



**PRINCIPALES AFECTACIONES DE UNA PLANTACIÓN DE PINO PÁTULA A LA
PRODUCCIÓN HÍDRICA DE LA QUEBRADA BOYACOGUA DEL MUNICIPIO DE
DUITAMA**

MAURICIO ESLAVA MOJICA

**Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2018**

**PRINCIPALES AFECTACIONES DE UNA PLANTACIÓN DE PINO PÁTULA
A LA PRODUCCIÓN HÍDRICA SOSTENIBLE DE LA QUEBRADA
BOYACOGUA DEL MUNICIPIO DE DUITAMA**

MAURICIO ESLAVA MOJICA

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

Directora:

MSc Gloria Clemencia Amaya C.

Director de la Línea de Investigación:
Esp. Ph.D. Jhon Fredy Betancur P.

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia

2018

(Dedicatoria o lema)

A la memoria de mi madre quien con su ejemplo de vida y sacrificio me dio a conocer la importancia del estudio y la preparación, como requisitos indispensables para alcanzar el respeto y la dignidad como persona.

A mi hijo Diego, porque gracias a él, cada día me esfuerzo por ser una mejor persona.

A Margarita, mi esposa, por haber traído a este mundo a un hijo como Diego.

Agradecimientos

A mi esposa por su comprensión, paciencia y solidaridad permanente durante el desarrollo de todo el proyecto.

A mi gran amigo Néstor, quien siempre estuvo dispuesto a colaborar aportando no solo su sapiencia y conocimientos lingüísticos, sino que además aportó importantes recursos económicos en los momentos más oportunos.

A mis hermanas Vilma, Amira, Gloria y Ahireth. Por el apoyo moral y la confianza en este proyecto.

Al ingeniero Oscar Soler, por sus aportes profesionales y por la idea de ponerme a hablar de un tema apasionante como lo es, el suministro de agua para la ciudad de Duitama y el cuidado de sus fuentes abastecedoras.

A la doctora Gloria clemencia Amaya, quien como directora del proyecto, todo el tiempo ha hecho un acompañamiento asertivo, aportando lo mejor para lograr llevarlo a feliz término.

Resumen

El cambio de cobertura vegetal propia de páramo, por plantaciones forestales de especies foráneas, puede tener efectos sobre la magnitud de caudales y el comportamiento hídrico de quebradas. Este es el caso de la parte alta de la microcuenca Boyacogua en el municipio de Duitama, Colombia, en dónde se encuentra establecida una plantación de 33 hectáreas de pino pátula (*Pinus patula*). Con el propósito de identificar cuáles son las principales afectaciones, esta investigación se centró en la percepción de los habitantes de la zona en relación con el comportamiento hídrico, para lo cual se realizaron visitas de campo, encuestas y entrevistas. Habitantes del área de estudio dentro de sus observaciones reconocen y encuentran una coincidencia entre la disminución del caudal de la quebrada con el tiempo en el que se han presentando grandes cambios de cobertura vegetal de las zonas altas de la microcuenca. Se plantea como alternativa de recuperación, la revegetalización de la ronda de la quebrada con especies protectoras y se recomienda la sustitución del bosque de pino por especies arbustivas nativas del ecosistema de páramo.

Palabras clave: Microcuenca, Caudal, Revegetalización, Plantaciones de pino, Páramo, Sostenibilidad

Abstract

The change of vegetation cover of the páramo, by forest plantations of foreign species, can have effects on the magnitude of flows and the water behavior of streams. This is the case of the upper part of the Boyacogua micro-watershed in the municipality of Duitama, Colombia, where a 33-hectare plantation of patula pine (*Pinus patula*) is established. In order to identify which are the

main effects, this research focused on the perception of the inhabitants of the area in relation to water behavior, for which field visits, surveys and interviews were conducted. Inhabitants of the study area within their observations recognize and find a coincidence between the decrease in the flow of the stream with the time in which there have been major changes in plant cover of the upper areas of the microbasin. It is proposed as an alternative of recovery, the revegetation of the round of the stream with protective species and it is recommended the replacement of the pine forest by native shrub species of the páramo ecosystem.

Keywords: micro basin, flow, Revegetalization, Sustainability

Tabla de contenido

Introducción	11
Capítulo 1.....	15
1.1 Problema de Investigación	15
1.2 Justificación.....	16
1.3 Pregunta de Investigación	18
1.4 Objetivos	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos	19
Capítulo 2.....	20
2.1 Marco Referencial	20
2.1.1 Marco histórico contextual:	20
2.1.2 Marco de antecedentes.....	30
2.1.3 Normativo y Legal.....	39
2.1.4 Marco teórico Conceptual	41
Capítulo 3.....	48
3.1 Metodología	48
3.1.1 Tipo de Investigación	49
3.1.2 Técnicas e instrumentos de recolección de Datos	50
3.1.3 Técnicas de Procedimiento.....	52
Capítulo 4.....	53
4.1 Resultados y Discusión	53
4.1.1 Manejo y Situación Actual de la plantación de pino patula en el área de estudio.....	53
4.1.2 La población habitante de la microcuenca Boyacogua y sus percepciones relacionadas con el deterioro de la cuenca en relación con el bosque de pino.	60
4.1.3 Otras Consideraciones:	67
4.1.4 Discusión	72
Conclusiones y Recomendaciones.....	77
5.1 Conclusiones	77

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Ubicación del Departamento	20
Figura 2: Ubicación del Municipio en el Departamento	21
Figura 3: Ubicación de la microcuenca en el Municipio de Duitama	21
Figura 4 : Triangulo clasificación de zonas de vida holdridge	24
Figura 5 : Panorámica Plantación de Pino	54
Figura 6 : Densidad de Siembra y Características de la Plantación	55
Figura 7 : Claros de la Plantación con Presencia de Especies de Vegetación Natural	56
Figura 8 : Manto de Acículas y Ausencia de Vegetación Natural	57
Figura 9 : Porcentaje de habitantes por vereda	61
Figura 10 : Porcentaje de habitantes por tiempo de permanencia en el área de influencia	61
Figura 11 : Porcentaje de habitantes que conocen la quebrada Boyacogua.....	62
Figura 12 : Porcentaje de habitantes que conocen la plantación de pino que se encuentra en la parte alta de la Quebrada.....	62
Figura 13 : Afectación de la plantación de pino al caudal de la Quebrada	63
Figura 14 : Afectación de otras actividades al caudal de la Quebrada.....	63
Figura 15 : Percepción de los habitantes en relación a la disminución del caudal de la Quebrada	64
Figura 16 : Programas de cuidado y conservación de la Quebrada	64
Figura 17 : Responsabilidad en el desarrollo de programas de cuidado y recuperación de la Quebrada	64
Figura 18 : Intención dela comunidad en participar en actividades de cuidado y recuperación de la Quebrada	64
Figura 19 : Sección transversal	68

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 : Caudales referidos a la quebrada Boyacogua	28
Tabla 2 : Áreas protegidas	30
Tabla 3 : Relación de predios con acceso al cauce de la Quebrada.....	59
Tabla 4 : Relación distancia - tiempo para cálculo de velocidad del agua	67
Tabla 5 : Caudales medidos en la Quebrada.....	69

Introducción

La presente investigación observa las posibles afectaciones que tiene la quebrada Boyacogua en relación con el manejo de suelos dado en la parte alta de la cuenca, desde las miradas de sus habitantes y teniendo en cuenta mediciones del caudal hídrico. El cambio de uso de suelo está relacionado directamente con el reemplazo de vegetación natural de páramo por una plantación forestal exótica de pino pátula que se encuentra sembrada en la parte alta de la quebrada Boyacogua del municipio de Duitama, plantación que cobra importancia si se tiene en cuenta que la quebrada Boyacogua es una de las tres fuentes abastecedoras de agua del Acueducto Municipal que suministra aproximadamente el 30 % del caudal total. También surte con sus aguas a una parte del sector agropecuario del Municipio, razón por la cual es importante su manejo y conservación como zona de recarga hídrica y, por supuesto, por las afectaciones a la misma por efecto del tipo de vegetación que se encuentra sembrada en su área de influencia.

Las plantaciones forestales exóticas son aquellas que provienen de un área de distribución natural, diferente a los límites del territorio nacional (DAMA, 2004). El establecimiento de especies exóticas según Vitousek (1990), es considerado como un agente de cambio y una de las principales amenazas para la conservación de la diversidad biológica a escala global, ya que sus

impactos -generalmente irreversibles- pueden ser tan perjudiciales para las especies y los ecosistemas nativos como la pérdida y la degradación del hábitat.

También encontramos que algunos de los efectos negativos de estas especies según Mack *et al.*, (2000), son la alteración de ciclos biogeoquímicos, la modificación de procesos de erosión y sedimentación, la alteración de la fertilidad de los suelos, la reducción o agotamiento de los niveles de agua, la alteración de los patrones de drenaje y la reducción del reclutamiento de especies nativas. El pino pátula, sembrado en la parte alta de la quebrada BOYACOGUA del Municipio de Duitama, se enmarca dentro de este tipo de plantaciones forestales exóticas, por lo que se hace necesario buscar alternativas de manejo y restauración en los bosques plantados con especies introducidas en los predios destinados a funcionar como zonas de recarga hídrica, en el Municipio de Duitama.

Teniendo en cuenta a Pricas (2015); Las 33,75 hectáreas de pino pátula corresponden a una plantación forestal protectora – productora, establecida por el INDERENA (Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente) en el año de 1978, dentro del Programa Integrado de Cuencas “PRIDECU”. Estos árboles tienen una distancia de siembra aproximada de 3 x 3,5 m; el diámetro promedio a la altura del pecho oscila entre 10 y 40 cm, siendo el promedio 25 cm, presentando alturas promedio de 15 metros.

Para analizar la problemática presentada es necesario conocer sus causas, una de las cuales tiene que ver con la ausencia de manejo de las plantaciones, lo cual se traduce, en términos generales, en características que afectan la estabilidad y el buen desarrollo de las mismas; entre ellas podemos destacar que al no haberse realizado raleos y entresacas en las plantaciones, la densidad de la plantación es muy alta. Las primeras intervenciones tendrían que haberse

realizado a los 15 años de plantados los pinos. La realización de raleos habría permitido la entrada de luz aumentando ligeramente la temperatura del suelo. El manto de acículas se habría descompuesto y la mineralización habría sido mucho más eficaz. Este fenómeno de descomposición se observa en los claros que se han formado accidentalmente en algunas zonas. Adicionalmente, la descomposición del manto de acículas permite el aumento ligero del pH de los suelos. El cierre de la masa y la homogeneidad de las plantaciones han asfixiado la regeneración natural, actuando como una barrera para la proliferación de especies vegetales y animales nativos.

La investigación en torno a esta plantación de pino tiene que ver con el interés de conocer si realmente esta plantación genera algún tipo de afectaciones al humedal en el cual nace la quebrada BOYACOGUA, y como estas afectaciones pueden influir en la disponibilidad de agua para la recarga hídrica de la quebrada. En el marco de la investigación se realizaron entrevistas a los habitantes de la zona, líderes comunales y dirigentes políticos y sociales de la ciudad, quienes, por su trayectoria y ejercicio social y profesional, son conocedores de la situación.

De igual manera, se diseñaron encuestas con preguntas cerradas, las cuales fueron aplicadas a los moradores de las veredas Santa Lucia, La Pradera y la Esperanza, las tres veredas por las cuales transita el cauce de la quebrada, con el propósito de poder tabular las respuestas y elaborar un consolidado porcentual de la percepción de los habitantes del área de influencia.

En relación con el trabajo técnico de campo se llevó a cabo la medición de caudales en tres diferentes puntos de la quebrada y en dos fechas distintas, con el propósito de poder hacer una

comparación entre los caudales medidos y los datos estadísticos disponibles, para, finalmente, establecer cuáles son las reales afectaciones de la plantación de pino en relación con el caudal de agua de la quebrada BOYACOGUA, como fuente abastecedora del Acueducto Municipal de la ciudad de Duitama.

Los resultados de esta investigación pueden servir como insumo para la toma de decisiones en el manejo de ecosistemas sensibles y áreas sembradas con vegetación protectora que busquen garantizar la permanencia en el tiempo y la sostenibilidad tanto del recurso hídrico como de ecosistemas vulnerables que requieran la intervención, manejo y conservación por parte de entidades del orden municipal regional o nacional.

Capítulo 1.

1.1 Problema de Investigación

Las causas de merma o extinción de las especies de fauna y flora silvestre están directamente asociadas a la disminución progresiva de los caudales de las fuentes superficiales, como es el caso de la quebrada Boyacogua en la ciudad de Duitama. Estas causas, además, inevitablemente están asociadas con la intervención directa o indirecta del hombre; las principales son:

- La degradación del hábitat tiene que ver con tener presente que uno de los principales requerimientos para la supervivencia de los organismos, se refiere a garantizar para ellos un lugar apropiado para desarrollarse y vivir. Estos ecosistemas naturales se alteran fácilmente cuando se implementan prácticas de explotación poco amigables que no consideran las características ecológicas particulares del área, y, que desafortunadamente tienden a desconocer cualquier criterio de conservación en lo que respecta a prácticas sociales, culturales y productivas generando inevitablemente el deterioro del ambiente natural intervenido.
- Las quemadas que son prácticas usadas en el campo, y que para el caso particular de esta investigación están relacionadas con la quema de basuras y de residuos de cosecha, ocasionan daños a la fauna y la flora natural del área que es afectada por las llamas, pero también, disminuyen la productividad de las tierras que se encuentran en el área de influencia. El páramo es un ecosistema especialmente sensible a este tipo de prácticas que conllevan a un

desechamiento progresivo y sostenido del suelo, que además, se presume conduce a un deterioro de la capacidad de recarga hídrica de las cuencas hidrográficas.

- El sobrepastoreo en concepto amplio para zona de estudio tiene que ver con la forma como el ganado ocupa y transita la ronda de la quebrada. aun cuando se trata de ganadería doméstica y no se tienen fincas con explotaciones de ganadería intensiva, se encuentra que los suelos más cercanos al cauce de la quebrada son suelos compactados en los cuales la retención de humedad es poca y se presentan procesos de escorrentía superficial.

Adicionalmente, no se tiene conocimiento de estudios realizados para esta zona, tendientes a establecer si efectivamente el caudal de la quebrada se ha venido afectando y de cuales sean las causas de la posible afectación. Razón por la cual cobra importancia el desarrollo de la presente investigación con miras a establecer las reales afectaciones de la plantación de pino que se encuentra en la parte alta de la quebrada al caudal de la quebrada.

1.2 Justificación

En la década del 70 siglo pasado, entidades ya desaparecidas como es el caso del antiguo INDERENA, llevaron a cabo las primeras labores en relación a la ordenación de cuencas hidrográficas con el propósito de promover un desarrollo integral de las mismas; sin embargo, al no obtener los resultados esperados, pues no se contó con mecanismos de coordinación apropiados para lograr canalizar aportes institucionales destinados a la protección de la cuencas

hidrográficas, en el año 1981 el Ministerio de Agricultura expide el Decreto 2857 en el cual se establecen los parámetros e instrumentos legales en lo que tienen que ver con el manejo de cuencas hidrográficas.

En la década de los años ochenta se toma la decisión de plantar en la parte alta de la quebrada BOYACOGUA, un bosque maderable con la especie pino pátula. Con el paso del tiempo y luego de haber transcurrido más de tres décadas desde el momento de la plantación, se presentan inconvenientes por el estado de abandono y la ausencia de actividades de mantenimiento al interior del bosque, lo cual ha generado como consecuencia, la invasión de los predios y el aprovechamiento del bosque por particulares y terceros ajenos a cualquier relación con la plantación de pino; adicionalmente el área donde se encuentra la plantación de pino es declarada área potencialmente hídrica dentro del P.O.T., con el uso del suelo para reserva forestal, conservación de flora y recursos conexos.

