,05, por lo cual, se procede a realizar un Anova.

De acuerdo con el Anova, se tienen diferencias significativas debido a la profundidad de toma de la muestra, pero la significancia más alta se encuentra en la interacción entre tipo de cobertura y profundidad con p. valor de 0,896.

Se realizaron comparaciones múltiples, ajustada al método de Bonferroni, que muestra cada una de las interacciones tenidas en cuenta por el modelo.

Figura 18.

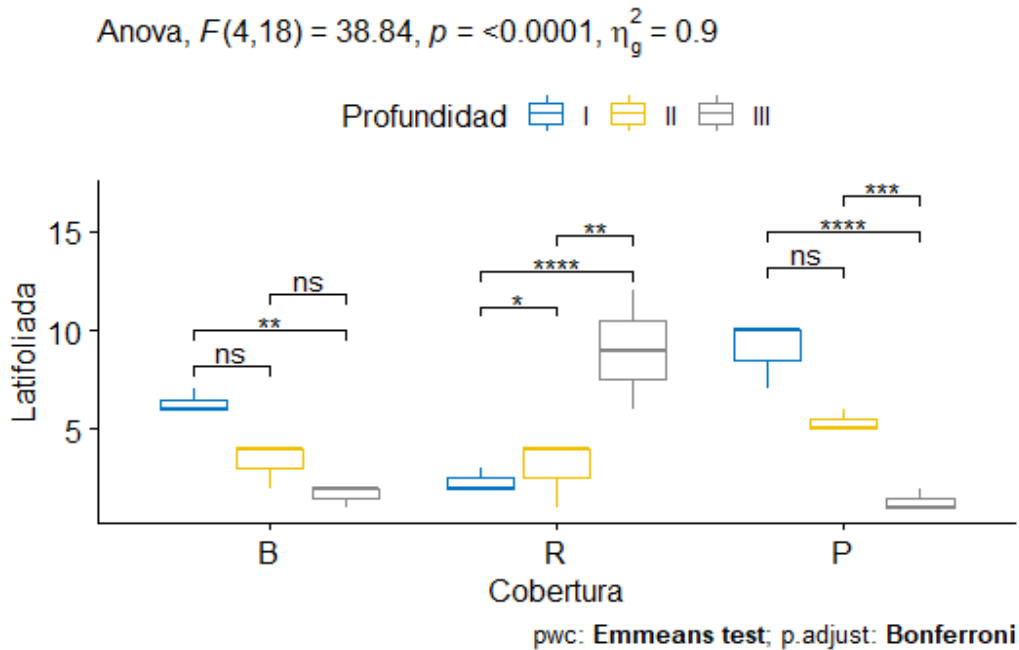
Diversas comparaciones entre la cobertura y profundidad ajustadas al modelo de Bonferroni.

	Cobertura	term	.y.	group1	group2	df	statistic	p	p.adj	p.adj.signif
*	<chr>	<chr>	<chr>	<chr>	<chr>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<chr>
1	B	Profundi~	No..Plán~	I	II	18	8.85	5.67e-8	1.70e-7	****
2	B	Profundi~	No..Plán~	I	III	18	9.08	3.85e-8	1.16e-7	****
3	B	Profundi~	No..Plán~	II	III	18	0.233	8.19e-1	1.00e+0	ns
4	P	Profundi~	No..Plán~	I	II	18	4.66	1.96e-4	5.88e-4	***
5	P	Profundi~	No..Plán~	I	III	18	7.92	2.84e-7	8.53e-7	****
6	P	Profundi~	No..Plán~	II	III	18	3.26	4.35e-3	1.31e-2	*
7	R	Profundi~	No..Plán~	I	II	18	-1.16	2.60e-1	7.79e-1	ns
8	R	Profundi~	No..Plán~	I	III	18	-6.29	6.30e-6	1.89e-5	****
9	R	Profundi~	No..Plán~	II	III	18	-5.12	7.13e-5	2.14e-4	***

Dónde: B = Bosque, P = Pastos, R = Rastrojos; I = horizonte de 0 – 5 cm, II =horizonte de 5 - 10 cm, III = horizonte de 10 – 15 cm. ns= No significativo. De acuerdo a lo anterior, las diferencias más significativas se encuentran en la cobertura bosque.

Figura 20.

Análisis de varianza gráfico para la interacción entre Latifoliadas y cobertura.



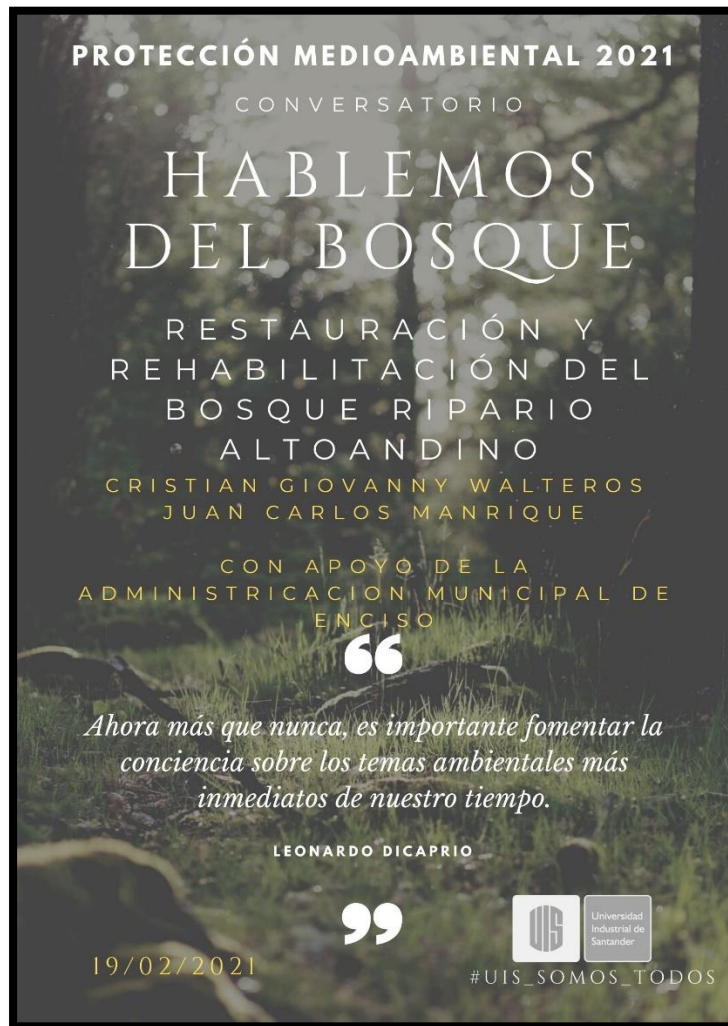
Dónde: B = Bosque, P = Pastos, R = Rastrojos; I = horizonte de 0 – 5 cm, II = horizonte de 5 - 10 cm, III = horizonte de 10 – 15 cm. ns= No significativo, cabe resaltar que este estudio se realizó simplemente en regeneración para Latifoliadas.

En el análisis de varianza realizado para plántulas Latifoliadas, se puede observar que se presenta una diferencia significativa para el escenario de Bosques entre los horizontes I y III; para el escenario de Rastrojos entre los horizontes I y III; y por último, la diferencia significativa presentada para el escenario de Pastos entre los horizontes I y III. Lo cual indica diferencia significativa en plántulas germinadas para dichos escenarios al presentar diferencia para Bosques y rastrojos un número de plántulas mayor en el horizonte I, contrario a lo presentado en el escenario de Rastrojos, al ser significativas el mayor número de semillas germinadas en el horizonte III.

5.1.4 Socialización del proyecto para el cuidado y conservación del bosque ripario

Figura 21.

Póster para promocionar los conversatorios realizados



Este proceso es de gran importancia para un plan de restauración, debido a que sirve para crear conciencia en la comunidad, además, brinda conocimientos y estrategias a la población para aprender a cuidar y conservar el bosque con la realización de esfuerzos enfocados hacia un

bienestar común y general para la población con el fin de convertir el ecosistema en uno regulado y sostenible.

Los conversatorios se realizaron en tres sesiones diferentes de radio, para las cuales, cada una iba enfocada hacia un proceso diferente relacionado con la dinámica y cuidado del bosque con la finalidad de crear conciencia ambiental e informar la importancia que tiene el cuidado y preservación de estas áreas boscosas que se encuentran ligadas a los cuerpos hídricos.

5.1.5 Propuesta de restauración y planeación de estrategias para la potenciación de sucesión ecológica

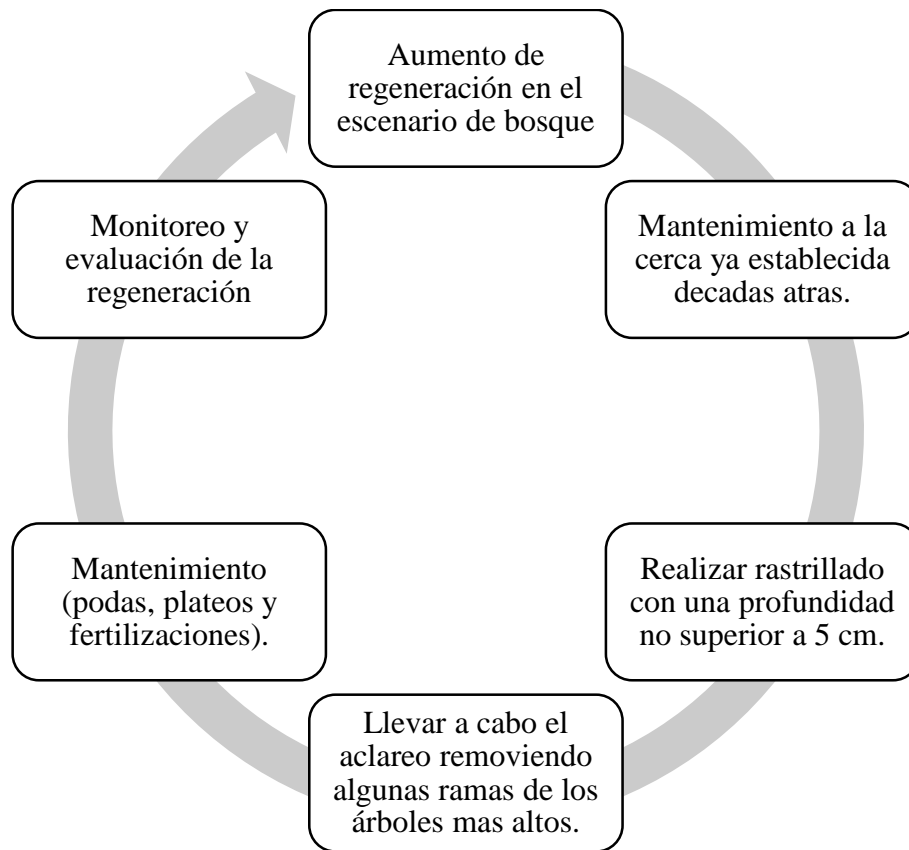
Principalmente, se utilizará el material vegetal que se pueda propagar, teniendo en cuenta las especies endémicas que aporten beneficios para la conservación de la humedad y, a su vez, sean especies que cuenten con gran valor de importancia para el bosque inventariado, además de esto, se gestionará la compra de material vegetal en viveros locales o regionales para que el proceso se pueda realizar acortando tiempo valioso para la ejecución del proyecto.

Para el escenario de bosque, se requiere conservar y a su vez aumentar las áreas protectoras del afluente hídrico, para lo cual, se necesita el establecimiento de individuos dispersos entre el bosque. Además, se necesitan hacer raleos o aclareos para aumentar la posibilidad de sobrevivencia de los individuos establecidos con la finalidad de mejorar el porcentaje de germinación del banco de semillas y con esto aumentar la regeneración de la zona con lo cual, se requiere la aplicación de técnicas silviculturales como la apertura del dosel para finalmente, aplicar los tratamientos adecuados y necesarios como la translocación de suelo en los primeros horizontes del suelo debido a que, según las pruebas realizadas en el Anova, se determinó mayor

presencia de semillas Latifoliadas viables para los primeros horizontes determinados entre 0-10 cm.

Figura 22.

Diagrama para aplicación de técnicas de potenciación para la sucesión ecológica del escenario de bosque.