Así las cosas, es viable entonces la explotación del bosque de pino y su recuperación mediante la revegetalización con especies nativas; en la actualidad se dispone de un área forestal plantada de 33,25 Ha sin manejo de silvicultura pero aprovechable de la especie denominada pino pátula. Se genera, entonces, la necesidad y la responsabilidad de avanzar en su recuperación, con el fin de establecer estrategias y alternativas que permitan la restauración ecológica de la zona, conservándola como área de interés medioambiental y reserva hídrica para el Municipio.

En ese orden de ideas, el presente proyecto de investigación pretende estimar hasta dónde el bosque de pino pátula que se encuentra en la parte alta de la microcuenca BOYACOGUA de la ciudad de Duitama, donde nace la quebrada Boyacogua, puede llegar a afectar la regulación del

caudal de la quebrada y afectar negativamente la zona de recarga hídrica como fuente abastecedora del Acueducto Municipal.

Los datos y resultados obtenidos a lo largo de la investigación ayudarán a la toma de decisiones por parte de las autoridades municipales y regionales, así como también por parte de los particulares que habitan dentro del área de influencia del proyecto para futuras intervenciones de carácter técnico y ambiental. En tal sentido, el trabajo desarrollado podrá servir como base para programas de recuperación y restauración, técnicas de manejo, prácticas culturales o desarrollo de una política municipal que garantice la perduración de la microcuenca Boyacogua como fuente abastecedora de acueductos veredales y aportadora de caudal al Acueducto Municipal urbano de la ciudad de Duitama.

1.3 Pregunta de Investigación

¿De qué manera la plantación de pino pátula ubicada en la parte alta de la Microcuenca Boyacogua afecta la recarga hídrica y el caudal de la quebrada Boyacogua de la Ciudad de Duitama?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Estimar las posibles afectaciones al recurso hídrico de la quebrada que se derivan de la plantación de pino pátula en la parte alta de la microcuenca de la quebrada Boyacogua del municipio de Duitama, Departamento de Boyacá.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el manejo y situación actual de la plantación de pino en el área de estudio.
- Caracterizar la población e interpretar sus percepciones relacionadas con el deterioro de la cuenca en relación con el bosque de pino.
- Plantear una alternativa de manejo y control de este tipo de plantaciones y su recuperación como área de interés hídrico.

Capítulo 2

2.1 Marco Referencial

2.1.1 Marco histórico contextual:

Localización

La localización del Municipio de Duitama (Figura 1 y 2), como lo expresa Bernal (2018), se encuentra en el Departamento de Boyacá, pertenece a la región geográfica Andina y se ubica en el Altiplano Cundí-boyacense. Es capital de la provincia del Tundama y se encuentra sobre el corredor industrial de Boyacá. Su ubicación geográfica es 5 grados, 49 minutos y 42 segundos latitud Norte; 1 grado, 2 minutos y 48 segundos de longitud en relación con el meridiano de Bogotá; y 73 grados, 3 minutos de longitud Occidente de Greenwich. Con una altitud aproximada de 2.535 m.s.n.m. en la Plaza de los Libertadores.

Figura 1: Ubicación del departamento



Figura 2: Ubicación del municipio en el departamento



La provincia de Duitama limita por el Norte con el Departamento de Santander, Municipios de Charalá y Encino; por el Sur con los Municipios de Tibasosa y Paipa; por el Oriente con los Municipios de Santa Rosa de Viterbo y Belén y por el Occidente con el Municipio de Paipa (Figura 3). Según el Acuerdo 039 de 2009 (Plan de Ordenamiento Territorial), Duitama tiene una extensión total de 269.78 Km².

Figura 3: Ubicación de la microcuenca en el Municipio de Duitama



Historia

El origen de Duitama desde el punto de vista del Concejo Municipal (s.f) define que:

“Tundama es de origen Chibcha, vocablo que cambio por Duitama; corresponde a un caserío de aborígenes habitado por pobladores de origen Muisca, gobernado por el Cacique Tundama, señor absoluto y poderoso que tenía por jefes tributarios a los Caciques Onzaga, Soatá, Chitagoto, Susacón o Cabita, Icabuco, Lupachoque, Sátiva, Tutazá y Cerinza. Los naturales vivían en bohíos, buscando las alturas del llano de los Indios, Tigua, hoy cerros de La Milagrosa, Cargua, La Tolosa, San José (La Alacranera) y Tocogua. En la conquista se produjo una inmensa disminución de los pobladores por muerte en combates y por huida de otros, luego de haber sido sometidos a tratamientos humillantes. El abandono de las fértiles tierras por parte de los indígenas atrajo la ocupación inmediata de los conquistadores, quienes iniciaron un ordenamiento urbanístico acorde a las reglamentaciones expedidas por la corona española. Los primeros misioneros educadores que llegaron a Duitama fueron los de la orden de Santo Domingo (1.556); ellos consagraron el lugar como centro doctrinal”.

Área de Estudio

Duitama es uno de los municipios privilegiados en nuestro Departamento y el País, como se establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama, POT (2009)

por su posición geográfica estratégica como cabeza de la provincia del Tundama y parte fundamental del corredor industrial de las cuatro provincias de mayor desarrollo del

Departamento de Boyacá (Occidente, Centro, Tundama y Sugamuxi), así como por sus fortalezas de producción económica, tradiciones históricas, patrimonio cultural y natural que le han permitido proyectarse como un municipio con ventajas competitivas territoriales a nivel regional.

Caracterización de la Microcuenca

La quebrada Boyacogua nace en el costado Noroccidental del Municipio de Duitama, con dirección hacia la parte Norte del casco urbano, en la cuchilla de Laguna Seca en el Páramo de Pan de Azúcar, vereda San Antonio Sur, localizada a una altitud que va de 3.800 m.s.n.m. a los 2.600 m.s.n.m., con coordenadas $x=1.140.000$ a $1.145.000$ y $y= 1.114.000$ a $1.117.250$; ésta quebrada es alimentada por pequeñas vertientes que finalmente conducen sus aguas hasta el río Chiticuy, el que vierte sus aguas al Río Chicamocha después de 6,1 Km de recorrido.

De acuerdo con la clasificación de Holdridge (1971) (figura 4), en el sector medio y bajo de la Cuenca predomina la formación vegetal de Bosque seco montañoso, bajo (Bs-Mb), la cual aparece en las altiplanicies andinas o en cañones poco abrigados; caracteriza La Sabana de Bogotá, Tunja, Valle de Duitama y Sogamoso, laderas del Chicamocha y Valle de Pasto en el país. Esta formación tiene como límites climáticos una biotemperatura entre los 9 y 18 grados centígrados, aproximadamente; un promedio anual de lluvias de 500 a 1200 mm y pertenece a la provincia de humedad y subhumedad. En la parte alta de la cuenca aparece la formación de bosque húmedo montañoso (bn-m), llamado específicamente subpáramo por contrecasas.

Figura 4 : Triangulo clasificación de zonas de vida holdridge



La quebrada Boyacogua en su recorrido cruza veredas como la Vereda San Antonio Sur, La Pradera, San Antonio Norte, Sectores Santa Lucia, Campo Hermoso, La Esperanza y Mortiñal y en su trayecto se le dan varios usos: por zanjas o servidumbres es llevada el agua a las diferentes parcelas para el regadío y beneficio de animales. Además, es utilizada para el consumo de los habitantes de la región y para el acueducto de Duitama, beneficiando a 12.800 habitantes de la ciudad, ubicados en las veredas San Antonio Norte, La Pradera y los barrios Manzanares, Colombia, San Carlos, Once de Mayo, La Gruta, Libertador, Santander, Siratá, Vaticano, Salesiano y El Progreso.

La precipitación ponderada anual es de 1.109 milímetros, con una humedad relativa de 81.4% durante el año.

Los vientos dominantes proceden del Suroeste, con velocidades entre los 2.86 y 3.29 m/seg. Posee un índice de 5.06 horas sol- día y 1.820 horas sol año. Los valores de evaporación abarcan un rango desde los 80.63 milímetros, hasta 99.53 milímetros.

Las principales actividades económicas establecidas y conocidas en la zona de influencia de la microcuenca Boyacogua son de carácter primario como lo es la ganadería y la agricultura. Con base en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama, POT (2009), se definen las siguientes categorías:

Uso de Suelo: Uso que debería darse a los suelos con limitaciones para un uso específico, deben combinarse los cultivos agrícolas, forestales y pastoriles, con una correcta distribución.

- Cultivo Silvo Agrícola (AS) Combinan la agricultura y los bosques, útiles para zonas con erosión baja a moderada de pendientes levemente inclinadas a moderadamente escarpadas (0-58%), con suelos superficiales a moderadamente profundos y profundos, de textura areno arcillosa a compleja y franco arcillosa.
- Cultivo Agrosilvopastoriles (ASP) se combinan la agricultura, el bosque y el pastoreo; no se deja desprovisto el suelo de cobertura vegetal apto; suelos con erosión baja a moderada en pendientes levemente inclinadas a inclinadas (0 -36%), con suelos superficiales a profundos de textura arcillosa – rocosa.

- Sistema Silvo Pastoril (SP) combinaciones de pastoreo y bosques, suelos superficiales o profundos, con pendientes levemente inclinadas hasta moderadamente abruptas (0 - 58%) de textura arcillo rocosa Arcillosa y compleja.

Para suelos que no permitan usos agrícolas ni pecuarios.

- Bosques Protector Productor: (BPP) No requieren remoción frecuente del suelo, generan ingresos al agricultor, además, previenen la erosión y conservan el recurso hídrico. Apropriados para zonas con erosión moderada a severa en pendientes abruptas y escarpadas (17 – 84%) y son útiles para la recuperación de áreas erosionadas.
- Bosques Protectores (BP) No permiten remoción de suelos, adecuados para zonas con intensidad de erosión severa y muy severa o en suelos de pendientes altas.
- Protección Absoluta (PT). Para suelos que no permiten ningún tipo de intervención por su degradación y pendiente abrupta, deben conservarse como están; generalmente los suelos son superficiales con cualquier tipo de textura.

Recurso Hídrico

El Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama, POT (2009), plantea para el Municipio de Duitama un área eco sistémica de páramos conformados por el de Pan de Azúcar y La Rusia. Este ecosistema de páramo del sistema montañoso de los Andes da origen a una

excepcional estrella hidrológica, alimentando los ríos que bañan regiones correspondientes a los departamentos de Boyacá y Santander. Los cuales se relacionan de la siguiente manera:

Ríos y quebradas: Los principales ríos y quebradas del Municipio son: Río Chicamocha que sirve de límite municipal del costado Sur; Río Surba que sirve de límite del costado Occidental del Municipio junto con la quebrada La Zarza, Río Chiticuy, Río La Rusia, Río Chontal o Huertas y Río Chontales o Guacha. Algunas de las principales quebradas son: Q. La Zarza, Q. Boyacogua, Q. de Becerras, Q. Ranchería, Q. La Parroquia, Q. Los Zorros, Las Siras, Q. El Hato, Q. Los Tobales, Q. Honda las Flores, Q. El Chorro, Q. Frailejonal, Q. Las Minas, Q. Los Patos, Q. Las Animas, Q. La Esperanza, Q. Parrales, Q. Chorro Blanco, Q. Los Cacaos, La Osa, Q. Las Ceras, Q. Micaela, Q. Masorquillal, Q. Agua Clara, Q. Hoya Grande, Q. La Laja, Q. El Chochal, Q. Mastín, Q. Matachines, Q. Martínez, Q. Pocitos, Q. El Papayo.

Lagunas: Son las principales: Laguna de Pan de Azúcar, donde nace el Río Surba; Laguna de Cachalú o Santa Helena; Laguna de Agua Clara; Laguna de Colorado; Laguna de Peña Negra; Lago Mayajuru; Laguna Negra. Existen otras lagunillas o humedales a menor escala que hasta el momento no se tienen inventariadas.

Otras fuentes abastecedoras: De otra parte y ante la problemática actual por efecto del calentamiento global y su incidencia en los regímenes de lluvias los cuales han afectado notablemente el caudal de las corrientes superficiales de agua, se ha tenido que pensar en el abastecimiento del recurso hídrico por medio de pozos profundos; tal es el caso de

Empoduitama que abastece parte de la población urbana con los pozos profundos denominados El Mirto, El Bosque, La Esperanza, Rafael Reyes y San Felipe. Actualmente, únicamente está en funcionamiento el Rafael Reyes y se adelantan adecuaciones para rehabilitar el pozo del Mirto.

Rondas de Protección: Las rondas de protección en los ríos y quebradas pertenecientes al área de estudio están establecidas de la siguiente manera:

Río Chicamocha: 60 metros a lado y lado, a partir de la orilla

Río Surba y Chiticuy: 30 metros a lado y lado, a partir de la orilla.

Las demás corrientes hídricas tienen una ronda de protección de 15 metros a lado y lado

Caudales referidos para la microcuenca Boyacogua

Tabla 1 : *caudales referidos a la quebrada boyacogua*

Caudal Mayor a (L/S)	% DE TIEMPO EN QUE OCURRE
10	100
15	96
20	86
25	78
30	69
50	50
75	30
100	19

Fuente: Estudios y diseños del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado (2009).

De igual manera El Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama, POT (2009), referencia que La quebrada BOYACOGUA aporta para el abastecimiento del Acueducto Municipal urbano un caudal de agua de aproximadamente el treinta por ciento del total; se debe mencionar que la Quebrada Boyacogua suministra en las épocas de menor precipitación 15 litros por segundo y en las épocas más lluviosas 35 litros por segundo.

La captación se hace por bocatoma con rejillas laterales, bombeo a través de motobombas electrónicas. La Aducción tiene la característica de ser por tubería de diámetro 16” en asbesto o cemento; las fuentes de proceso pasan por el tanque desarenador, las subterráneas van al tratamiento. La conducción que suministra el agua hasta la planta de tratamiento esta en diámetro de 12”; las de los pozos y la del Río Chicamocha se lleva por líneas de impulsión o de bombeo por diámetro de 8,10 y 12 pulgadas. Las redes de distribución en un 70 % son en asbesto cemento y el 30% restante está construida en PVC. Las redes de distribución son de 8 y 10 pulgadas; la mayor parte de estas tienen diámetro menores a 4 pulgadas.

Áreas Protegidas

Conforme al Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama, POT (2009), el 50% del área del Municipio de Duitama es área de protección (área de páramo, área de amortiguación, zonas de recarga hídrica y nacimientos de agua).

Tabla 2 : Áreas protegidas

ZONAS DE PARAMO	9202.73 HÀS	53%
AREA INFILTRACION RECARGA ACUIFERA	823.59 HAS	5%
AREA DE BOSQUE PROTECTOR	638.28 HAS	4%

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial (2009)

2.1.2 Marco de antecedentes

El estudio Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba, los autores Jobbágy, Acosta, & Noretto (2013) exploraron cómo la transformación de pastizales en bosques sembrados de pino afectó el rendimiento hídrico de pequeñas cuencas de la Sierra de Córdoba en Argentina. Para tal fin, seleccionaron cuatro cuencas primarias ocupadas por pastizales y plantaciones de pino; el área de las cuencas oscilaba entre 27 a 143 ha y se encontraban en un rango de altitud comprendido entre los 1100 y los 1750 m.s.n.m. En todos estos pares de cuencas se determinó el caudal base de arroyos por dilución de un trazador salino con frecuencia estacional entre mayo de 2004 y enero de 2007, y en dos de

ellos realizaron un seguimiento continuo del caudal con sensores automáticos durante la transición entre la estación seca y húmeda de 2006-2007.