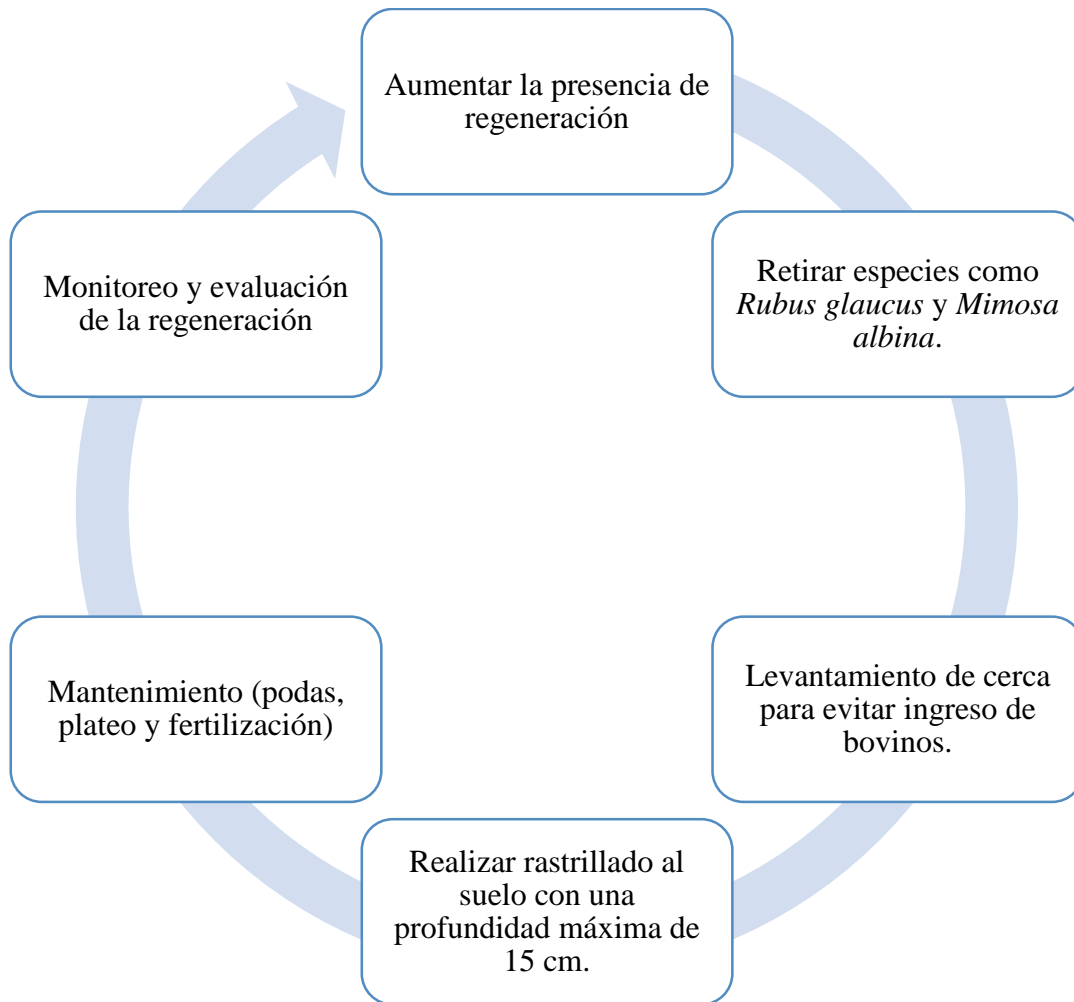


Por otra parte, para el escenario de rastrojos, se quiere aumentar el área del mismo, aplicando de igual manera tratamientos como la translocación de suelo con mayor intensidad que los aplicados para el escenario de Bosques para de esta manera, brindar mejores condiciones al banco de semillas viable que se encuentra en el horizonte III (horizonte entre 10-15 cm), en donde se puede evidenciar la presencia significativa de individuos latifoliados respecto a los demás

horizontes estudiados, de tal manera que la vegetación secundaria que allí se encuentra haga parte del bosque, interactuando de esta manera con la zona de transición para ejercer un efecto de amortiguamiento contra los efectos nocivos de mayor impacto que puedan afectar el bosque o el afluente hídrico. Se propone hacer una limpieza en el escenario de rastrojos con el fin de eliminar especies gramíneas exóticas que impidan el crecimiento y adecuado desarrollo de especies arbóreas, disminuyendo a su vez la competencia interespecífica por la disponibilidad de recursos como luz, nutrientes y agua, como es el caso de las especies trepadoras que afectan los individuos arbóreos.

Figura 23.

Diagrama para aplicación de técnicas de aumento de bosque para el escenario de Rastrojos

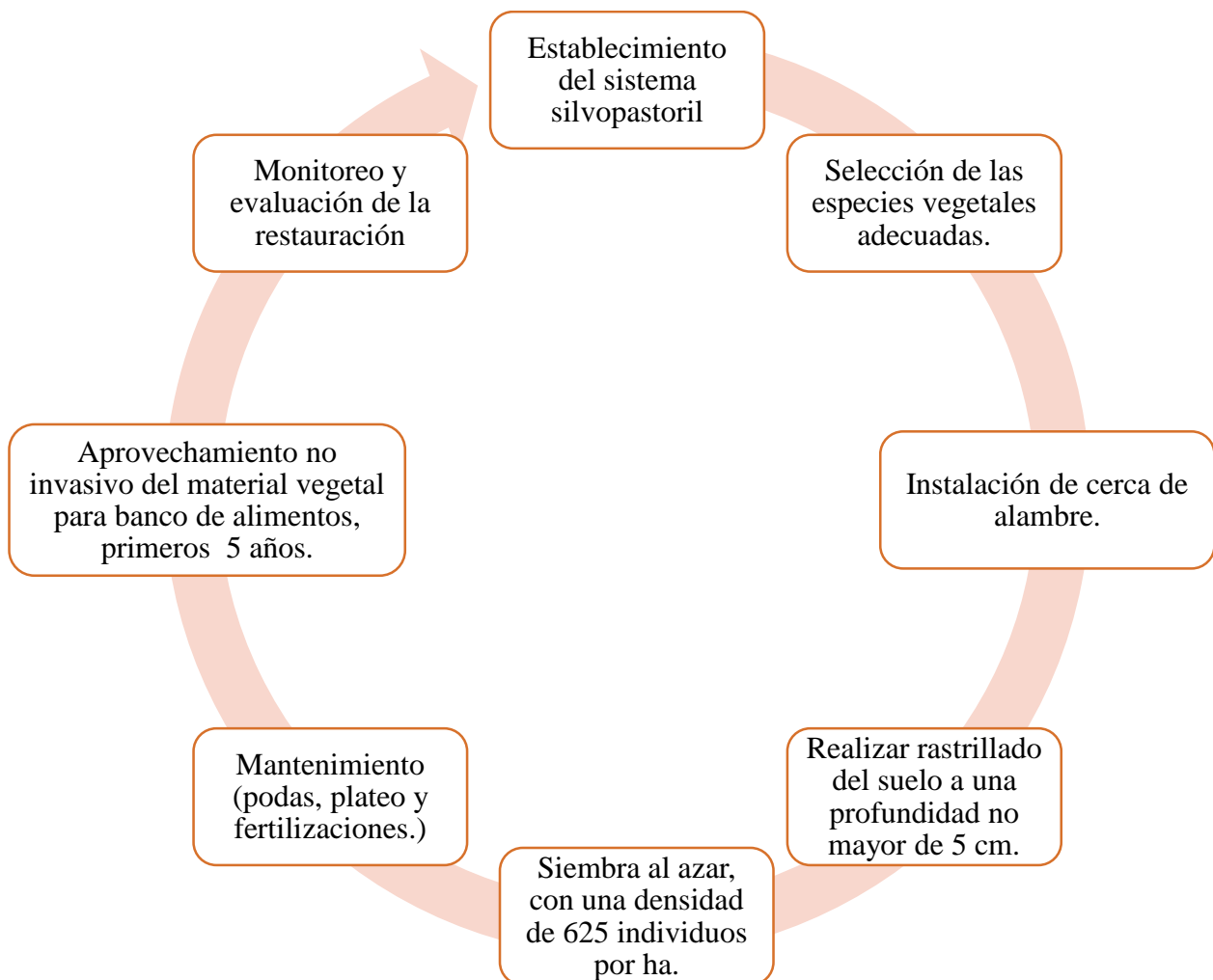


Para el caso de las áreas productoras de pastos, se requiere la inclusión del material arbóreo protector, con el fin de asociar las áreas de potreros al bosque y, a su vez, se requiere implementar un sistema silvopastoril como se mencionó anteriormente con el fin de que no se vean afectadas las áreas productoras de la finca propiciando de esta manera beneficios para la calidad del insumo que se requiere y brindando alternativas que beneficien la cría y levante de ganado. Ahora bien, teniendo en cuenta el escenario en cuestión que se relaciona con el área protectora del afluente se

requiere la aplicación de translocación del suelo, debido a que se presenta mayor cantidad de semillas viables para el horizonte I y II que para el horizonte estudiado III al evidenciar diferencias significativas.

Figura 24.

Diagrama para la aplicación de sistema silvopastoril, mantenimiento y monitoreo en el escenario de Pastos



Para favorecer la regeneración se propone el establecimiento de un cercado, de manera tal que los bovinos no tengan ninguna facilidad de acceso, por lo cual, se evitara daños o alteraciones en la sucesión ecológica y de esta manera se garantizan beneficios para los afluentes hídricos como la conservación y la regulación del recurso hídrico, en efecto, se necesita de la ayuda de las plantas, debido a que éstas se encargan de dichos procesos durante el ciclo hidrológico. Lo anterior, crea condiciones favorables para el recurso hídrico aportando de esta manera un abastecimiento a la población durante el año sin que el mismo escasee por uno u otro motivo. Y, por último, realizar la dispersión de semillas recolectadas de la zona, con el fin de aumentar el rango de dispersión de dichas especies mejorando de esta manera la regeneración, lo cual debería replicarse para los tres escenarios.

El diseño de siembra que se propone es un sistema silvopastoril con árboles dispersos aleatoriamente en potreros para de esta manera no afectar las áreas productoras de las fincas de manera significativa, el cual define un diseño florístico de 625 especies por ha para lo cual, se necesitará la ayuda de la alcaldía municipal para la obtención del material vegetal necesario y de esta manera poder mitigar la ausencia de la franja protectora.

Como lo menciona (Sotomayor et al., 2008), los árboles y arbustos dispersos en potreros son la forma más común de sistemas silvopastoriles, es acá donde se combina la vegetación ya constituida con los nuevos árboles o arbustos, los cuales se deben dispersan uniformemente por todo el terreno y completamente al azar, definido esto no se manejarán distancias entre individuos sino que se hará de manera irregular, esto ayudara a que este sistema silvopastoril tienda a ser asimétrico de tal manera que no afecte el paisaje drásticamente, esta es una característica primordial en un bosque natural.

Las especies a utilizar para el sistema silvopastoril son: *Erythrina edulis* conocido comúnmente en la región como chachafruto, esta se usa para la alimentación de ganado bovino ya que las hojas y sus frutos contienen un nivel nutricional óptimo en proteínas, con 27,5% en hojas y 22,7% los frutos, esta especie también se puede asociar con el *Xanthosoma sagittifolium* comúnmente conocido como bore (Acero, 1996), también es usada para banco de alimento en bovinos debido a que contiene alto porcentaje de proteínas, éstas serían las especies forestales que se usarían para el sistema silvopastoril, además de que son comunes en la zona lo cual no altera la flora de esta zona de vida y presentan fácil adaptabilidad. Las especies mencionadas anteriormente se mezclarían con *Trichantera gigantea*, *Salix humboldtiana*, *Sambucus nigra* y *Piper aduncum*, además de las que ya se encuentran en el escenario de pastos como lo son *Escallonia péndula* y *Myrsine guianensis*.

Por otra parte, se deberían implementar sistemas agroforestales para principalmente atraer especies faunísticas, entre las cuales, tenemos las aves y mamíferos frugívoros que nos ayudan en el aumento y mejoramiento de la diversidad por medio de los métodos de dispersión zoócoros que, a su vez, potencian la restauración de tierras degradadas, controlar la erosión, la calidad del agua y el secuestro de carbono. Estos sistemas cuentan con el potencial de restaurar las tierras degradadas, apoyar los medios de vida y mejorar la seguridad alimentaria y nutricional.

Tabla 5.

Presupuesto especificado para ejecutar los tratamientos en el escenario de Pasto.

Fases	Especificación	Cantidad	Costo/Unidad	Costo total
Establecimiento	Plántulas	1753	\$ 1.000	\$ 1.753.000
	Alambre de púas N° 12.5 de 400 m (rollo)	2	\$ 269.900	\$ 539.800
	Estantillos	200	\$ 15.000	\$ 3.000.000

	Grapas (caja 1 kg)	4	\$ 10.900	\$ 43.600
	Mano de obra calificada	1	\$ 100.000	\$ 100.000
	Jornales	16	\$ 35.000	\$ 560.000
	Recolección de semillas	2	\$ 40.000	\$ 80.000
	Refrigerios	50	\$ 2.000	\$ 100.000
	Barra	2	\$ 73.000	\$ 146.000
	Paladraga	2	\$ 59.900	\$ 119.800
	Transporte	2	\$ 250.000	\$ 500.000
Mantenimientos (3 años)	Picota	3	\$ 80.900	\$ 242.700
	Azadón	3	\$ 69.900	\$ 209.700
	Machete	3	\$ 16.900	\$ 50.700
	Fertilizante (bulto)	18	\$ 108.000	\$ 1.944.000
	Mano de obra calificada	9	\$ 100.000	\$ 900.000
	Jornales	36	\$ 40.000	\$ 1.440.000
	Tijera podadora	3	\$ 28.900	\$ 86.700
	Rastrillado del suelo a 5 cm de profundidad	20	\$ 40.000	\$ 800.000
	Transporte	6	\$ 60.000	\$ 360.000
Monitoreo (5 años)	Mano de obra calificada	10	\$ 100.000	\$ 1.000.000
	Recolección de muestras	10	\$ 50.000	\$ 500.000
	Cálculo y análisis de datos	10	\$ 50.000	\$ 500.000
	Transporte	2	\$ 50.000	\$ 100.000
	Imprevistos	-	-	\$ 753.800
Total			\$ 15.829.800	

Tabla 6.

Presupuesto especificado para ejecutar los tratamientos en el escenario de Rastrojo.

Fases	Especificación	Unidad	Costo/Unidad	Costo total
Establecimiento de cerca	Alambre de púas N° 12.5 de 400 m (rollo)	1	\$ 269.900	\$ 269.900
	Estantillos	80	\$ 15.000	\$ 1.200.000
	Grapas (caja 1 kg)	2	\$ 10.900	\$ 21.800
	Jornales	10	\$ 35.000	\$ 350.000
	Barra	2	\$ 73.000	\$ 146.000
	Paladraga	2	\$ 59.900	\$ 119.800
	Transporte	3	\$ 60.000	\$ 180.000

Mantenimientos (3 años)	Picota	3	\$ 80.900	\$ 242.700
	Azadón	3	\$ 69.900	\$ 209.700
	Machete	3	\$ 16.900	\$ 50.700
	Fertilizante (bulto)	6	\$ 108.000	\$ 648.000
	Jornales	36	\$ 40.000	\$ 1.440.000
	Tijera podadora	3	\$ 28.900	\$ 86.700
	Rastrillado del suelo a 15 cm de profundidad	8	\$ 40.000	\$ 320.000
	Transporte	6	\$ 60.000	\$ 360.000
Monitoreo (5 años)	Mano de obra calificada	10	\$ 100.000	\$ 1.000.000
	Recolección de muestras	10	\$ 50.000	\$ 500.000
	Cálculo y análisis de datos	10	\$ 50.000	\$ 500.000
	Transporte	2	\$ 50.000	\$ 100.000
	Imprevistos			\$ 387.265
Total			\$ 8.132.565	

Tabla 7.