En la zona de estudio se establecieron parcelas de plantaciones de pinos, principalmente de *Pinus ellioti*. Las mismas fueron establecidas a finales de los años 70s y comienzos de los 80s, aproximadamente 25 años antes de la realización del estudio, con densidades de plantación elevadas (>1000 plantas/ha) y no han recibido tratamientos de poda o raleo, observándose raleo espontáneo únicamente. En promedio, el rendimiento hídrico de las cuencas plantadas con pino fue 48% inferior al de las cuencas que se encontraban con pastizales. La descarga hídrica de las plantaciones forestales fue menor a la de sus pastizales vecinos. De las 32 observaciones pareadas de caudal base transformadas en descarga diaria que se realizaron, 71.8% mostró valores más altos en las cuencas bajo pastizal respecto a los de aquellas ocupadas por plantaciones.

Efecto de plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la región del Biobío, Huber, Iroume, Mohr, & Frene (2010). En este trabajo los autores estudiaron el efecto de plantaciones forestales sobre el recurso hídrico en cuencas de la vertiente este de la Cordillera de la Costa de la región del Biobío, en el centro sur de Chile. Para tal fin, fueron determinadas para dos cuencas plantadas con pino radiata y dos con eucaliptos globulus; la oscilación temporal de los caudales, la fluctuación del contenido de agua edáfica, la evapotranspiración y el transporte de sedimentos, entre otros parámetros.

De los 2.149 mm de precipitación registrada, las plantaciones de *P. radiata* interceptaron el 16 y 17 %, y las de *E. globulus* un 10 y 11 %, respectivamente. El caudal de los efluentes para las dos

cuencas con *P. radiata* fue equivalente al 33 %, monto que superó a las con *E.globulus* que alcanzaron el 20 y 23 % de la precipitación. Durante el verano, los suelos presentaron una fuerte disminución de su contenido de agua, sobrepasando en los primeros 30 cm el punto de marchitez permanente. Las cuencas con *E. globulus* tuvieron una evapotranspiración equivalente al 76 y 70%, y las de *P. radiata* al 65 y 64%, respectivamente, de la precipitación. Los resultados obtenidos siguen una tendencia semejante a los de investigaciones en estudios con condiciones edafoclimáticas y plantaciones similares.

En el estudio **Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos** realizado por Crespo et al., (2014), Se realiza una compilación de resultados de diferentes investigaciones hechas en los páramos húmedos del sur del Ecuador. La metodología utilizada fue la de microcuencas paralelas con el fin de conocer los impactos del cambio del uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos. En el análisis comparativo de las microcuencas se evidencia cómo impactan los cultivos la capacidad de regulación de la cuenca, mostrando un incremento en los caudales pico, una reducción de los caudales base y en general, una disminución en la capacidad de amortiguamiento. De igual manera, se observa que las plantaciones de pino disminuyen la producción de agua afectando negativamente el rendimiento hídrico de la cuenca, posiblemente debido a la alta evapotranspiración.

El trabajo investigativo, además, concluye que el cambio de uso de la tierra, especialmente la forestación con plantaciones de pino y los cultivos, dan como resultado una fuerte disminución en la producción de agua y en la capacidad de regulación hídrica de las cuencas de páramo andino.

En lo que tiene que ver con microcuencas de orden nacional y, más concretamente, en el nivel regional del Departamento de Boyacá, son casi nulos los trabajos de investigación relacionados con el comportamiento hídrico en microcuencas forestadas con pino; sin embargo, Montes, & Hernández (2007) realizaron una propuesta metodológica que compara el efecto de diferentes coberturas vegetales con aplicación práctica en una microcuenca del Departamento de Antioquia que a continuación se describe.

La Propuesta metodológica para comparar el efecto de diferentes coberturas vegetales en la regulación de caudales en cuencas hidrográficas de Montes, & Hernández (2007), permite evaluar los efectos que tienen distintas coberturas vegetales sobre el rendimiento hídrico de cuencas hidrográficas de pequeña extensión; en tal sentido, el trabajo investigativo utiliza procedimientos estadísticos, los cuales requieren, para su aplicación, información hidrológica de fácil obtención. Como resultado de la investigación, específicamente para la aplicación en la microcuenca El Murciélago, en el Departamento de Antioquia, se encuentran diferencias significativas entre las coberturas de pino y la cobertura de bosque natural, de tal suerte que se concluye que efectivamente, la cobertura de bosque natural en lo que tiene que ver con el rendimiento hídrico de la microcuenca; esta cobertura presenta un mayor efecto de regulación del caudal.

En el artículo **Impact of Pine Plantations on Soils and Vegetation in the Ecuadorian High Andes**, Hofstede, Groenendijk, Coppus, Fehse, and Sevink (2001), los autores se dedican a hacer un estudio comparativo sobre el impacto de las plantaciones de pino sobre el suelo de los páramos en los andes ecuatorianos. Para tal fin se evaluaron cuarenta y siete plantaciones de

pinos existentes (*Pinus radiata* y *P. patula*) en los Andes ecuatorianos, en un rango altitudinal comprendido entre 3000 y 4000 m.s.n.m., Los sitios fueron seleccionados sobre la base del inventario de plantaciones forestales del servicio forestal ecuatoriano (INEFAN) y con asistencia en el campo del personal de INEFAN y otras organizaciones locales.

De acuerdo al análisis de las características del suelo, se identificaron diferentes grupos en los cuales no se presentó una diferencia considerable entre suelos bajo plantaciones de pinos y suelos con vegetación natural (praderas de páramo o bosque andino). Sin embargo, el contenido de Materia Orgánica MO y agua disponible fueron las características que determinaron la mayoría de las separaciones.

Para las variables de humedad, contenido de MO, agua disponible y estructura, los valores más altos están relacionados con el tipo de vegetación natural (praderas de páramo y, en menor extensión, bosque natural). Por el contrario, Las variables de pH y densidad aparente van en la dirección opuesta y por lo tanto, se encontró que los valores mas altos corresponden a plantaciones de pino.

Los resultados del estudio muestran que, en suelos altamente orgánicos, el establecimiento de plantaciones de pinos incluye un riesgo de disminuir la humedad del suelo, el contenido de MO y la diversidad de plantas. Por lo tanto, el mismo recomienda, evitar el establecimiento de plantaciones forestales de pino, hasta tanto no se tenga un mayor conocimiento sobre los efectos en el ecosistema de paramo, como un todo.

Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes por Farley, Kelly, & Hofstede (2004), publicado en la revista *Ecosystems*, los autores se plantean dos interrogantes relacionados con los cambios de cobertura del suelo de paramo a plantaciones forestales de pino; I) ¿varia el contenido de carbono del suelo?. II) ¿varia la retención de humedad del suelo?.

Como parte de la investigación se evaluaron las propiedades del suelo en función del tipo de vegetación – pinos y pastos-, en tal sentido se tuvo además en cuenta las diferentes edades de las plantaciones de pino dividiéndolas en cuatro grupos: pastizales (que representan la edad 0), pinos jóvenes (5-10 años), pino de edad intermedia (15-20 años), y pino viejo (20-25 años); se tomaron muestras de suelo y a través de pruebas de laboratorio se comparó el contenido total de carbono C, Fosforo P y Nitrogeno N.

Para el análisis de la capacidad de retención de agua de los suelos en saturación, se tomaron diferentes presiones 10 kPa, 33 kPa (capacidad de campo), y 1.500 kPa (punto de marchitamiento) se realizó mediante placas de presión en las muestras volumétricas no perturbadas del horizonte A.

Los resultados del estudio sugieren que, aunque la plantación forestal en pastizales de paramo pueden proporcionar algunos beneficios económicos, estos no constituyen una real compensación de los servicios claves del ecosistema, específicamente almacenamiento de C en el suelo y retención de agua: toda vez que muestran estos dos aspectos severamente disminuidos.

Es así como, la disminución en la humedad del suelo después de la forestación con pino se atribuye a menudo a una mayor interceptación del dosel y a la mayor evapotranspiración por parte de los árboles que de las praderas. Sin embargo, en Cotopaxi, la introducción de pino también tuvo una marcada influencia en la capacidad de retención de agua de los suelos, lo que refleja la alteración de las propiedades del suelo. En ese sentido, el estudio plantea la hipótesis de que; las raíces del pino pueden romper la estructura del suelo, y por lo tanto, el volumen de mesoporos y microporos se reduciría, contribuyendo a la pérdida de la capacidad de retención de agua.

El impacto de las actividades humanas sobre el páramo, Hofstede, este nos presenta como se degrada el páramo de acuerdo a ciertas prácticas culturales y diferentes usos de la tierra. A la vez que nos muestra cómo, conocer estas relaciones del hombre con los ecosistemas de páramo, puede ser la base para lograr que estos usos sean más sustentables y no afecten negativamente a las funciones hídricas y ecológicas del páramo.

En ese sentido, se presentan de manera clara y sencilla los principales efectos de actividades como: el impacto de la quema, el impacto de la ganadería en el páramo, el impacto de los cultivos, el impacto de la forestación y el impacto de otras actividades menores de cacería, recolección, extracción de suelo y turismo.

Teniendo en cuenta el interés superior de esta investigación, se toman en consideración los aspectos más relevantes en relación al impacto de las forestaciones. En tal sentido el autor pone de presente que “ Existe ya bastante evidencia de que en la zona altoandina hay varios efectos

nocivos de la forestación masiva, siendo uno de ellos que durante la implantación se retira parte de la vegetación existente y se disturba el suelo, pero aún más importantes son los efectos durante el crecimiento de la plantación, especialmente en especies como el pino (*Pinus spp.*), que consumen mucha agua, disminuyen el rendimiento hídrico y finalmente secan el suelo, razón por la cual hay mayor descomposición y posiblemente pérdida de fertilidad". (Pag. 16).

De igual manera el autor manifiesta la existencia de muchos estudios, que analizan el efecto de tratamientos silviculturales sobre la hidrología de cuencas aledañas con cobertura vegetal distinta, varios de los cuales confirman una fuerte disminución de los caudales en las cuencas donde fue sustituido el pajonal por plantaciones forestales de pino.

Concluye el autor manifestando que, aun cuando no se tiene absoluta claridad del impacto de las plantaciones forestales sobre los ecosistemas naturales, sí existen más indicaciones de deterioro que de recuperación de los mismos. Razón por la cual recomienda aplicar el principio de precaución, es decir, abstenerse de continuar realizando plantaciones forestales de pino en las zonas de paramo en detrimento de la vegetación natural, hasta tanto no se tenga certeza de las verdaderas implicaciones de la introducción de especies exóticas en un ecosistema tan importante y sensible.

Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos, Crespo, Céleri , Buytaert , Ochoa , Cárdenas , Iñiguez , Borja & Bièvre (2014), En este trabajo se presenta una compilación de los resultados obtenidos en diferentes investigaciones realizadas en los páramos húmedos del sur de Ecuador, en relación a los impactos generados en la hidrología por el cambio del uso del suelo.

Uno de los aspectos más representativos revela que el pastoreo extensivo no afecta significativamente la respuesta hidrológica de las cuencas hidrográficas teniendo en cuenta que la carga animal es baja. Por otro lado establece que, un aspecto relevante tiene que ver con el impacto de los cultivos que afectan la capacidad de regulación de la cuenca presentando incremento en los caudales pico, reducción en los caudales críticos o caudales base, y en términos generales una leve disminución de la capacidad de amortiguamiento. En lo que tiene que ver con plantaciones exóticas forestales, más exactamente plantaciones de pino, el estudio observa que estos disminuyen el rendimiento hídrico y la producción de agua como consecuencia de la alta evapotranspiración.

El análisis comparativo de la investigación muestra como, el caudal de salida de la cuenca con cobertura con cobertura natural es considerablemente mayor comparado con el caudal de salida de la cuenca que se encuentra sembrada con pino, aun cuando los valores de la precipitación promedio anual son muy similares. Lo cual se traduce en un rendimiento hídrico de aproximadamente el 48% para la cuenca de cobertura natural arbustiva y 28% para la cuenca sembrada con pino. Valores que sustentan los autores, como consecuencia del aumento en la evapotranspiración del bosque de pino sumado a las pérdidas por intercepción del dosel. Resultados que coinciden a los encontrados por Buytaert et al. (2007) en las mismas cuencas en un periodo de monitoreo menor.

En lo que tiene que ver con caudales medios y caudales críticos las curvas de duración de la microcuencas muestran como, se presenta una drástica reducción en la microcuenca plantada con

bosque de pino, producto de la mayor evapotranspiración de los pinos, que a su vez, ocasiona una disminución en la dinámica del contenido de humedad del suelo. Es decir, “de acuerdo con Crespo et al. (2010) los suelos permanecen más secos debido a que el bosque de pinos absorbe más agua disponible en la zona de raíces. Una conclusión similar se encuentra en Buytaert et al. (2007) donde se observa que la forestación con pino reduce la cantidad de materia orgánica en los suelos debido a una mayor y más rápida descomposición producida por la menor cantidad de agua presente”.

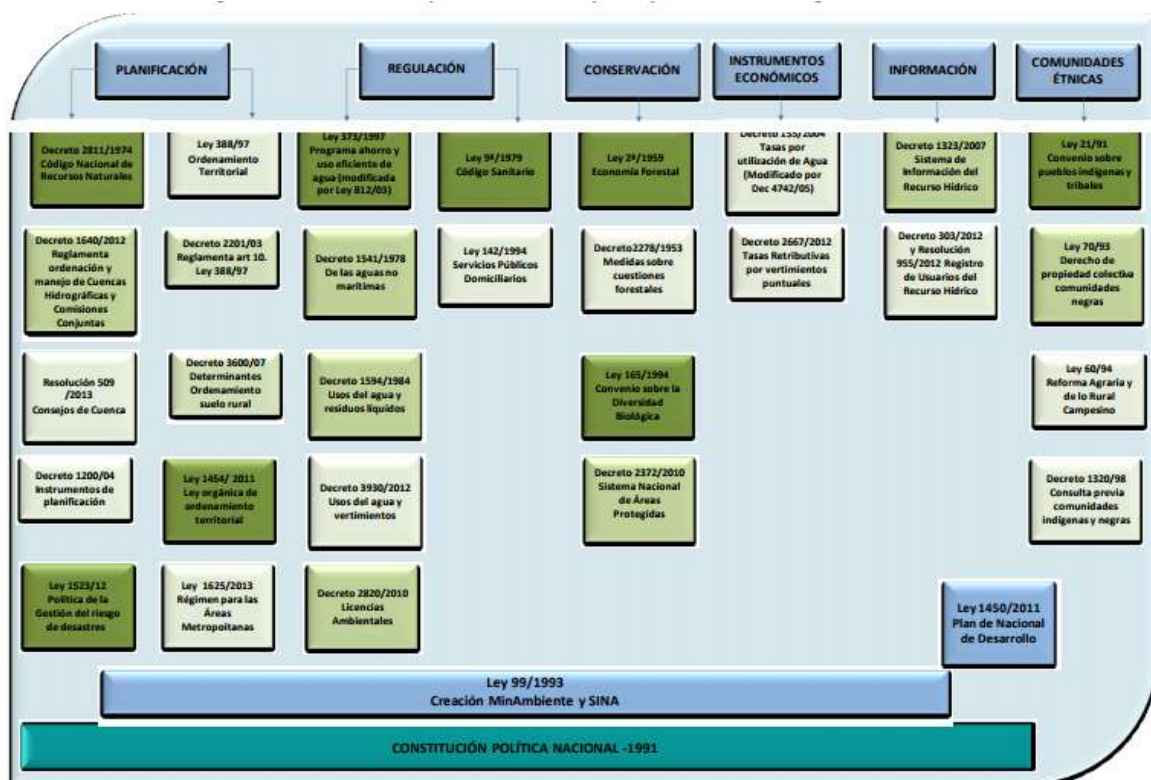
2.1.3 Normativo y Legal

En lo que tiene que ver con el marco legal referenciado al manejo, cuidado y conservación de los recursos naturales, se puede decir que desde siempre ha existido en Colombia suficiente normatividad al respecto. Sin embargo, es a partir de la constitución de 1991 cuando se empieza a prestar mayor atención a los recursos naturales y preponderantemente, al recurso hídrico; en tal sentido, se entrega a través de diferentes entidades responsabilidades para el cuidado y manejo de los mismos, pero, además, se les dan facultades y herramientas para poder efectivamente tener la potestad de judicializar las actividades que atenten contra la preservación de los recursos naturales.