Presupuesto especificado para ejecutar los tratamientos en el escenario de Bosque.

Fases	Especificación	Unidad	Costo/Unidad	Costo total
Recuperación de la cerca	Alambre de púas N° 12.5 de 400 m (rollo)	2	\$ 269.900	\$ 539.800
	Estantillos	180	\$ 15.000	\$ 2.700.000
	Grapas (caja 1 kg)	2	\$ 10.900	\$ 21.800
	Jornales	13	\$ 35.000	\$ 455.000
	Barra	2	\$ 73.000	\$ 146.000
	Paladraga	2	\$ 59.900	\$ 119.800
	Transporte	6	\$ 60.000	\$ 360.000
	Mantenimientos (3 años)	Picota	3	\$ 80.900
Azadón		3	\$ 69.900	\$ 209.700
Machete		3	\$ 16.900	\$ 50.700
Fertilizante (bulto)		6	\$ 108.000	\$ 648.000
Jornales		36	\$ 40.000	\$ 1.440.000
Actividad de aclareo		6	\$ 100.000	\$ 600.000
Tijera podadora		3	\$ 28.900	\$ 86.700

	Rastrillado del suelo a 5 cm de profundidad	5	\$ 40.000	\$ 200.000
	Transporte	6	\$ 60.000	\$ 360.000
Monitoreo (5 años)	Mano de obra calificada	10	\$ 100.000	\$ 1.000.000
	Recolección de muestras	10	\$ 50.000	\$ 500.000
	Cálculo y análisis de datos	10	\$ 50.000	\$ 500.000
	Transporte	2	\$ 50.000	\$ 100.000
	Imprevistos			\$ 514.010
Total				\$ 10.794.210

Según lo especificado por Botero & Russo (1998) se recomienda que mientras los árboles alcanzan una altura que los ampare de los ataques de rumiantes, este material vegetal se debe recolectar de manera manual y ser ofrecido a los bovinos fuera del área silvopastoril, esto con el fin de asegurar la supervivencia de las especies usadas para banco de alimentos y la regeneración de la vegetación que se encuentra en la región.

Los árboles protegen el suelo de la erosión hídrica que conlleva a lixiviación de nutrientes, además administran al suelo minerales y materia orgánica y por ende influyen al mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del suelo, lo cual mejoran su productividad.

La gran mayoría de los agricultores y ganaderos de América tropical están acostumbrados a trabajar en áreas despejadas y limpias, lo cual implica un paisaje sin árboles en lotes para cultivos y pasturas.

Según lo definido por Yoccoz, Nichols, & Boulinier (2001) el monitoreo en las restauraciones ecológicas se realiza con el fin de revisar y evaluar en qué medida se están cumpliendo los objetivos y metas establecidas que fueron definidas al comienzo del plan de restauración. Es por

esto que surge la necesidad de definir las variables e indicadores que se medirán con el fin de monitorear el éxito de la restauración de este bosque ripario altoandino.

Tabla 8.

Seguimiento de indicadores y monitoreo de la plantación establecida.

Criterio	Indicador	Cuantificadores
Estructura de la vegetación	Capa vegetal	Porcentaje de suelo en cobertura de pasto, rastrojo y bosque
Diversidad	Diversidad de fauna y flora	Índice de diversidad de Simpson
Restauración	Mortalidad de individuos	Porcentaje de mortalidad en la plantación
Suelo	Propiedades físicas y químicas	Valores de granulometría, pH, carbono orgánico, porcentaje de saturación de acidez intercambiable
Recurso hídrico	Disponibilidad del recurso	Caudal y número de personas que reciben agua potable
	Calidad del recurso	Laboratorio químico de hidrología

6 Discusión

La restauración se puede definir como una estrategia práctica de manejo que restablece los procesos ecológicos manteniendo la estructura, composición y función del ecosistema mediante el desarrollo de estrategias participativas para crear conciencia entre la población e incluirlos en la realización de dichas actividades. Entre las practicas que se quieren llevar a cabo se tienen la eliminación de especies invasoras, el deshierbe, rozas de matorrales, podas y la reposición del material plantado que haya muerto o esté en mal estado (MinAmbiente, 2015).

Como es mencionado por Vargas et al., (2012) el mayor disturbio antrópico que se presenta en los ecosistemas ribereños y que conlleva a la degradación del afluente hídrico está dado por la deforestación, estas áreas boscosas y de protección se ven fuertemente amenazadas para cumplir

la demanda alimenticia que requiere la explotación ganadera. Es por esto, que se hace necesario establecer y mantener la franja amortiguadora para disminuir daños físicos, químicos y biológicos de este recurso hídrico.

Muchos proyectos de restablecimiento de coberturas vegetales (Acosta, 2016; MinAmbiente, 2014; MinAmbiente, 2015; Vargas et al., 2012) implementan sistemas silvopastoriles y agroforestales para la recuperación de las funciones del bosque, proceso conocido como rehabilitación del bosque que integra especies vegetales enfocadas hacia la producción con lo cual, además de servir como sistema productivo y fuente de ingresos económicos, preserva el componente boscoso que se ve asociado con plantas forrajeras con lo que se protege y conserva el medio ambiente con énfasis en los bienes y servicios que provienen del bosque.

En muchas ocasiones, las coberturas que reciben atención por parte de organismos gubernamentales se encuentran protegiendo servicios ecosistémicos hídricos, por ejemplo, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, tiene proyectos donde la motivación principal ha sido la de recuperar fuentes hídricas y reducir la fragmentación de los bosques buscando la manera de revertir el impacto ocasionado por la agricultura y ganadería extensiva. El área de estudio está concentrada principalmente en la región andina entre los 2400 y los 3600 m de elevación (MinAmbiente, 2014).

El banco de semillas se encuentra determinado por la influencia de factores externos e internos propios a las semillas a partir de lo cual se determina en bosques maduros o en estado de sucesión avanzada, la presencia de pequeños reservorios (en densidad y composición) debido a la tolerancia de las mismas semillas a la sombra (pioneras tardías) ingresando de esta manera una pequeña

proporción con el fin de producir un banco de semillas transitorio (Bedoya et al., 2010; Garwood, 1989).