Pero como todo no puede ser color rosa, desde otra perspectiva también encontramos leyes colombianas que, con la óptica de la comercialización y el libre mercado, afectan negativamente

la conservación y cuidado de los recursos naturales; específicamente, el recurso hídrico, toda vez que pretenden convertir derechos como lo es el de poder utilizar el agua, por supuesto, de una manera eficiente y racional, en un mero servicio que puede inclusive privatizarse y monopolizarse, entregando su manejo a operadores privados como lo permite la ley 142 de servicios públicos domiciliarios. En la tabla N°. *Marco normativo para la ordenación y manejo de cuencas hídricas en Colombia* se condensan algunas normas que tienen que ver con el manejo, cuidado y conservación de los recursos naturales.

Tabla 1 : *Marco normativo para la ordenación y manejo de cuencas hídricas en Colombia*



Fuente : *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2013*

2.1.4 Marco teórico Conceptual

Desde el punto de vista conceptual se hace necesario en el presente trabajo de e investigación, partir de conceptos generales que tienen todo que ver con el desarrollo del mismo, para ir transitando hacia conceptos más particulares que nos lleven al sitio específico donde se encuentra la plantación de pino, objeto de esta investigación. Es por esto, que se presenta primero una conceptualización a partir de la biosfera como zona de vida, para luego poder acercarnos a ecosistemas específicos como el páramo y su importancia como fuente generadora y abastecedora del recurso hídrico para finalmente, poder llegar a contextualizar el área de influencia propiamente dicha como es la parte alta de la quebrada Boyacogua

De esta forma, se conoce como BIOSFERA a la capa donde habitan los seres vivos, la cual se extiende desde las zonas profundas de los océanos hasta la cima de las altas montañas, abarcando un rango de aproximadamente 15 Km., el cual es relativamente pequeño si lo comparamos con la totalidad del planeta.

La BIOSFERA se divide en espacios menores que se denominan BIOSISTEMAS o ZONAS DE VIDA y que son comunidades de plantas y animales de fisonomía homogénea que se extienden sobre áreas geográficas grandes y que están condicionados por las características climáticas, principalmente por la altitud y la latitud; por lo tanto, existen variados Biosistemas del Ecuador hacia los polos, así como desde el mar hacia las partes altas de las montañas.

Desde una concepción holística y teniendo como ejes estructurales el agua y los ecosistemas, en especial, los páramos, podemos plantear que la problemática general del agua en los páramos se refiere a la generación de conocimiento ecológico sobre la importancia de estos como reservas de agua y reguladores del caudal de las corrientes superficiales que se desprenden de ellos como principales fuentes abastecedoras de agua para consumo humano y como reguladores de las funciones ecosistémicas.

Las comunidades deben reconsiderar la forma como se relacionan e interactúan con los ecosistemas de páramo, toda vez que éstos constituyen la fuente de agua, base de la existencia de diferentes formas de vida. Es así que, en el actual escenario global de cambios, dicha relación implica un desafío para la gestión, la sociedad, la educación, la política, la academia y la ciencia. Por esto es necesario generar conocimiento sobre la complejidad de los Biosistemas de páramo para integrar nuestro desarrollo en una perspectiva de sostenibilidad.

Desde el punto de vista funcional (vegetación) y biogeográfico, Cuatrecasas J., hace más de cuarenta años estableció que los páramos son extensas regiones desarboladas que coronan las sumidas de las cordilleras por encima del bosque andino, desde 3800 m.s.n.m (localmente 3200 m.s.n.m) y que pueden dividirse en los subpisos: subpáramo, páramo propiamente dicho y superpáramo.

En Colombia es complicado hacer una clasificación meramente altitudinal, teniendo en cuenta que la cordillera Central presenta una gran cantidad de volcanes y relieve abrupto de contrastes topográficos, en donde los páramos se inician aproximadamente entre los 3000 y 3400 m.s.n.m., mientras que la cordillera Oriental, considerada el centro de los páramos húmedos de los Andes, es de topografía ondulada, con presencia de páramos entre 3200 -3600 m.s.n.m. En la cordillera

Occidental las grandes áreas de páramo son en su mayoría escasas y pequeñas; sin embargo, se presentan algunos páramos representativos cuyos límites superiores alcanzan los 3960 y 4200 m.s.n.m.

Pombo et. al. (1989), consideró al páramo como una:

“unidad ecológica de gran importancia para la regulación de los flujos de agua, pues debido a su constitución es capaz de retener en sus suelos hidromórficos grandes volúmenes de agua y controlar su flujo a través de las cuencas hidrográficas” (p. 348).

Según Rangel (2000), una definición integradora, quizás, pueda resumirse así:

"la región de vida paramuna comprende las extensas zonas que coronan las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior de las nieves perpetuas. Está definida como región natural por la relación entre el suelo, el clima, la biota y la influencia humana" (p. 902)

Guhl (2015) define que los páramos no son iguales:

“Son diversos los factores que se deben tener en cuenta a la hora de realizar la caracterización de estos ecosistemas de alta montaña; entre ellos, los más representativos son la ubicación geográfica, la extensión y vecindad orográfica. Además de esto, influye también sobre ellos la inclinación de las vertientes adyacentes que determinan su geo ecología asociada con la base rocosa y de los suelos. Es por esto que los páramos que

encierran la Sabana de Bogotá son de extensiones relativamente pequeñas, permitiendo el desarrollo de una frondosa vegetación de tipo andino y bosque de niebla, los cuales, en la actualidad, han sido progresivamente intervenidos y casi reemplazados por una vegetación secundaria de rastrojo y pajonales como muestra del nuevo paisaje cultural, degradando al páramo como el paisaje geográfico natural más destruido en Colombia. También nos encontramos con páramos muy distintos, ubicados sobre el borde Oriental de la cordillera, que se distinguen por presentar alturas superiores a los 4000 m.s.n.m. como son los páramos de Santurban, Sumapaz y el páramo de la Rusia en límites de Boyacá y Santander” (p.52).

Desde el punto de vista de la vegetación Atlas de páramos de Colombia (2013), indica que:

“la transición de los bosques hacia el ecosistema de páramo que definimos aquí genéricamente como ecotono, puede darse de manera gradual o abrupta, razón por la cual, el límite es en realidad una franja de transición, cuya amplitud varía, según condiciones del terreno, el clima local y el uso y la transformación del paisaje. Los ecotonos, definidos como zonas de contacto entre comunidades vegetales diferentes, se caracterizan por altos niveles de diversidad, ya que presentan especies propias de uno y otro ecosistema, y de allí su importancia para la conservación de la diversidad biológica. Esta transición es influida además por la actividad humana, ya sean prácticas agrícolas, quemas, introducción de ganado, infraestructura, e incluso, por los efectos del cambio climático. Estos procesos pueden alterar la ubicación y la extensión de dicha franja, o marcar su desaparición, lo que marca un reto técnico y científico considerable para la identificación del límite del ecosistema” (p. 67).

Un componente que representa un aspecto relevante en los ecosistemas de paramo y más específicamente, en ecosistemas vulnerables y sensibles de áreas destinadas a funcionar como zonas de recarga hídrica es el suelo. En tal sentido, muchos textos lo definen como un cuerpo natural, trifásico, compuesto por una parte sólido (minerales y materia orgánica), parte líquida (solución del suelo) y otra gaseosa (O₂, CO₂, etc.). Jaramillo (2002) argumenta que “las interacciones dinámicas que ocurren en él, sirven como medio de crecimiento y regeneración continua para la vida en la tierra”.

Harrison (2001) indica que el suelo para la plantación forestal es aquel lugar donde se ubica el material vegetal, crece y da producción, además, del suelo se extrae agua y nutrientes requeridos en su etapa de desarrollo.

Igualmente Zapata (2006), define al suelo como un sistema que posee horizontes que son el resultado de procesos pedogenéticos que actúan sobre él; por tanto, es una mezcla de componentes minerales, materia orgánica, bacterias, aire y agua así, entender y reconocer estos elementos y sus horizontes es importante para determinar sus potencialidades y limitantes en el desarrollo forestal.

De acuerdo con el Atlas de Páramos de Colombia Cadena, (2007), el Complejo de Páramos Guantiva – a Rusia se encuentra ubicado:

“[...] en el flanco Occidental de la cordillera Oriental entre los 3.100 y 4.280 metros sobre el nivel del mar (msnm). Forma parte de un corredor extenso de páramos y bosques andinos conocidos como el corredor Guantiva – La Rusia, que se extiende en dirección nororiente desde el Santuario de Fauna y Flora (SFF) de Iguaque (Villa de Leyva,

Boyacá) hasta las estribaciones del cañón del río Chicamocha (Onzaga, Santander). El SFF Guanentá Alto del Río Fonce también hace parte de este complejo” (p.73).

Según el sitio web <http://www.duitama-boyaca.gov.co/>:

“[...] en la Jurisdicción política de Duitama, se localiza un área de ecosistema páramo conformado por Pan de Azúcar y la Rusia. Estas regiones de páramo del sistema montañoso de los Andes; comprende un área de 193 Km² aproximadamente, dando origen a la estrella hidrográfica, alimentando los ríos que bañan regiones correspondientes a los departamentos de Boyacá y Santander; también se encuentran en esta zona el Bosque de roble de Virolín, el santuario de flora y fauna Guanentá Alto Río Fonce, del cual Duitama también participa y que pertenece a las veredas de El Carmen, Santa Helena y Avendaños. En el Municipio son mínimas las áreas de bosque nativo; los pocos relictos de flora que existen, principalmente a la orilla de las quebradas, tierras de alta montaña y alrededores de los cuerpos de agua, están fuertemente intervenidos por el hombre; los grupos de árboles existentes, por lo regular, han sido introducidos y a través del tiempo se han multiplicado y crecido espontáneamente; el hombre los ha venido utilizando como combustibles, extracción de madera y también, casos donde son quemados a propósito para obtener carbón vegetal, potreros o agricultura de pan coger, sin medir las consecuencias a que estas acciones conllevan. Los bosques nativos primarios han sido reemplazados por vegetación exótica, generando cambios en los ecosistemas, principalmente por especies de pino patulla, los cuales fueron introducidos hace unos 30 años atendiendo las políticas direccionadas por el Inderena; a este respecto cabe destacar que no existe un inventario real de las áreas y el desarrollo de los bosques que

actualmente se encuentran en las cuencas abastecedoras de fuentes de agua, tanto en los predios municipales como en propiedades privadas”.

Para el caso que nos ocupa, en el caso de una plantación de pino pátula en la parte alta de la Quebrada Boyacogua del municipio de Duitama, realmente son pocos los estudios e investigaciones relacionadas con las afectaciones de este tipo de plantaciones a la recarga hídrica y el control de caudal de la quebrada. En tal sentido, se ha consultado para el desarrollo de la presente investigación, documentos técnicos que se acercan al interés que nos ocupa y nos aportan algunos parámetros de importancia para el trabajo.

El estado de desarrollo y el manejo de las plantaciones forestales son dos aspectos que influyen fuertemente sobre las características hidrológicas. Los cambios más drásticos sobre la recarga hídrica de la cuenca, el comportamiento de la escorrentía y su relación con la carga de sedimentos asociados, generalmente se presentan cuando el bosque natural es convertido en plantación forestal (Bruijnzeel, 1997).

Según Robert Hofstede, a primera vista se pudiera pensar que la implantación de árboles en el páramo, hasta ahora, casi únicamente con especies exóticas, favorece la estabilidad del ecosistema: se crea más biomasa, se aumenta la cobertura vegetal y la entrada de materia orgánica al suelo; desafortunadamente esta apreciación no es tan precisa. Existe ya bastante evidencia que en la zona alto-andina hay varios efectos nocivos de la forestación con especies exóticas; uno de ellos, que durante la implantación se retira parte de la vegetación existente y se disturba el suelo (compactación; Evans, 1992); pero, aún más importantes son los efectos durante

el crecimiento de la plantación; especialmente, especies como el pino, consumen demasiada agua, disminuyen el rendimiento hídrico y, finalmente, secan el suelo, razón por la cual hay mayor descomposición y pérdida de fertilidad.

Esta acelerada descomposición no es compensada por la entrada de nueva materia orgánica, ya que la hojarasca de pino es muy uniforme y resistente a microorganismos; así que el suelo bajo plantación de pino será menos orgánico y más seco que un suelo de páramo (Cortés et al., 1990; Hofstede, 1997). Además, se espera que las condiciones microclimáticas y edáficas alteradas, causadas por la cobertura total por Pinus, hace que la vegetación natural del área sea casi ausente (Ohep y Herrera, 1985), (Van der Hammen, 1997), (Hofstede, Páramo, & Ecopar, 1998)

Capítulo 3

3.1 Metodología

El diseño metodológico se refiere a poder establecer cómo se llevará a cabo la investigación, debiéndose diseñar la estrategia para obtener la información y detallar las actividades para darle respuesta a los objetivos planteados.

Según la metodología utilizada, las investigaciones pueden enmarcarse en dos grupos bien diferenciados o clases de investigaciones: la investigación cualitativa y la investigación cuantitativa. En una investigación cualitativa es muy importante lo que la gente dice, piensa,

siente o hace, sus patrones culturales, el proceso y el significado de sus relaciones interpersonales y con el medio.

Además, en esta clase de investigación la función es la de describir o la de generar una teoría a partir de los datos obtenidos. Adicionalmente, esta clase de investigación es de índole interpretativa con la participación activa de las personas durante todo el proceso, con el propósito de poder llegar a transformar una realidad o situación problema (Hector Daniel Lerma Gonzalez, 2009)

Por otro lado, la investigación cuantitativa es una forma estructurada de recopilar y analizar datos obtenidos de distintas fuentes. La investigación cuantitativa implica el uso de herramientas informáticas, estadísticas, y matemáticas para obtener resultados. Es concluyente en su propósito, ya que trata de cuantificar el problema y entender qué tan generalizado está mediante la búsqueda de resultados proyectables a una población mayor.

3.1.1 Tipo de Investigación

Para el caso particular que nos ocupa como son las afectaciones a la quebrada Boyacogua por una plantación de pino que se encuentra en la parte alta de la microcuenca, es una investigación mixta, con elementos cualitativos y cuantitativos. Los elementos cualitativos buscan reconocer las relaciones que tienen los habitantes de la zona con el área de estudio, sabiendo cuál es la población y el estado de las plantaciones de pino. Los elementos cuantitativos como las encuestas, complementaron la información de las entrevistas. Los resultados de las entrevistas y

encuestas además se triangularán con datos bibliográficos de y de mediciones en campo como la de caudal y volumen de madera. Con la descripción cualitativa y cuantitativa se busca tener el conocimiento suficiente para tomar decisiones en el manejo de las plantaciones de pino, de acuerdo con las realidades que viven los habitantes de la zona.

3.1.2 Técnicas e instrumentos de recolección de Datos

Para el cumplimiento de los objetivos específicos se aplicaron las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Visitas de Campo

Se llevaron a cabo visitas de campo a nivel general en la parte alta de la microcuenca, concretamente, donde se encuentran plantadas las 33.5 hectáreas de pino; en éstas visitas se pudo establecer el estado actual de la plantación de pino la cual circunda el humedal donde nacen los cuatro brazos iniciales que forman la quebrada Boyacogua.

Entrevistas no estructuradas

Son aquellas entrevistas que se realizan sin ningún tipo de formato predeterminado; tampoco se hace necesaria una guía con temas generales o relevantes, es una charla desprovista de cualquier condicionamiento en la cual, tanto el entrevistador como el entrevistado, interactúan de manera informal en torno al tema de interés.