En la microcuenca O'tane, se encuentran varios escenarios diferenciables a lo largo de su cauce principal. Por esta razón, en este trabajo se propone realizar actividades y procesos diferenciales en cada uno de estos escenarios, de esta forma en los relictos de bosque ribereño, se busca la rehabilitación de las funciones del componente arbóreo, mediante la aplicación de técnicas silviculturales como la apertura de dosel, para favorecer la sucesión ecológica mediante aclareos realizados para obtener mayor cantidad de luz/día en el sotobosque y de esta manera potenciar la germinación y desarrollo óptimo del banco de semillas almacenado en diversos horizontes del suelo.

En las zonas ribereñas cuya cobertura es de pastos, se propone el establecimiento de sistemas agroforestales que incorporen diversidad al bosque paulatinamente, dada su cercanía. Además, se requiere disminuir la presencia de gramíneas e implementar los tratamientos ya mencionados como la translocación del suelo y establecimiento de individuos arbóreos de importancia para el bosque (Bedoya et al., 2010).

7 Conclusiones

Para la selección del área de mayor importancia se pudo concluir que las partes media y baja de la quebrada Sonadora se encuentran susceptibles a la continua degradación, cambio en el estado del ecosistema, además alteraciones en componentes como estructura y composición vegetal para lo cual, entre las variables estudiadas se determinó que esta franja se encuentra en estado vulnerable, por ende, es necesaria su conservación y protección para no alterar de manera crítica

el ecosistema, conjuntamente este hábitat es considerado como un ecosistema clave que se encarga de proveer servicios de regulación hídrica a gran parte de la población asentada en la región, entre otros.

También se debe mencionar que la parte alta de la cuenca más exactamente toda el área de bosque no presenta regeneración de algunas especies de importancia para la identidad del mismo ecosistema como son las especies de *Escallonia pendula*, *Acacia melanoxylon*, *Ficus soatensis*, entre otras. Se debe recalcar la gran importancia de preservar estas especies ya que son parte esencial de este ecosistema y en efecto al no presentar sucesión ecológica esto conlleva a la degradación paulatina del mismo.

Para la obtención de los limitantes y tensionantes se procedió a realizar un seguimiento continuo de la área de influencia directa, al ser ésta la franja de protección del afluente hídrico, para lo cual, se encontraron diversas actividades que conllevan al mal estado y deterioro de la microcuenca, de esta forma, se tuvieron en cuenta las actividades que ocasionan el cambio en el ecosistema causadas por la mano del hombre como son la deforestación y conversión de espacios naturales que conducen a la ampliación de la frontera agrícola y por ende a la disminución de los espacios boscosos que contribuyen a la conservación del medio ambiente y recursos naturales.

Para solucionar parte de este problema, se propone el aislamiento con cercas delimitando el área de protección definida en el Artículo 2.2.1.1.1.18.2 del Decreto 1076 de 2015, para de esta manera proteger la sucesión ecológica e inducida.

Los resultados obtenidos que se relacionan al acercamiento con la población tienen como éxito la creación de conciencia ambiental que, a su vez, vincula temas como la importancia en la conservación de los corredores biológicos riparios, además de estrategias para la conservación,

protección y restauración de las áreas boscosas. En efecto, se obtuvo información histórica relacionada con la quebrada, los procesos y cambios que ésta ha sufrido con el pasar del tiempo, para lo cual, se encuestó a la población de interés y a los actores claves para de esta manera generar ideas de conservación y protección del medio ambiente.

Para la medición del potencial de regeneración y la determinación de posibles deficiencias de nutrientes en el suelo, se realizó el laboratorio químico para de esta manera descartar cualquier deficiencia o daño en el mismo, el cual se pueda reflejar con afectaciones a corto y mediano plazo en la calidad y cantidad de los individuos de regeneración. Este estudio eliminó la posibilidad de existencia en las falencias o alteraciones para los nutrientes y demás componentes que se encuentran en el suelo que posiblemente puedan influir en la disminución de sucesión ecológica por este factor abiótico. Por otra parte, determinar la ubicación del banco de semillas entre los estratos estudiados del suelo para cada una de las coberturas que se encontraron para efecto del estudio y de esta manera poder aplicar los tratamientos adecuados para potenciar la germinación y desarrollo de las especies presentes dentro de los diferentes horizontes del suelo.

8 Recomendaciones

Entre las propuestas que se pueden manejar se debería tramitar el permiso para realizar el aclareo en el dosel superior del bosque para en efecto aumentar el éxito de la propagación de sucesión ecológica y así asegurar la permanencia de las especies presentes dentro del bosque.

Por otra parte, se deben hacer manejos para sustraer el banco de semillas persistente encontrado en diferentes horizontes del suelo, para de esta manera potenciar la regeneración y su óptimo

desarrollo. Además, se proponen más acercamientos a la comunidad con el fin de proteger la fuente hídrica y así poderlos incluir e incentivar a la reforestación de áreas boscosas.

El objetivo fundamental de las recomendaciones mencionadas se centra en los usos que se dan a los suelos para que éste sea el que se encuentra determinado para dichas aptitudes, en caso contrario que su uso sea ejercido por medio de acciones para prevenir y corregir la erosión además de amortiguar los efectos ocasionados por la degradación en dichos terrenos y de esta manera mitigar las afectaciones ocasionadas por la degradación del ecosistema.

Adicional a esto, se propone brindar un estímulo a los propietarios de predios para la introducción de la agroforestería en sus terrenos por medio de la implementación de los PSA como incentivos económicos para de esta manera hacer más efectiva la restauración y conservación del medio ayudando de esta manera a superar las barreras de la inversión y el tardío rendimiento sobre las inversiones en el periodo posterior a la siembra que es el periodo en donde los árboles producen pocos ingresos, pero requieren recursos para su cuidado.

Referencias bibliográficas

- Acero, L. (1996). Guía para el cultivo y aprovechamiento del chachafruto o balu, *Erythrina edulis* Triana ex Micheli. . Bogota D.C.: Convenio Andrés Bello.
- Acosta, H. (2016). Plan de restauración ecológica para los predios de El Tablón y Santa Barbara. Bogotá.
- Adarme, J., Córdoba, F., Ordoñez, C., & Yela, A. (2015). La reforestación de la microcuenca calandayma, vereda la esmeralda, una estrategia pedagógica con los estudiantes de cuarto grado de la institución educativa Fátima. El tablón de Gómez, Nariño.
- Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. La Habana, Cuba: Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 45, núm. 2.
- Arévalo, V. (2012). Sucesión y restauración ecológica en las partes altas de cuencas y la provisión de agua. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 21, 35-39.
- Arias, S., & Bohr, S. (2018). Modelo de reforestación para proyectos de extracción maderera en Zonas Altoandinas. Quiquijana-Cusco.
- Aronson, J., Floret, E., Floc, C., & Ovalle, R. (1993). Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystems in Arid and Semi-Arid Lands. Restoration Ecology.
- Bedoya, J., Estévez, J., & Castaño, G. (2010). Banco de semillas del suelo y su papel en la recuperación de los bosques tropicales. Manizales: Boletín Científico, Centro de museos. Museo de historia natural.