En el desarrollo de la presente investigación se llevaron a cabo sesenta entrevistas no estructuradas de las cuales treinta entrevistas equivalentes al 50 % del total; fueron realizadas con los propietarios o habitantes de cada uno de los predios que tienen acceso directo al cauce de la quebrada; las restantes treinta se realizaron con representantes comunales, habitantes del sector, líderes sociales y políticos y profesores de las escuelas veredales del área de influencia de la Quebrada.

Encuestas

Para las encuestas aplicadas se diseñó un modelo con diez ítems, la mayoría de ellos de tipo cerrado, en el cual se utilizó un lenguaje claro, conciso y sencillo, en concordancia con las características de los habitantes de la zona llamados a contestar las encuestas. De la misma manera, es de tener en cuenta que se trabajó una muestra aleatoria de la población que habita el área de influencia de la quebrada Boyacogua, muestra en la cual se presentan diferentes grados de escolaridad de los encuestados, con un conocimiento casi que generalizado de la zona de estudio y de la quebrada propiamente dicha.

Durante el proceso de investigación fueron aplicadas doscientas cincuenta encuestas a los habitantes de las veredas Santa lucia, La Pradera y La Esperanza, veredas por donde transita el cauce de la quebrada Boyacogua. Para analizar las respuestas entregadas por las personas encuestadas se analizó cada una de las diez preguntas de la encuesta de manera individual, tabulando los resultados con relación al número de respuestas obtenidas para cada pregunta, las cuales se presentan en términos de porcentaje en las gráficas correspondientes.

3.1.3 Técnicas de Procedimiento

Cuantificación del recurso hídrico y forestal del área de estudio

Los cálculos de los recursos hídricos y forestales permiten tener un estimativo de la cantidad de madera que se encuentra en el bosque de pino pátula sembrado en la cabecera de la microcuenca BOYACOGUA; en ese mismo sentido, la medición del caudal de la quebrada nos permite realizar comparaciones con datos estadísticos del comportamiento hídrico de la quebrada.

- **Medición de caudales**

El caudal se mide por medio de un método experimental de acuerdo con la ecuación de continuidad, la cual involucra el área transversal de conducción y la velocidad del flujo; para tal fin, se realizan mediciones de tiempo y distancia recorrida, utilizando corchos para establecer la velocidad del agua. Para determinar la sección transversal se utiliza una canaleta de sección transversal trapezoidal y se toman diez lecturas para cada cálculo; luego se promedian los valores de velocidad y se calcula el valor del caudal de acuerdo con la altura del agua en la canaleta. Esto con el fin de poder establecer una relación con los datos que se tienen en la información de la captación de la bocatoma de EMPODUITAMA. (STREETER, 1989)

Para estimar la cantidad de madera que se encuentra dentro del bosque de pino, es necesario cubicar el volumen de acuerdo con la altura promedio de los árboles y al valor medio del diámetro. Estos datos fueron previamente establecidos a través de las visitas de campo y las mediciones hechas con el fin de buscar alternativas que favorezcan la recuperación del

ecosistema de paramo, generar las condiciones más favorables que garanticen efectivamente la función de este ecosistema como una zona reguladora de caudales para alimentar la quebrada Boyacogua y mantener su capacidad hídrica en el tiempo.

Para calcular el volumen de madera se utiliza la formula Smalian: Esta fórmula relaciona el diámetro promedio de la troza de madera (madera rolliza), con la longitud del árbol. (Melo & Lizarazo, 2017)

$$V = \pi (Dx) L / 4$$

Donde:

V = Volumen en m³

$\pi = 3,1416$

L = Largo de la troza en metros

Dx = Diámetro promedio de la troza en metros

Capítulo 4

4.1 Resultados y Discusión

4.1.1 Manejo y Situación Actual de la plantación de pino patula en el área de estudio

Las visitas de campo realizadas se llevaron a cabo durante los meses enero a junio de 2016 en las cuales se pudo establecer las siguientes condiciones del estado de la plantación:

Figura 5 : Panorámica Plantación de Pino



Fuente : *Propia del Autor*

Distancia de siembra: la distancia de siembra entre líneas es de 3 m. y la distancia entre árboles es de 3.5m.

Distribución: la distribución de la plantación es a tres bolillo, teniendo en cuenta que son diferentes las distancias entre líneas y la distancia entre plantas.

Densidad de siembra: la densidad de siembra es de un número aproximado a 950 árboles por hectárea 950 Ptas. / ha

Diámetro promedio: El diámetro de los arboles a la altura del pecho varía entre 10 cm y 40 cm, con lo cual se establece un diámetro promedio de 25 cm.

Altura promedio: en términos generales la plantación de pinos presenta una altura promedio de 15 m.

Figura 6 : Densidad De Siembra Y Características de la Plantación



Fuente : *Propia del Autor*

Durante las visitas realizadas se pudo observar, a simple vista, que hay una ausencia casi que total en lo que tiene que ver con manejo silvícola; sin embargo, es importante destacar que el predio Santa Bárbara que se encuentra en el costado Suroriental de la zona del humedal presenta mayor homogeneidad entre individuos y mejor estado fitosanitario. De la misma manera, se debe mencionar el hecho de que las escasas actividades de raleo y entresaca se realizan de forma clandestina por habitantes de la zona, y aun cuando no es significativo su impacto dentro de la plantación, sí se puede observar que en los relictos donde se han extraído piezas de pino y se presentan claros, es evidente una recuperación de las especies arbóreas nativas y una recuperación de la vegetación natural.

Figura 7 : Claros de la Plantación con Presencia de Especies de Vegetación Natural



Fuente : *Propia del Autor*

La ausencia de manejo de la plantación de pino presenta en términos generales las siguientes características:

Estabilidad de la masa y riesgo de volcamiento: es la consecuencia de la ausencia de raleos y entresacas de las plantaciones. La densidad de plantación fue muy alta; se estima que las primeras intervenciones tendrían que haberse realizado a los 15 años de sembrada la plantación.

Acumulación de acículas que impiden la regeneración natural: la realización de raleos habría permitido la entrada de luz aumentando ligeramente la temperatura del suelo. El manto de acículas se habría descompuesto y la mineralización habría sido mucho más eficaz. Este fenómeno de descomposición se observa en los claros que se han formado accidentalmente en algunas zonas.

Figura 8 : Manto de Acículas y Ausencia de Vegetación Natural



Fuente : *Propia del Autor*

Se realizaron 35 visitas de campo a cada uno de los predios que tienen acceso directo al cauce de la quebrada Boyacogua; unos predios fueron georreferenciados teniendo en cuenta su extensión y su impacto real sobre la quebrada, así como su importancia estratégica como áreas significativas para llevar a cabo, dentro de ellos, posibles procesos de restauración y revegetalización de especies nativas.

De igual manera, los predios georreferenciados son predios que se consideran dentro de la investigación como ecosistemas sensibles y estratégicos debido a su altura sobre el nivel del mar y a su cercanía al límite de la cota para la delimitación del ecosistema de páramo de los 3000 m.s.n.m, los cuales se relacionan en la tabla 3.

En las visitas de campo hechas a nivel predial se logró establecer que en las zonas pastoriles y/o vegetación nativa se presentan actividades de ganadería familiar con especies ovina y bovinas que en algunos casos pueden llegar a ocasionar problemas de sobrepastoreo, sin que se haga

manejo o control de praderas, afectando la microcuenca por compactación debido al pisoteo, situación que se conoce comúnmente como el pie de arado. La escasa vegetación no cumple un ineficiente papel que garantice la retención de humedad y que a su vez funcione como regulador hídrico que garantice la descarga regulada del caudal de la quebrada.

Así las cosas, se puede decir que hay actividades que impactan con más agresividad el ecosistema fluvial y son aquellas que se desarrollan sobre el cauce de la quebrada, entre ellas la micro agricultura familiar, el pastoreo de especies vacuna, equinas y ovinas y la eliminación de vegetación arbustiva en la ronda de la quebrada con lo cual se afecta la fauna acuática y se impacta negativamente la complejidad ecosistémica de la ronda natural.

Este cuerpo de agua recibe usos que son incompatibles con estrategias de preservación y conservación; esta situación se evidencia por un acelerado deterioro, producto de la deforestación intensiva e invasión de su cauce con actividades que impactan sobre la cobertura vegetal natural.

Un alto porcentaje de los predios visitados enmarcan dentro de la categoría de minifundios y micro fundíos; el tipo de tenencia es de carácter variado encontrándose que existen predios en arrendamiento, algunos otros con hipoteca o falsa tradición y otros más con carácter de propiedad familiar y pleitos de sucesión, en su gran mayoría estas áreas son dedicadas a establecimientos de explotación ganadera de baja intensidad. No obstante, al ser actividades que impactan directamente sobre el cauce de la quebrada afectan de manera directa tanto a la comunidad del sector rural como a la comunidad del sector urbano, toda vez que se presume estas pueden contribuir a disminuir el caudal original de la quebrada Boyacogua; de otra parte, esta situación afecta los componentes bióticos y abióticos del entorno relacionados con la flora, fauna y la humedad relativa del ecosistema.

A continuación se relacionan todos los predios que tienen acceso directo al cauce de la quebrada, especificando el nombre del propietario y el área de cada predio.

Tabla 3 : Relación de Predios Con Acceso al Cauce de la Quebrada

Nº1	NOMBRE DEL PREDIO	VEREDA	AREA (Ha)
1	EL VERGEL	SANTA LUCIA	0,482
2	EL MIRADOR	LA PRADERA	0,643
3	EL DIAMANTE	LA ESPERANZA	1,275
4	EL TESORO	LA ESPERANZA	0,481
5	VILLA CONSUELO	LA PRADERA	12,16
6	EL PALMAR	LA PRADERA	0,423
7	LA ESPERANZA	LA PRADERA	0,704
8	EL ARRAYAN	LA PRADERA	1,476
9	LA CEIBA	SANTA LUCIA	1,47
10	SAN CAYETANO	LA PRADERA	0,496
11	LA ESPERANZA	LA PRADERA	1,406
12	EL MORTIÑO	LA PRADERA	3,241
13	EL PINO	LA PRADERA	0,661
14	LA CABAÑA	SANTA LUCIA	0,731
15	EL ROSAL DEL BOSQUE	LA PRADERA	0,888
16	EL EUCALIPTO	SANTA LUCIA	2,032
17	SAN JOSE	LA ESPERANZA	0,486
18	EL DESPERTAR	LA PRADERA	0,545
19	SAN ISIDRO	LA ESPERANZA	0,653
20	EL REFUGIO	LA PRADERA	2,405
21	EL MIRABEL	LA ESPERANZA	0,319
22	LA MESETA	LA PRADERA	0,257
23	EL ARRAYAN	LA ESPERANZA	0,87
24	EL PEDREGAL	LA ESPERANZA	0,472
25	LA MESETA	LA PRADERA	0,371
26	EL ROBLE	SANTA LUCIA	22,03
27	EL ROBLE	SANTA LUCIA	20,65
28	EL ROBLE	SANTA LUCIA	22,64
29	LA FLORIDA	SANTA LUCIA	23,01
30	LA FLORIDA	SANTA LUCIA	23,08
31	LA FLORIDA	SANTA LUCIA	21,76
32	AGUA LIMPIA	SANTA LUCIA	20,32
AREA TOTAL DE PREDIOS			188,437

4.1.2 La población habitante de la microcuenca Boyacogua y sus percepciones relacionadas con el deterioro de la cuenca en relación con el bosque de pino.

De las entrevistas no estructuradas realizadas se desprenden varios aspectos importantes; dentro de los más relevantes se encuentra que la mayoría de los entrevistados coincide en pensar que la decisión que en su momento se tomó de plantar la parte alta de la microcuenca de la quebrada Boyacogua, con una especie exótica y foránea como lo es el pino pátula, fue una decisión equivocada, además de inconsulta, teniendo en cuenta que fue una decisión de carácter institucional de las autoridades de turno, que no consultó el sentir de los habitantes, ni mucho menos ellos tuvieron la oportunidad de decidir de la conveniencia o inconveniencia del proyecto.

En ese mismo sentido, casi la totalidad de los entrevistados, con excepción de unos pocos que tienen acceso a los círculos de poder local, manifiestan que hace más de quince años se ha venido insistiendo en la necesidad de buscar alternativas de intervención con el bosque plantado de pino; en tal sentido, cuentan que cada vez que se avecinan las épocas de elecciones, este es un tema recurrente y una promesa frecuente de los diferentes candidatos a las corporaciones públicas-concejos, alcaldía-asambleas, cámara y hasta senado-, pero una vez pasa la campaña electoral, el tema se queda engavetado en los anaqueles del olvido; así las cosas, dicen que por lo menos los últimos cuatro alcaldes de la ciudad, se han comprometido públicamente a intervenir el bosque plantado para buscar alternativas a una problemática que ha sido suficientemente expuesta por parte de la comunidad que habita las veredas de Santa Lucía, La Pradera y La Esperanza las cuales hacen parte del área de influencia de la microcuenca de la quebrada Boyacogua.

A continuación se presentan los resultados de las encuestas. Cada una de las gráficas corresponde a una pregunta; todas están analizadas en relación con el número de personas encuestadas y con el porcentaje expresado en cada opción de respuesta. **(Anexo A: Formato Encuesta)**

Figura 9 : Porcentaje de habitantes por vereda

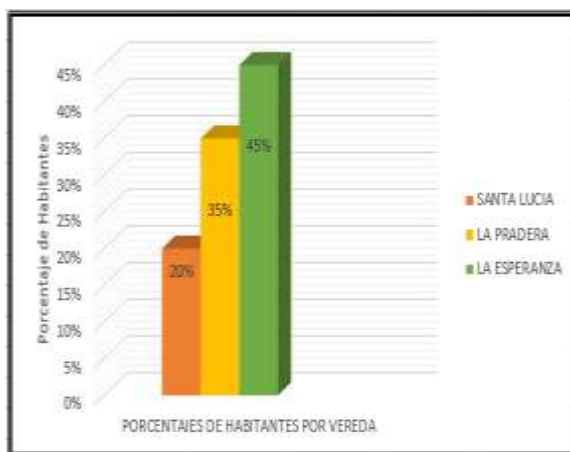
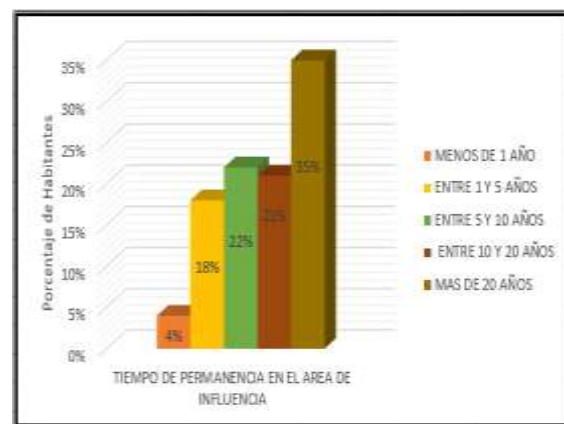


Figura 10 : Porcentaje de habitantes por tiempo de permanencia en el área de influencia



De la Figura 9 se puede establecer que el mayor número de habitantes del área de influencia se encuentran en la vereda La Esperanza, esto se explica al ser ésta la vereda que cuenta con mayor oferta de servicios públicos, toda vez que se encuentra en la parte más baja de la microcuenca que cuenta con transporte público municipal y fácil acceso a instituciones públicas de educación.

La Figura 10 muestra el tiempo de permanencia de los habitantes en el área de influencia; se considera relevante este aspecto toda vez que los resultados muestran que el mayor porcentaje de habitantes se encuentra en la franja de quienes llevan más de 20 años viviendo en la zona, lo cual

nos permite presumir que efectivamente ellos tienen un conocimiento real de cuál ha sido el comportamiento histórico del caudal de la Quebrada y de cómo ha cambiado después de plantado el bosque de pino.

Figura 11 : Porcentaje de habitantes que conocen la quebrada Boyacogua

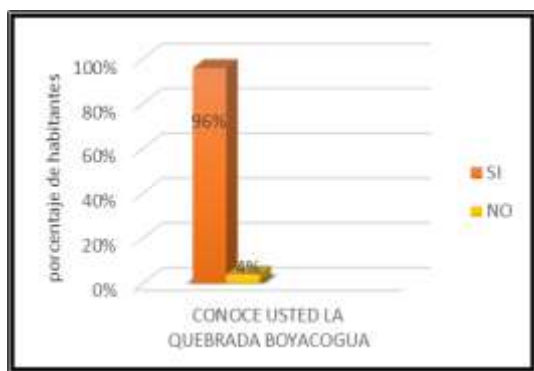
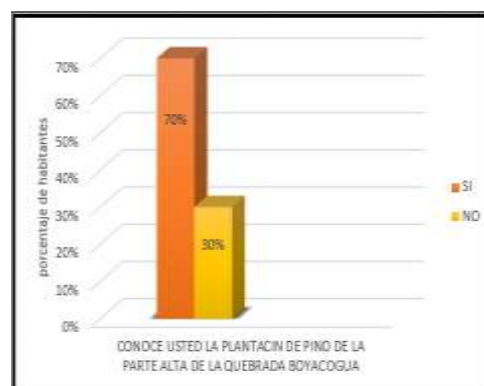


Figura 12 : Porcentaje de habitantes que conocen la plantación de pino que se encuentra en la parte alta de la quebrada



Las figuras 11 y 12, establecen que un alto porcentaje, equivalente al 96% de la población del área de influencia, conoce efectivamente la quebrada Boyacogua. Por otra parte, se evidencia que, en lo que tiene que ver con el conocimiento de la plantación propiamente dicha que se encuentra en la parte alta de la Quebrada, aun cuando el porcentaje de conocimiento no es tan elevado, sí se puede establecer que el 70% de la población del área de influencia tiene conocimiento de la plantación de pino. Por otra parte, se puede decir que un aspecto importante y rescatable tiene que ver con el interés que despierta el bosque de pino plantado en la parte alta de la quebrada como factor externo que afecta, de alguna manera, el ecosistema natural de la misma.

Figura 13 : Afectación de la plantación de pino al caudal de la quebrada

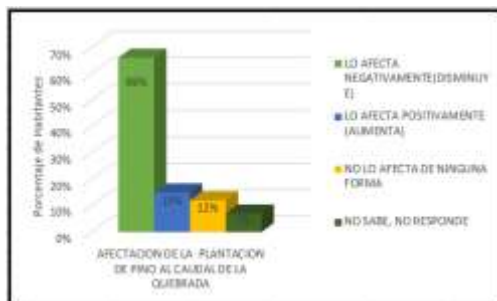
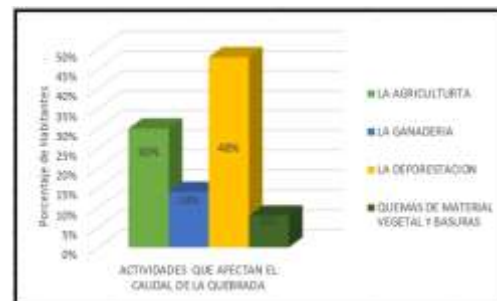


Figura 14 : Afectación de otras actividades al caudal de la quebrada



La figura 13 pone de manifiesto que más de la mitad de las personas entrevistadas, exactamente un 60%, considera que el bosque de pino que se encuentra en la parte alta de la microcuenca, más exactamente en la zona del nacimiento de la Quebrada, si afecta negativamente la recarga hídrica de la misma puesto que el caudal ha disminuido como consecuencia de la plantación de pino. Por otra parte, un porcentaje lejano equivalente al 12%, considera lo contrario; ellos dicen que, por el contrario, el caudal se ha beneficiado con la plantación de pino. Y, finalmente, un 10% de las personas entrevistadas considera que el bosque de pino le es indiferente al comportamiento hídrico de la Quebrada, de tal suerte que no ha contribuido ni a aumentar ni a disminuir el caudal natural de la Quebrada.

La figura 14 muestra los resultados de la encuesta asociados a otras actividades dentro del área de influencia de la Quebrada; la actividad que consideran de mayor impacto negativo sobre el caudal de la Quebrada, se refiere a procesos de deforestación con un porcentaje del 48%, seguida por actividades de agricultura con un 30% y en menor porcentaje, actividades de ganadería con un 14%; se concluye, además, que las quemadas de material vegetal y basuras

contribuyen negativamente en un porcentaje del 8%.

Figura 15 : Percepción de los habitantes en relación a la disminución del caudal de la quebrada

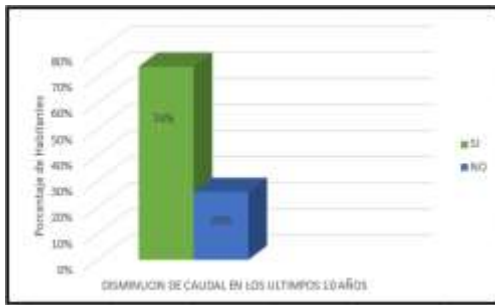
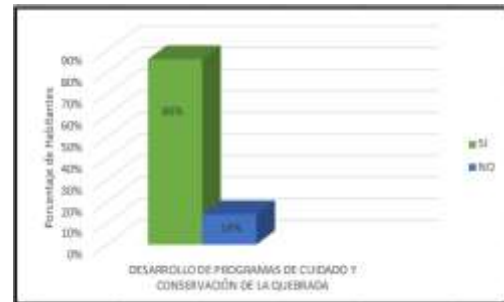


Figura 16 : Programas de cuidado y conservación de la quebrada



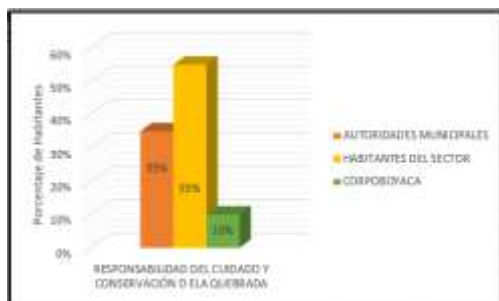
La figura 15 muestra la percepción de los habitantes de la zona en la disminución del caudal en los últimos diez años; en tal sentido, un 74 % manifiesta que, efectivamente, en la última década el caudal de la Quebrada ha disminuido. Es importante mencionar que esta pregunta no relaciona la disminución del caudal con la plantación de pino, sino que recoge la percepción de los habitantes, de cómo se ha comportado el caudal de la Quebrada en los últimos diez años, independientemente de las causas que dan origen a ese comportamiento.

La figura 16 muestra cómo los habitantes de la zona se sienten comprometidos con programas de cuidado y conservación de la Quebrada; es así como un 86% de los entrevistados manifiesta su intención de participar en proyectos que eventualmente se puedan desarrollar, tendientes a cuidar y conservar la quebrada Boyacogua como fuente abastecedora de agua para el Municipio.

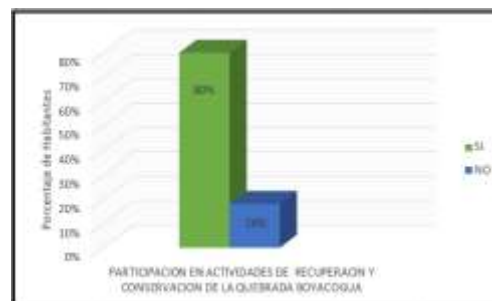
Figura 17 : Responsabilidad en el desarrollo de

Figura 18 : Intención de la comunidad en

programas de cuidado y recuperación de la quebrada



participar en actividades de cuidado y recuperación de la quebrada



La figura 17 indica cómo los habitantes de la zona consideran que el mayor porcentaje de responsabilidad, en lo referente al cuidado y conservación de la quebrada, equivalente al 55%, recae directamente en los habitantes del sector. Por otro lado, el 35% de los entrevistados considera que es responsabilidad de las autoridades municipales, toda vez que son ellas las encargadas de diseñar e implementar programas tendientes a la conservación y cuidado de los recursos naturales.

La figura 18 muestra la correspondencia entre el grado de responsabilidad de parte de los habitantes en el cuidado de la Quebrada y su disposición para participar en actividades de recuperación y conservación de la misma. Es así como el 80 % de los entrevistados manifiesta su interés y voluntad de emprender acciones concretas que ayuden a la recuperación, cuidado y conservación de la Quebrada.

Teniendo en cuenta los resultados de las entrevistas y las encuestas aplicadas a los habitantes de la zona en relación al comportamiento hídrico de la quebrada, (figura N° 15), se percibe que en los últimos 15 años puede haber una disminución en el caudal medio de la Quebrada, presentándose una marcada merma en el caudal crítico de las temporadas secas, es decir que para las épocas de menos precipitación a lo largo del año se observa que el caudal mínimo es menor que en épocas anteriores, teniéndose que disminuir drásticamente y casi que interrumpir la captación que se hace para el abastecimiento del Acueducto Municipal Urbano. Ante esta problemática es válido el interrogante de hasta dónde puede ser cierto que, efectivamente, hay una afectación en la recarga hídrica de la Quebrada, como consecuencia del bosque de pino pátula, sembrado en la parte alta donde nace la misma.

Se hace necesario, entonces, partiendo de la percepción de los habitantes y su buena disposición manifestada en torno a la recuperación de la Quebrada (figura N° 16), empezar, desde diferentes instituciones públicas y privadas, a promover y realizar campañas de sensibilización y fomento de la Educación Ambiental, como herramienta de mitigación y recuperación de las afectaciones a la Quebrada; de igual manera, es importante resaltar la importancia de realizar una intervención técnica ambiental partiendo del aprovechamiento forestal del pino, acompañada de programas estructurales de recuperación y plantación de especies nativas buscando alcanzar resultados exitosos de intervención y manejo ambiental como es el caso del río OTUN en la ciudad de Pereira. Para el caso de la Microcuenca Boyacogua no sería justo que, de realizarse dicho aprovechamiento, la empresa concesionaria tumba el bosque, se lleve el pino, reciba los beneficios económicos de su comercialización y a la ciudad y sus habitantes solo les quede una estela de desolación y estragos ambientales y ecosistémicos, no solo en el cauce de la Quebrada, sino en las 33 Ha de un ecosistema tan sensible e importante como es el páramo.

Por tal razón, se requieren acciones concretas de recuperación y mitigación del daño ambiental que deben ser de largo aliento en el horizonte de tiempo, por lo menos una década, en la cual se permita su restauración ecológica, que garantice la perduración en el tiempo de este BIOSISTEMA como fuente abastecedora de agua y vida para los habitantes de Duitama.

4.1.3 Otras Consideraciones:

Cuantificación del recurso hídrico y forestal del Área de estudio

- **Medición de caudales**

La medición de caudales de la Quebrada se lleva a cabo en la finca Agua Limpia, propiedad de don Heriberto Morales; al realizar la medición se obtuvieron los valores que se relacionan en la tabla N°4. *Relación distancia - tiempo para cálculo de velocidad del agua*

Tabla 4 : *Relación distancia - tiempo para cálculo de velocidad del agua*

MEDICION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DISTANCIA (M)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
TIEMPO (S)	8.34	9	8.5	8.25	8.7	8.15	8,1	9	9.2	8.4

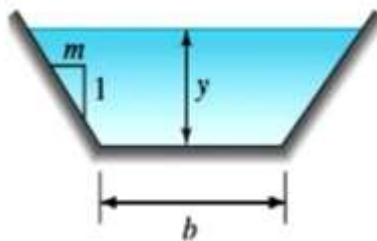
Promedio = 8,574s

Velocidad = distancia/tiempo

Velocidad = 10m/8,574s

Velocidad = 1,14 m/s

Figura 19 : Sección transversal



Para el caso particular del cálculo del caudal solo se tiene en cuenta el área transversal y la velocidad del agua, toda vez que el interés es medir el caudal puntualmente, sin tener en cuenta ni la pendiente ni el revestimiento, puesto que no se trata de un diseño sino solamente de establecer la cantidad de agua que pasa en un determinado tiempo.

$$Q = V \times A$$

Donde

Q= Caudal

V= Velocidad del Agua

A= Área de la sección transversal

La sección transversal de la canaleta utilizada para medir el caudal de la Quebrada tiene las siguientes medidas.

$$b = 0,4 \text{ m}$$

$$y = 0,15 \text{ m}$$

La base mayor del trapecio corresponde a la lámina de agua, y mide 0,6 m

$$A = \frac{B + b}{2} \times h$$

$$A = (0,6 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} / 2) \times 0,17 \text{ m}$$

$$A = 0,085 \text{ m}^2$$

$$Q = V \times A$$

$$Q = 1,14 \text{ m/s} \times 0,085 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,0969 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 96,9 \text{ L/S}$$

De acuerdo con el método descrito se calculan valores de caudal en tres épocas diferentes del año. Los cuales se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 5 : Caudales medidos en la quebrada

Fecha	Julio 2016	Noviembre 2016	Mayo 2017
Caudal L/S	35 L/S	96 L/S	64 L/S

Los valores de caudal calculados se encuentran dentro del rango de los datos proporcionados por Empoduitama; sin embargo, aun cuando el caudal mínimo medido en el mes de julio de 2016 está por encima del valor del caudal crítico de verano que se tiene referenciado, no es posible hacer una comparación certera, teniendo en cuenta que el régimen bimodal de lluvias que

caracterizaba la Región Andina, dentro de la cual se encuentra la microcuenca Boyacogua, se ha venido distorsionando y en los últimos años no se han presentado, de manera bien diferenciada, los dos períodos secos característicos de los meses de diciembre, enero y febrero, al igual que junio, julio y agosto; en ese mismo sentido, meses que tradicionalmente son periodos lluviosos: septiembre, octubre y noviembre o los meses de marzo, abril y mayo también han perdido uniformidad por efectos de los fenómenos de la Niña experimentados en el territorio nacional.

- **Cálculo de madera**

Las estimaciones del cálculo de la madera se realizaron de acuerdo con la metodología explicada, obteniendo los siguientes resultados:

Entonces de acuerdo a los datos recogidos en campo, el volumen de madera de cada árbol de pino es igual a:

$$V = \frac{3,1416 \times (0,2 \text{ m})^2 \times 15 \text{ m}}{4}$$

$V = 0,47 \text{ m}^3/\text{árbol}$. volumen de madera de cada árbol.

Ahora bien, con árboles sembrados a distancias de 3 m entre plantas y 3,5 m entre líneas, se calcula la densidad de la plantación, primero para una hectárea y luego para el total de la plantación.

Densidad de plantas por hectárea.

$$\text{Dptas} = \frac{100\text{m}}{3\text{m}} \times \frac{100\text{m}}{3,5\text{m}}$$

$$\text{Dptas} = 33,333 \times 28,57$$

$$\text{Dptas} = 33 \times 28$$

$$\text{Dptas} = 924 \text{ ptas/Ha}$$

Ahora se calcula el número de plantas (árboles), para toda la plantación

$$\text{Número de árboles} = \text{número de árboles por Ha} \times \text{Número de Ha}$$

$$\text{Número de árboles} = 924 \text{ ptas/Ha} \times 33 \text{ Ha}$$

$$\text{Número de árboles} = 30.492$$

Teniendo el número total de árboles, se calcula el volumen total de madera.

$$\text{Volumen total de madera} = \text{volumen de cada árbol} \times \text{número de árboles}$$

$$\text{Volumen total de madera} = 0,47 \text{ m}^3 / \text{árbol} \times 30.492 \text{ árboles}$$

$$\text{Volumen total de madera} = 14.331 \text{ m}^3 \text{ de madera rolliza (trozas)}$$

Teniendo en cuenta el tipo de madera y la técnica de aserrío, el rendimiento de madera rolliza a madera aserrada puede variar entre 0,35 y 0,5. Se toma entonces un valor de 0,4 para estar en un promedio aceptable de rendimiento.

$$\text{Volumen de madera aserrada} = 0,4 \times 14.331 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de madera aserrada} = 5,732 \text{ m}^3$$

Para el cálculo de la madera y para efectos de ser conservadores en los estimativos, se maneja un factor de error del 10%; es decir, se habla de un volumen real de madera aserrada 5.200 m³. A precios de mercado se puede estimar que la madera que se encuentra en la plantación de pino tiene un valor aproximado de 3.000 millones de pesos.