- Bohórquez, D. (2013). Determinación del potencial de restauración ecológica en el parque nacional Enrique Olaya Herrera, II Etapa. Bogotá, Colombia: Colombia Forestal.
- Bohórquez, D. & Osorno, V. (2014). Aproximación teórica sobre el uso de la herramienta para el pago por servicios ecosistémicos (PSE) del recurso agua en cuencas hidrográficas con el bosque nativo. Bogotá: Journal of Technology.
- Bosques Andinos. (2020). Bosques andinos y cambios climáticos. Obtenido de <http://www.bosquesandinos.org/>
- Botero, R. (1998). Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. FAO.
- Burgos, C. & Useche, A. (2019). Diseño e implementación de un proceso de rehabilitación en zonas. Villavicencio: Universidad Santo Tomás.
- Cárdenas, C. Posada, C. & Vargas, O. (2002). Banco de semillas germinable de una comunidad vegetal de páramo húmedo sometida a quema y pastoreo (Parque Nacional Natural Chingaza, Colombia). *Ecotrópicos*, 15(1), 51-60.
- CAS. (07 de Abril de 2020). Corporación Autónoma de Santander. Obtenido de <http://cas.gov.co/index.php>
- Chavarría, A. (2013). Guía técnica SAF para la implementación de SAF con árboles forestales maderables. Costa Rica: EuroDigital Comunicación.
- Cisneros, R. (2013). Evaluación de la regeneración de especies forestales en claros naturales en el fundo "el bosque". Tambopata.

- Corbin, J. & Holl, K. (2012). Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management*.
- Corpoboyacá. (2016). Recomendaciones básicas para la selección, establecimiento, manejo y seguimiento de reforestaciones, revegetalizaciones y plantaciones forestales. Tunja.
- DANE. (2015). Censo general. Nivel nacional.
- Darré, C. (2012). Líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en Montevideo-Uruguay. Universidad de la República de Uruguay.
- De Groot, R. Wilson, M. & Boumans, R. (2002). A typology for the classification, descriptions and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*.
- FAO. (2007). La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. Roma.
- FAO. (2017). Agroforestería para la restauración del paisaje. Roma: Charlie company. Trocaire.
- García, F. & Rico, G. (1996). Dispersión, viabilidad, germinación y banco de semillas de *Bdallophyton bambusarum* (Ratllsiaceae) en la costa de Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 87-94.
- García, M. (2015). Plan Nacional de restauración. Bogotá D.C.
- Garwood, N. (1989). *Tropical soil seed ba*. San Diego, California: Academic Press INC.
- González, N. (2017). Hacia la gobernanza del agua: Implicaciones de la gestión integral del recurso hídrico en el departamento de Antioquia. . Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

IDEAM. (19 de 04 de 2021). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>

IGAC. (2017). Recomendaciones para la toma de muestras para análisis de laboratorio nacional de suelos.

Magurran, A. (1988). Ecological diversity and its measurement. . New Jersey: Princeton University Press.

Martinez, M. & Garcia, X. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. México: Boletín de la sociedad botánica de México.

Martínez, P. & Roca, D. (2011). El control del clima de los invernaderos de plástico. Un enfoque actualizado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Minambiente. (2012). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/microcuenca>

MinAmbiente. (2014). Plan nacional de restauracion. restauracion ecologica, rehabilitacion y recuperacion de areas disturbadas. Manizales.

MinAmbiente. (2015). Plan nacional de restauración. Restauracion ecológica, rehabilitacion y recuperacion de areas disturbadas. Bogotá.

Muñoz, D. Morales, A. & Gonzalez, A. (2017). Germinable seed bank in the terrestrial environment of two urban wetlands. Colombia Forestal.

- Muñoz, F. (2018). Dinámicas de transformación y susceptibilidad a la degradación por cambio de uso del suelo en una eco-región alto andina. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.
- Murcia, C. & Guariguata, M. (2014). La restauración ecológica en Colombia. Tendencias, necesidades y oportunidades. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria* N.º 19.
- Novoa, J. (2016). Impactos del cambio climático en los cultivos de papa del departamento de Boyacá-Colombia, análisis de causas y soluciones para la región. *Colombia forestal*, Vol. 19 Núm. 2.
- Padilla, P. (2016). Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad contribución al manejo integral de cuencas hidrográficas en el valle geográfico alto del río Cauca. *Cenicaña*, 6-8.
- Placencio, J. (2018). Determinación de la velocidad del flujo en el río Yanuncay, por el método de flotadores. Cuenca, Ecuador: (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Quintero, E., Benavides, A., Moreno, N., & González-Caro, S. (2017). Bosques Andinos, estado actual y retos para su conservación en Antioquia. Medellín, Colombia: COSUDE.
- Reynolds, K., & Hessburg, P. (2005). Decision support for integrated landscape evaluation and restoration planning. *Forest ecology and management*.
- Ríos, O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. Bogotá: *Acta biológica colombiana*, 16(2), 221-246.

- Rosales, D. (2019). Diseño de un sistema de gestión ambiental para la universidad de Investigación y Desarrollo–UDI. CERAFIA.
- Sánchez, M. (2007). Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en Latinoamérica tropical. Roma: Dirección de producción y sanidad animal, FAO.
- Santos, P. (2018). DataScience for biology. An Space for R.
- Sierra, J. (2019). Influencia de las características morfométricas en la erosión de la cuenca del río Tamulasco y su efecto en el aporte de sedimentos al embalse Cerrón grande, el Salvador. Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Sotomayor, A. García, E. Gonzalez, M. Lucero, A. & Vargas, V. (2008). Modelos agroforestales, sistema productivo integrado para una agricultura sustentable. Concepción, Chile: Instituto Forestal.
- Stanturf, J. Palik, B. & Dumroese, R. (2014). Contemporary forest restoration: a review emphasizing function. *Forest Ecology and Management*.
- Thompson, K. & Grime, J. (1979). Seasonal Variation in the Seed Banks of Herbaceous Species in Ten Contrasting Habitats. Vol. 67, No. 3. *Journal of Ecology*.
- Vargas, O. (2007). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Vargas, O. (2008). Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino : el caso de la Reserva Forestal Municipal de Cogua, Cundinamarca. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología.

- Vargas, O. Díaz, J. Reyes, S. & Gómez, P. (2012). Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Velazco, P. & Vargas, O. (2008). Problemática de los bosques altoandinos. Universidad Nacional de Colombia.
- Velázquez, A. Flores, J. Lara, F. Morales, T. Rodríguez, A. Pérez, J. & Rangel, P. (2010). Efecto de la actividad turística en la diversidad y estructura del bosque de galería en el noreste de México. Ciencia UANL.
- Villavicencio, A. & Villablanca, A. (2011). Metodos de aforos de caudal (Parte I). Chile: Informativo INIA Ururi. .
- Yoccoz, G. Nichols, D. & Boulinier, T. (2001). Monitoring of biological diversity in space and time. Trends in ecology & evolution.