4.1.4 Discusión

En relación al caudal de la quebrada

Los cálculos realizados arrojaron tres datos diferentes de caudal, medidos en tres épocas distintas y de acuerdo al procedimiento descrito. En tal sentido, los caudales medidos en la Quebrada se referencian en la Tabla N° 5 con los siguientes valores: 35 L/S para el mes de julio de 2016; 96 L/S para el mes de noviembre de 2016 y 64 L/S para el mes de mayo de 2017.

Podría pensarse que estos valores de caudal corresponden a los valores máximo, medio y mínimo de la Quebrada, los que se presentan de acuerdo con los eventos de precipitación y a los periodos lluviosos y secos que caracterizan las regiones tropicales, como es el caso de la quebrada Boyacogua. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el régimen bimodal de precipitaciones que en épocas anteriores era bien definido para la Región Andina, en el cual se podían identificar, casi con exactitud, los dos periodos secos y los dos periodos lluviosos a lo largo del año, se ha venido alterando y con más severidad en la última década en la que se han presentado el fenómeno de la Niña y el fenómeno del Niño, con presencia extrema de eventos de lluvia y temporadas secas.

Si se comparan estos valores de caudal medidos en campo con los datos proporcionados por el estudio realizado para el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de la ciudad de Duitama del año 2009, Tabla N° 1, se encuentran coincidencias en los valores de caudal, teniendo en cuenta que el valor máximo medido en dicho estudio es de 100 L/S; el caudal medio es de 40 L/S y el caudal crítico o caudal mínimo medido es de 10 L/S; con todo y esto y aun cuando el caudal mínimo medido en la Quebrada correspondiente al mes de julio del año 2016 es superior al caudal crítico medido en los estudios del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, no es posible hacer una comparación real del comportamiento hídrico de la Quebrada, toda vez que los caudales medidos en la presente investigación corresponden a caudales puntuales en una fecha determinada, que si bien, se midieron en tres momentos distintos, estos no reflejan el comportamiento anual de la Quebrada que permita establecer el porcentaje real de variación del caudal.

Ahora bien, es cierto que el estudio **Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos** realizado por Crespo et al., (2014), concluye que el cambio de uso de la tierra, especialmente la forestación con plantaciones de pino y los cultivos, dan como resultado una fuerte disminución en la producción de agua y en la capacidad de regulación hídrica de las cuencas de páramo andino.

La metodología para comparar el efecto de diferentes coberturas vegetales en la regulación de caudales en cuencas hidrográficas de Montes, & Hernández (2007), dice que se encuentran diferencias significativas entre las coberturas de pino y la cobertura de bosque natural, de tal suerte que se concluye que efectivamente, la cobertura de bosque natural en lo que tiene que ver

con el rendimiento hídrico de la microcuenca, presenta un mayor efecto de regulación del caudal.

En este mismo sentido, Robert Hofstede, en compañía de otros investigadores y en trabajos individuales relacionados con el impacto de las plantaciones forestales de pino y su impacto en la retención de humedad de los suelos; así como en la función reguladora de caudales que cumplen los ecosistemas de paramo, utilizando análisis comparativos en parcelas monitoreadas a lo largo del tiempo, así como, pruebas para el análisis de la capacidad de retención de agua de los suelos en saturación, trabajadas a diferentes presiones de 10 kPa, 33 kPa (capacidad de campo), y 1.500 kPa (punto de marchitamiento) mediante placas de presión en muestras volumétricas no perturbadas del horizonte A. han coincidido en manifestar que efectivamente, el cambio en la cobertura natural arbustiva y de pajonal del ecosistema de paramo sustituido por especies exóticas como el pino, afectan negativamente la recarga hídrica de las microcuencas hidrográficas.

De otra parte, si bien es cierto se debe reconocer que casi la totalidad de las investigaciones realizadas, se han llevado a cabo en otras latitudes, y que para el caso de Colombia y más concretamente para los páramos boyacenses donde se encuentra ubicada la quebrada Boyacocua objeto de la presente investigación, son escasas y casi nulas las referencias teóricas de estudios anteriores. No es menos cierto, y no se puede perder de vista la coincidencia existente en lo que tiene que ver con que, son más los inconvenientes y perjuicios a los ecosistemas derivados de la forestación con pino, que los beneficios reales que se puedan lograr a nivel hidrológico y ambiental para un ecosistema tan frágil como es el páramo.

Otro aspecto importante que se debe poner de presente en esta discusión es, la relación costo beneficio de las plantaciones forestales en ecosistemas sensibles como el páramo, pues se podría pensar que, este tipo de actividades representan una oportunidad económica para la industria maderera y una alternativa social de mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades. Sin embargo, la condición de monocultivo específico trae consigo unas consecuencias negativas sobre el recurso hídrico que ha sido comprobado en diversas investigaciones citadas en el marco teórico del presente trabajo. Ahora bien, muchos de esos estudios como ya lo mencionamos, no se han desarrollado en el propio paramo, sino que se han llevado a cabo en otros países e incluso en otros continentes, pero con todo y eso, no hay una razón de peso para pensar que un efecto negativo y coincidente encontrado en la mayoría de los trabajos realizados, pueda tener un efecto positivo en los ecosistemas de paramo colombiano y más concretamente en la microcuenca Boyacogua objeto de la presente investigación.

Así las cosas, y teniendo como insumo principal las bases teóricas consultadas y específicamente las realizadas por Robert Hofstede, quien es desde mi punto de vista el investigador que mas ha tratado este tema, coincido en afirmar que una decisión acertada en relación con las plantaciones de pino patula en ecosistemas sensibles y frágiles como son los páramos, debe ser la aplicación del principio de precaución.

Teniendo en cuenta que la medición del caudal de la quebrada en la parte alta de la misma no estaba contemplado como un objetivo específico, estas mediciones pueden servir como insumo

para posteriores investigaciones, que pueden tomar como referencia dichas mediciones para ser contrastadas y analizadas. Toda vez que, aun cuando hay referencias teóricas en ese sentido, no es posible establecer de manera concluyente, que efectivamente el caudal de la quebrada ha disminuido en el tiempo, como consecuencia de la implementación del bosque de pino sembrado en la parte alta de la quebrada Boyacogua.

De la cantidad de madera

En lo que tiene que ver con la cantidad de madera que se encuentra dentro del bosque de pino sembrado en la parte alta de la quebrada Boyacogua, en el desarrollo de la presente investigación se realizó un cálculo de la misma con el propósito de poder establecer, teniendo en cuenta los precios de mercado, lo cual podría llegar a ser el valor comercial de la misma, con el propósito de plantear la posibilidad de que a través de la explotación forestal del bosque de pino, se pudiera lograr reinvertir los recursos económicos generados en la recuperación y revegetalización del área de influencia con especies nativas que puedan prestar un mejor servicio ecosistémico, garantizando su función como zona de recarga hídrica y buscando mejorar la eficiencia del BIOSISTEMA, como fuente abastecedora de agua.

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

La Microcuenca Boyacogua juega un papel importante en el abastecimiento de agua de la ciudad de Duitama, toda vez que de su quebrada se capta aproximadamente el 30% del caudal total necesario para el abastecimiento del Acueducto Municipal; además, provee agua para uso agropecuario y doméstico a las veredas La Esperanza, La Pradera y Santa Lucía, de esta ciudad. En la parte alta, donde nace la quebrada, se encuentra un área de 33 Ha de pino pátula; este bosque, se podría pensar, puede haber alterado el régimen de caudales y el funcionamiento hídrico de la Microcuenca de acuerdo a las percepciones de los habitantes.

En lo que tiene que ver con el manejo y situación actual de la plantación se puede concluir, de acuerdo con el desarrollo de la investigación que efectivamente la plantación de pino se encuentra totalmente abandonada; durante las últimas tres décadas no se han adelantado actividades de manejo de la plantación, no hay evidencia de raleos ni entresacas, lo cual ha evolucionado a un bosque muy denso que no permite mayor incidencia de la luz solar, y que, a su vez, presenta evidencias de pudrición de troncos que originan volcamiento de un porcentaje aproximado del 5% de los árboles.

En las áreas donde inicialmente había plantación de pino, pero ya se tomó la determinación de realizar aprovechamiento forestal, como el caso de la finca AGUA LINDA de propiedad de don Heriberto Morales, se evidencia cómo el paisaje natural de la ronda de la microcuenca se ha recuperado de forma asombrosa, trazándose un lindero natural desde el límite de la plantación de pino hacia aguas debajo de ella; se puede observar cómo la vegetación nativa, de tipo arbustivo,

ha repoblado la ronda de la quebrada, imprimiéndole un carácter frondoso al bosque y generando un ambiente más amigable y benéfico, tanto a la flora silvestre como a la fauna.

De acuerdo con los resultados de las encuestas aplicadas y teniendo en cuenta lo expresado por las personas que fueron entrevistadas, especialmente las personas de mayor edad y aquellas que llevan más tiempo viviendo en la zona, se encuentra una altísima coincidencia entre quienes consideran que efectivamente el caudal de la quebrada ha venido disminuyendo progresivamente, en comparación con el caudal de hace algunos años atrás.

Otro aspecto que se puede concluir, de acuerdo con las percepciones de la población, es cómo las actividades de agricultura de pequeña escala, básicamente de economía familiar y de ganadería extensiva, han generado procesos de compactación del suelo que no favorecen la conservación de la cuenca, ni contribuyen a la retención de humedad para garantizar la conservación del caudal de la Quebrada.

Sobre las relaciones de los habitantes del área de influencia y sus relaciones con el bosque de pino, se puede decir que estas relaciones son casi nulas, toda vez que el bosque fue plantado de manera inconsulta por una decisión administrativa de las autoridades de la época. Con el paso del tiempo y la llegada de la Ley de Servicios Públicos, el bosque pasó a ser propiedad de la Empresa de Servicios Públicos de la ciudad, EMPODUITAMA, razón por la cual, la comunidad se ha con vertido en una convidada de piedra en lo que tiene que ver con el bosque de pino, su manejo y demás actividades relacionadas con la plantación.

La cobertura vegetal del suelo dentro del bosque ha evolucionado a un manto grueso de acículas y materia orgánica; sin embargo, debido a la alta densidad del bosque, la que dificulta la entrada de los rayos del sol, los procesos de descomposición y reincorporación al suelo se han hecho más

lentos, situación que afecta la cobertura del mismo y hace ineficiente su funcionamiento como esponja retenedora de humedad y reguladora del caudal de la quebrada, por lo que se originan avenidas torrenciales en el cauce de la quebrada cuando se presentan eventos de precipitación de alta intensidad.

Si bien es cierto, se realizaron mediciones de caudal en la finca AGUA LINDA, justamente en el nivel inferior de la plantación de pino, al no haber información estadística de los caudales de la quebrada, anteriores a la fecha de la plantación para ser comparados con los caudales medidos en campo, y al depender de otros factores como el cambio en el régimen bimodal de las precipitaciones, no es posible establecer, con certeza, cómo es el comportamiento hídrico de la quebrada antes de la plantación y después de la plantación, por lo que no se puede concluir, de manera irrefutable que efectivamente la plantación de pino pátula afecte negativamente el comportamiento hídrico de la quebrada, disminuyendo progresivamente su caudal en el tiempo.

Desde diferentes perspectivas se coincide en que fue un error plantar esta área con una especie maderable como lo es el pino , y aun cuando no es la finalidad de este trabajo establecer cuáles fueron las motivaciones de quienes tomaron tal decisión, es válido pensar que dichas motivaciones fueron más de carácter comercial y económico, y que no estuvieron sustentadas por un interés conservacionista buscando garantizar la perduración y conservación del caudal de la quebrada como fuente abastecedora de acueductos veredales y del propio Acueducto Municipal urbano.

Los habitantes de las veredas, que se encuentran dentro del área de influencia, reconocen la problemática de la quebrada y están dispuestos a participar en actividades que garanticen su recuperación, comprometiéndose, incluso, con aportes económicos o efectivos para desarrollar

programas comunitarios de cuidado y conservación. Sin embargo, ha faltado voluntad política de las autoridades municipales y liderazgos verdaderos que estructuren un real proyecto ambiental y eco sistémico de gran envergadura para garantizar la recuperación, cuidado y conservación de la microcuenca boyacogua, como arteria alimentadora del Acueducto Municipal.

De acuerdo al objetivo Alternativa de manejo y control de este tipo de plantaciones y su recuperación como área de interés hídrico, se plantea lo siguiente:

En materia ambiental, el principio de precaución se encuentra consagrado en la ley 99 de 1993, que señala:

“Artículo 1º.- Principios Generale. s Ambientales. La política ambiental colombiana seguirá los siguientes principios generales:

1. El proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo.(...)

6. La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente.”

En aplicación del principio de precaución consagrado en la ley 99 de 1993, y teniendo en cuenta que en el transcurso de la presente investigación no es posible demostrar que efectivamente la plantación de pino pátula afecta la recarga hídrica de la quebrada Boyacogua, se recomienda:

Para proyectos futuros, en lo que tiene que ver con el manejo, cuidado y conservación de microcuencas y zonas de recarga hídrica, abstenerse de realizar plantaciones de pino pátula, toda vez que, al no existir evidencia científica que permita demostrar sus beneficios ecosistémicos y medioambientales, es decisión prudente y responsable realizar los proyectos de revegetalización con especies nativas del ecosistema intervenido.

Iniciar un proyecto de recuperación del área de recarga hídrica de la Quebrada, el cual deberá comenzar por realizar el aprovechamiento forestal del bosque de pino, para dar paso a un proceso de restauración ecológica y revegetalización con especies arbustivas nativas del ecosistema de paramo en las 33,5 Ha que en la actualidad se encuentran sembradas con pino.

Adicionalmente, el aprovechamiento forestal del pino debe garantizar, si no todos, por lo menos parte de los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto de revegetalización de la zona de recarga hídrica y de la ronda de la quebrada, proyecto que deberá tener un horizonte de ejecución de no menos de diez años, tiempo en el cual se podrán lograr verdaderos resultados orientados a garantizar la perduración en el tiempo de esta importante corriente de agua.

En ese mismo sentido, se plantea desarrollar programas de educación ambiental y sensibilización con todos los actores que hacen parte del área de influencia de la quebrada, con el propósito de poder desarrollar un proyecto de recuperación y conservación del cauce de la Quebrada desde la parte alta donde se encuentra el bosque de pino, hasta la parte baja donde le tributa sus aguas al río Chicamocha. Para tal fin, se propone el establecimiento de plantaciones de carácter protector a lo largo de los seis kilómetros del cauce con una ronda de protección de por lo menos diez metros a lado y lado de la quebrada, en un área aproximada de 12 ha para revegetalizar. Las

especies recomendadas para la revegetalización se relacionan en el Anexo B. (Inventario de especies revegetalización)

Referencias

Atenas, L. De, & Sociales, E. (n.d.). Material # 2 Biosistemas del planeta. Retrieved from <https://es.slideshare.net/Socialesdigital/biosistemas-del-planeta-45934566>

Atlas de páramos de Colombia 2013. (n.d.). Retrieved July 20, 2017, from <http://www.humboldt.org.co/es/investigacion/ecosistemas-estrategicos-2/item/551-atlas-de-paramos-de-colombia-2013>

Bernal, E. (2018). Geografía Cultural de Boyaca. [blog]. recuperado de http://www.boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=227&Itemid=33

Bruijnzeel, L. a S. (1997). Hidrología De Las Plantaciones Forestales En Los Tropicos. *MANAGEMENT OF SOIL, NUTRIENTS AND WATER IN TROPICAL PLANTATION FORESTS. Editors: E. K. Sadanandan Nambiar and Alan G. Brown. CSIRO Canberra Australia. 1997. 571.*

Ca, I., & Co, D. E. (n.d.). Constitución Política de Colombia. Retrieved from <http://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion politica de Colombia - 2015.pdf>.

Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Ochoa, B., Cárdenas, I., Iñiguez, V., ... De Bièvre, B. (2014). Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos. *Avances En Investigación Para La Conservación de Los Páramos Andinos*, (March), 288–304. Retrieved from

https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40103335/Impactos_del_cambio_de_uso_de_la_tierra_20151117-19479

[sulzea.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1507683580&Signature=7pBkmE55aQrd6i2u4PWnMo2KepI%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DImpactos_del_cambio_de_uso_de_la_tierra.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40103335/Impactos_del_cambio_de_uso_de_la_tierra_20151117-19479?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1507683580&Signature=7pBkmE55aQrd6i2u4PWnMo2KepI%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DImpactos_del_cambio_de_uso_de_la_tierra.pdf)

García, M., Corral, J., Díaz, M., & Martínez, M. (2009). Función de ahusamiento y volumen compatible para *Pinus arizonica* Engelm. En el suroeste de Chihuahua. *Ciencia Forestal en*

México, 34(105), 119-136.

HARRISON, L., 2001. Fertilidad de suelos – un artículo fundamental, permacultura, México.

Hector Daniel Lerma Gonzalez. (2009). METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN. *ECOEDICIONES*, 63–65.

Hofstede, P. R., Páramo, P., & Ecopar, P. (1998). Impactos ecológicos de plantaciones forestales. *Africa*, (1996), 1–9.

Holdridge, L. (1971). Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data, *Life Zone Ecology*, vol(1).

Huber, a, Iroume, A., Mohr, C., & Frene, C. (2010). Effect of *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* plantations on water resource in the Coastal Range of Biobio region, Chile. *Bosque*, 31(3), 219–230. Retrieved from <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000300006>

JARAMILLO, D., 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia Medellín pp 331 – 334

Jobbágy, E. G., Acosta, A. M., & Noretto, M. D. (2013). Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina). *Ecología Austral*, 23(2), 87–96. Retrieved from http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2013000200002&script=sci_arttext&tlng=en

Kleinn, C. (2000). Inventario y evaluación de árboles fuera del bosque en grandes espacios. *Unasylva* 200, 51(3), 3-10.

La, E. N., La, M. D. E., La, Q., Montes, L. A., & Hernández, L. C. (2007). MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LA MURCIÉLAGO , ANTIOQUIA. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/1450/145016897005/>

Melo, O. R., & Lizarazo, I. (2017). ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE MADERA EN

ÁRBOLES MEDIANTE POLINOMIO ÚNICO DE AHUSAMIENTO Estimating the volume of the wood of trees through the unique taper polynomial, 20(1), 55–62. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a05>

No, D. O., Ambiente, M., & Ambiental, S. N. (2000). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente , se reordena el Sector Público naturales renovables , se organiza el Sistema Nacional Ambiental , SINA y se dictan, 1993(41). Retrieved from http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/ley-99-de-1993_1.pdf

Plan de Ordenamiento Territorial - Duitama. (2009).

Presidente, E. L., & Republica, D. E. L. A. (1974). DECRETO 2811 DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1974. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf

Sitio web del municipio Duitama en Boyacá. (n.d.). Retrieved July 20, 2017, from <http://www.duitama-boyaca.gov.co/index.shtml?apc=I-xx--2998929&x=2998928>

STREETER, V. L. (1989). Mecanica de los Fluidos. *Pueblo Y Educación, XXII*. Retrieved from <http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Hidraulica/Vol-XXII/3-2001/40-43.pdf>

Vitousek PM. (1990). Invasiones Biológicas y Procesos Ecosistémicos: Hacia una Integración de la Biología Poblacional y los Estudios de Ecosistemas En: Gestión de Ecosistemas. Springer, Nueva York, NY

ZAPATA, R. 2006. Química de los procesos pedogenéticos pp 31-40

A. Anexos : Georeferenciación de predios

PUNTO	GEOREFERENCIA		ASNM	NOMBRE PREDIO	VEREDA	ÁREA Ha	PROPIETARIO
	N	E					
170	1116686	1141087	2916	EL ROBLE	santa Lucia	22,64	Rosa Rivera Corredor
171	1116808	1141124	2902				
172	1116895	1140984	2884				
173	1116978	1140886	2869				
177	1117116	1140906	2865				
178	1117166	1140921	2867				
179	1117184	1140888	2879				
180	1117033	1141098	2892				
181	1116891	1141281	2927				
182	1116805	1141352	2937				
183	1116721	1141495	2954				
184	1116642	1141602	2975				
185	1116587	1141594	2965				
186	1116475	1141440	2959				
187	1116467	1141311	2941				
188	1116507	1141215	2930				
189	1116566	1141105	2921				
190	1116533	1141025	2906				
191	1116541	1140930	2897				
193	1116688	1140920	2901				
194	1116656	1141067	2915				
284	1117552	1140689	2837	EL ROBLE	SANTA LUCIA	20,65	NELLY RIVERA CORREDOR
285	1117373	1140588	2830				
287	1117271	1140761	2852				
288	1117174	1140705	2867				
290	1117060	1140831	2860				
291	1117004	1140796	2861				

PUNTO	GEOREFERENCIA		ASNM	NOMBRE PREDIO	VEREDA	ÁREA Ha	PROPIETARIO
	N	E					
292	1117074	1140672	2842				
293	1116946	1140595	2835				
294	1116775	1140483	2830				
295	1116800	1140284	2811				
296	1116833	1140086	2792				
297	1116839	1140039	2785				
298	1116962	1140054	2787				
299	1116931	1140217	2811				
300	1117000	1140265	2807				
301	1116944	1140407	2822				
302	1117039	1140437	2814				
303	1117066	1140376	2813				
304	1117241	1140484	2819				
305	1117390	1140577	2826				
307	1117252	1140672	2833				
375	1116671	1141053	2923	EL ROBLE	SANTA LUCIA	22,03	Oswaldo Mardoqueo Rivera Corredor
376	1116674	1141045	2914				
377	1116672	1141042	2918				
378	1116682	1141014	2916				
379	1116694	1140950	2904				
380	1116701	1140939	2905				
381	1116703	1140928	2914				
382	1116700	1140922	2912				
383	1116696	1140918	2910				
384	1116774	1140923	2891				
385	1116821	1140925	2884				
386	1116802	1140874	2870				

PUNTO	GEOREFERENCIA		ASNM	NOMBRE PREDIO	VEREDA	ÁREA Ha	PROPIETARIO
	N	E					
387	1116810	1140862	2874				
388	1116815	1140836	2878				
389	1116813	1140830	2878				
390	1116837	1140777	2867				
391	1116851	1140752	2862				
392	1116875	1140681	2855				
393	1116815	1140647	2859				
394	1116753	1140612	2857				
397	1116716	1140596	2859				
398	1116642	1140581	2851				
399	1116557	1140541	2849				
400	1116601	1140467	2842				
401	1116645	1140386	2833				
403	1116512	1140310	2814				
404	1116557	1140240	2815				
405	1116562	1140221	2813				
406	1116561	1140212	2813				
407	1116558	1140192	2811				
408	1116602	1140139	2805				
409	1116637	1140069	2794				
410	1116665	1140006	2785				
411	1116750	1110027	2783				
412	1116840	1140040	2792				
413	1116828	1140120	2803				
414	1116810	1140250	2812				
415	1116796	1140344	2820				
416	1116778	1140467	2835				
417	1116777	1140488	2820				

PUNTO	GEOREFERENCIA		ASNM	NOMBRE PREDIO	VEREDA	ÁREA Ha	PROPIETARIO
	N	E					
418	1116854	1140541	2844				
419	1116939	1140594	2847				
420	1117010	1140630	2852				
421	1117073	1140679	2860				
422	1117014	1140764	2867				
423	1116995	1140814	2877				
424	1116934	1140911	2887				
425	1116887	1140995	2901				
426	1116835	1141083	2912				
427	1116806	1141132	2919				
428	1116719	1141103	2921				
429	1116660	1141084	2926				

486	1117385	1141298	2898	LA FLORIDA	SANTA LUCIA	23,01	RICARDO RIVERA CORREDOR
487	1117443	1141241	2891				
488	1117502	1141176	2879				
489	1117556	1141109	2870				
490	1117611	1141038	2866				
491	1117660	1140978	2862				
492	1117681	1140948	2862				
493	1117640	1140868	2852				
494	1117603	1140810	2849				
495	1117567	1140742	2845				
496	1117502	1140752	2849				
497	1117458	1140824	2853				
498	1117405	1140903	2867				
499	1117361	1140970	2877				
500	1117312	1141038	2855				

PUNTO	GEOREFERENCIA		ASNM	NOMBRE PREDIO	VEREDA	ÁREA Ha	PROPIETARIO
	N	E					
562	1115751	1140925	2884				
563	1115742	1140949	2883				
564	1115794	1141009	2923				
565	1115798	1141018	2925				
566	1115805	1141020	2920				
567	1115829	1140991	2910				
568	1115892	1141022	2920				
569	1115949	1141067	2960				
570	1115954	1141067	2963				
571	1115970	1141076	2954				

572	1116052	1141034	2933	LA CABAÑA	SANTA LUCIA	0,731	PABLO EMILIO NIÑO NIÑO
573	1116088	1140986	2918				
574	1116180	1141039	2923				
575	1116154	1141063	2927				
576	1116167	1141085	2930				
577	1116159	1141106	2936				
578	1116153	1141106	2940				

580	1115708	1140252	2856	EL PEDREGAL	LA ESPERANZA	0,472	PROSPERO MORALES
581	1115705	1140248	2856				
582	1115698	1140217	2854				
583	1115692	1140188	2852				
584	1115692	1140178	2852				
585	1115693	1140170	2852				
586	1115728	1140186	2839				
587	1115754	1140237	2829				

B.

Anexo B: Formato Encuesta

ENCUESTA DE PERSEPCIÓN SOBRE EL CAUDAL DE LA QUEBRADA BOYACOGUA

La presente encuesta tiene como objetivo conocer la percepción de los habitantes del sector en torno a la realidad de la quebrada boyacogua, y específicamente, el comportamiento del caudal de agua de la quebrada en los últimos años.

Señale con una X la respuesta que considere más apropiada, a agradecemos la honestidad que tenga al momento de responder la encuesta

1. vive usted en alguna de las siguientes veredas vive usted?
 La pradera
 La esperanza
 La loma
2. Hace cuanto tiempo que usted vive allí?
 Menos de una año
 Entre 1 y 5 años
 Entre 5 y 10 años
 Entre 10 y 20 años
 Hace más de 20 años
3. Conoce usted la quebrada Boyacogua?
 SI
 NO
4. Conoce usted la plantación de pino que se encuentra sembrada en la parte alta de la quebrada Boyacogua?
 SI
 NO
5. Por el conocimiento que tiene de la quebrada, como cree usted que la plantación de pino puede afectar el caudal de la quebrada.
 Lo afecta negativamente (Disminuye)
 Lo afecta positivamente (Aumenta)
 No lo afecta de ninguna forma
 No sabe/No responde
6. Adicional a la plantación de pino, cuál de las siguientes actividades cree usted que es la que más puede afectar el caudal de agua de la quebrada.
 La agricultura
 La ganadería
 La deforestación
 Las quemas de material vegetal y de basuras
7. Usted considera que en los últimos diez años el caudal de agua de la quebrada ha disminuido?
 SI
 NO
8. Considera usted que se deba desarrollar un programa de cuidado, manejo y conservación de la quebrada Boyacogua?
 SI
 NO
9. En quien considera usted que recae la mayor responsabilidad del cuidado, recuperación y conservación de la quebrada Boyacogua.
 Las autoridades municipales
 Corpoboyaca
 Los habitantes del sector
10. Estaría usted dispuesto a participar de actividades que garanticen la recuperación y conservación de la quebrada Boyacogua?
 SI
 NO

C.

Anexo B: Inventario de especies revegetalización

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	USO POTENCIAL	ALTURA m.s.n.m.
Gaque	Clusia multiflora H.B.K.	La corteza externa exuda una sustancia amarillenta viscosa, la cual se utiliza como cicatrizante y purgante. La madera es empleada en ebanistería, construcción y artesanía. Se puede encontrar en riveras y también se planta a lo largo de ellas para protegerlas.	1800 a 2800 m.s.n.m.
Arrayan (guayabo, de Castilla)	Myrcianthes leucoxylla (Ortega)	Esta especie proporciona alimento a la avifauna. Se puede encontrar como cerca viva y en riberas, donde también se planta para protegerlas. Sus hojas masticadas alivian el dolor de muela.	2400 a 3000 m.s.n.m.
Mortiño nativo	Hasperomeles	Los frutos son consumidos por hombre, la fauna silvestre y la aras y también se planta a lo largo de ellas para su protección.	2600 a 3200 m.s.n.m
Laurel	Myrica parvifolia Benth	Es una especie melífera que proporciona alimento a la avifauna . La cera que producen los frutos es aprovechada industrialemnte. Por ser fijadora de nitrógeno, sirve para recuperación de suelos y control de erosión.	2200 a 3000 m.s.n.m
Sietecueros	Tibouchina lepidota	Es una especie de floración llamativa y abundante. Se puede encontrar en ribera y también se planta a lo largo de ellas para	2000 a 2800 m.s.n.m.

		protegerlas.	
Chusque, garrocho, juco	Viburnum triphyllum	Los frutos son alimento de avifauna, pero son tóxicos para el hombre. Madera de gran resistencia utilizada en la ebanistería y construcción. Se puede encontrar en riberas y también se planta a lo largo de ellas para protegerlas. Se puede emplear como cerca viva y barrera cortavientos.	2400 a 3200 m.s.n.m.
Cucharo, changuelito	Repanea guianensis Aublet	Los frutos son alimento de avifauna. Se pueden encontrar en riberas y también se planta a lo largo de ellas para protegerlas. Es útil para control de erosión.	2000 a 2800 m.s.n.m.
Aliso, Chaquiro, Fresno	Alnus acuminata	Es una especie fijadora de nitrógeno, se encuentra en las riberas y se planta a lo largo de las para su protección.	1700 a 3000 m.s.n.m.
Roble	Quercus humboldtil	Es utilizado en la construcción, ebanistería, poste de cerca y cabos de herramientas< es usada para la producción de carbón de leña. Esta especie se encuentra en las riberas y también se planta a lo largo de ellas para protegerlas . Las semillas son alimento de fauna silvestre. Las ramas jóvenes están cubiertas de vellosidad.	1800 a 3000 m.s.n.m.
Tuno Roso	Axinge macrophyllia (Naudin) Triana	Ornamental, protectora de ronda de ríos y quebradas, melífera y alimneto de la bifauna	2600 a 3500 m.s.n.m.
Mangle	Escallonia	Ornamental, protectora de suelo	2000 a 2900

	pendula L.	y corrientes de agua, alimento de la bifauna y pequeños roedores, utilizada como leña	m.s.n.m.
Ciro, Chilca (o)	Baccharis bogotensis HBK	Es una especie milífera, útil como cerca viva. Se puede emplear para control de erosión. Las ramas jóvenes son rojizas y a menudo, cubiertas por una sustancia blanca resinosa.	1800 a 3000 m.s.n.m.