Apéndices

Apéndice A. Datos tomados para determinar el potencial de regeneración

Cobertura	Profundidad	Latifoliadas	Gramineas	Nº de plantas	Gramineas altura (cm)	Latifoliadas altura (cm)
B	I	7	9	16	5,61	4,67
B	I	6	10	16	5,42	4,17
B	I	6	10	16	4,73	6,91
B	II	4	0	4	0,00	3,53
B	II	4	0	4	0,00	3,60
B	II	2	0	2	0,00	9,65
B	III	1	1	2	3,50	35,20
B	III	2	3	5	3,50	5,40
B	III	2	0	2	0,00	32,10
R	I	3	1	4	5,10	7,77
R	I	2	2	4	3,50	5,80
R	I	2	0	2	0,00	6,35
R	II	1	3	4	3,43	5,60
R	II	4	1	5	4,50	4,83
R	II	4	2	6	3,40	4,15
R	III	9	4	13	5,28	8,18
R	III	6	3	9	4,83	3,58
R	III	12	3	15	5,17	5,23
P	I	10	3	13	4,18	2,89
P	I	10	8	18	5,11	3,75
P	I	7	5	12	3,08	5,28
P	II	5	2	7	5,30	3,20
P	II	6	3	9	2,60	2,60
P	II	5	2	7	0,00	2,14
P	III	1	2	3	3,50	5,60
P	III	1	2	3	5,10	1,20
P	III	2	1	3	0,00	2,10

Apéndice B. Afectación de las propiedades físicas del afluente hídrico.



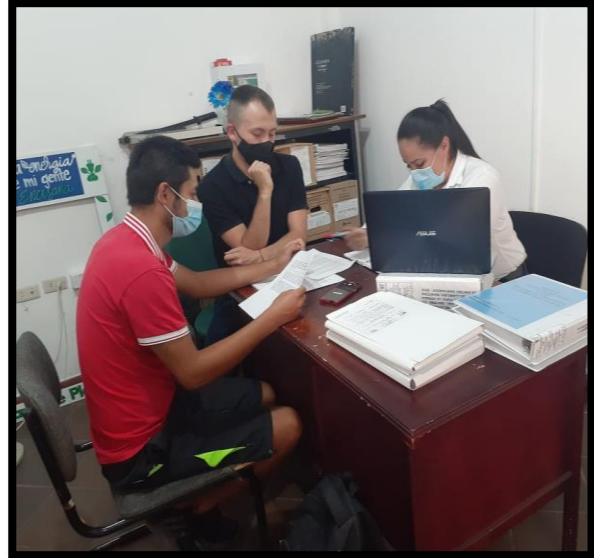
Apéndice C. Deforestación de vegetación ribereña por factores antrópicos.



Apéndice D. Aforo del caudal.



Apéndice E. Proceso de socialización del plan de restauración y rehabilitación y creación de conciencia ambiental.



Apéndice F. Influencia de bovinos en la franja de protección de la quebrada Sonadora



Apéndice G. Medición del área protectora haciendo uso de la cinta métrica



Apéndice H. Medición de variables dasométricas para determinar la composición estructural del bosque



Apéndice I. Ubicación de puntos tomados al azar para extracción de muestras de suelo y posterior análisis



Apéndice J.Fabricación de vivero transitorio



Apéndice K. Diseño experimental establecido en vivero transitorio



Apéndice L. Cespedón de suelo analizado perteneciente al escenario de pastos



Apéndice M. Recolección y preparación de las muestras de suelo específicas para el posterior análisis de laboratorio.



Apéndice N. Análisis de suelo para escenario de Pastos

Variable	Valores obtenidos				
Profundidad	0-20	cm			
Granulometria	48%	Arena			
	28,7%	Limo			
	23,3%	Arcilla			
Clase textural	F				
Ph	7,73				
Carbono orgánico (%)	-				
Carbono Total (%)	5,39				
Nitrogeno Total (%)	0,47				
Relación C/N	11:59				
Fosforo disp. mg/Kg	-				
	24,88				
Complejo de cambio cmol(+)/Kg	CIC	27,614	Alto		
	CICE	N.A.			
	Ca	40,120			
	Mg	1,380			
	K	0,340			
	Na	0,020			
	B.T.	41,860			
Relaciones catiónicas e interpretación	S.B (%)		SAT		
	Ca/Mg	29,072			
	Interpretación	Amplia con deficiencia en Mg			
	Mg/K	4,059			
	Interpretación	Amplia			
	Ca/K	118,000			
	Interpretación	Amplia con deficiencia en K			
(Ca+Mg)/K	122,059				
Interpretación	Amplia con deficiencia en K				

Apéndice O. Análisis de suelo para escenario de Rastrojos

Variable	Valores obtenidos	
Profundidad	0-20	cm
Granulometria	40%	Arena
	45,1%	Limo
	14,9%	Arcilla
Clase textural	F	
Ph	7,21	
Carbono	3,3342	
orgánico (%)	-	
Carbono Total	4,53	
(%)	-	
Nitrogeno Total	0,39	
(%)	-	
Relación C/N	11:59	
Fosforo disp.	-	
mg/Kg	17,16	

Complejo de cambio cmol(+)/Kg	CIC	25,483	Alto
	CICE	25,370	
	Ca	24,160	
	Mg	0,990	
	K	0,210	
	Na	0,010	
	B.T.	25,370	
S.B (%)		99,56	Alto
Relaciones catiónicas e interpretación	Ca/Mg	24,404	
	Interpretación	Amplia con deficiencia en Mg	
	Mg/K	4,714	
	Interpretación	Amplia	
	Ca/K	115,048	
	Interpretación	Amplia con deficiencia en K	
(Ca+Mg)/K	119,762		
Interpretación	Amplia con deficiencia en K		

Apéndice P. Análisis de suelo para escenario de Bosque

Variable	Valores obtenidos				
Profundidad	0-20	cm			
Granulometria	52,3%	Arena			
	28,6%	Limo			
	19,1%	Arcilla			
Clase textural	F A*				
Ph	6,46				
Carbono orgánico (%)	4,1345				
Carbono Total (%)	-				
Carbono Total (%)	5,62				
Nitrogeno Total (%)	0,48				
Relación C/N	-				
Relación C/N	11:59				
Fosforo disp. mg/Kg	-				
Fosforo disp. mg/Kg	13,19				

Complejo de cambio cmol(+)/Kg	CIC	26,804	Alto
	CICE	25,230	
	Ca	23,430	
	Mg	1,530	
	K	0,260	
	Na	0,010	
	B.T.	25,230	
S.B (%)		94,13	Alto
Relaciones catiónicas e interpretación	Ca/Mg	15,314	
	Interpretación	Amplia con deficiencia en Mg	
	Mg/K	5,885	
	Interpretación	Amplia	
	Ca/K	90,115	
	Interpretación	Amplia con deficiencia en K	
(Ca+Mg)/K	96,000		
Interpretación	Amplia con deficiencia en K		

Apéndice Q. Aplicación de encuestas a la población asentada en la región



Apéndice R. Deforestación a orillas del afluente hídrico



Apéndice S. Afectación del medio ambiente por causas y desastres naturales en el ecosistema de referencia

