

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 5
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-04-19
		PÁGINA: 1 de 1

16

FECHA 21 de Junio 2021

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Facatativá
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo de Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Suárez Cortes	Sonia Lizeth	1070959875

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Robledo Buitrago	Daniel Armando
Granda	Hernán Dario

TÍTULO DEL DOCUMENTO

LAS ZONAS CON POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE SILVANIA, CUNDINAMARCA: UNA PROPUESTA PARA EL MANEJO AMBIENTAL

SUBTÍTULO

(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía

Ingeniera Ambiental

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO

NÚMERO DE PÁGINAS

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS
(Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
1 Recarga hídrica	1 Water recharge
2 Recurso hídrico	2 Water resource
3 Conservación	3 Conservation
4 Estrategias	4 Strategies

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Resumen:

Las zonas con potencial de recarga hídrica (ZPRH) son de suma importancia puesto que abastecen las fuentes de agua, por consiguiente, a las poblaciones y a los ecosistemas, este recurso es fundamental para la existencia de la vida en el planeta. La recarga hídrica depende de la precipitación, de la permeabilidad de los suelos, de la escorrentía superficial, del contenido de humedad, del patrón de drenaje de la cuenca y de la pendiente de la superficie (Silva, 2007). Debido a la fragmentación y desarticulación de la información que se presenta en el municipio Sylvania, se hace necesario aplicar una metodología para conocer las ZPRH (zonas con potencial de recarga hídrica), en este caso se utilizará la "Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica" (Mateus, Faustino & Jiménez, 2009), la cual contiene como primera medida la evaluación y definición de la zona de estudio, seguido de esto la identificación de las fuentes de agua y evaluación de elementos como pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo, para realizar un mapa de estas áreas con la ayuda de herramientas SIG y a su vez la caracterización de las mismas, con el fin proponer estrategias y acciones de manejo de las mismas, para evitar la desprotección de la zona y a largo plazo el déficit hídrico, además, el desabastecimiento del recurso hídrico de la población.

Abstract:

The Water Recharge Potential Zones (WRPZ) are of utmost importance since they supply water sources, and these therefore, to populations and ecosystems. This resource is essential for the existence of life on the planet. Water recharge depends on precipitation, soil permeability, surface runoff, moisture content, basin drainage pattern, and surface slope (Silva, 2007). Due to the fragmentation and disarticulation of the information that is presented in the Sylvania municipality, it is necessary to apply a methodology to know the WRPZ (areas with potential for water recharge), in this case the "Guide for the participatory identification of areas with potential for water recharge" (Mateus, Faustino & Jiménez, 2009), which contains mainly the evaluation and definition of the study area, followed by the identification of water sources and evaluation of elements such as slope, type of soil, type of rock, vegetation cover and land use, to make a map of these areas with the help of GIS tools and in turn characterize them. The main objective is to propose strategies and actions for the areas' management, to avoid the lack of protection of the area and in the long term the water deficit, in addition, the shortage of the water resource of the population. The expected results during the development of the different activities proposed in this project are aimed at gathering information related to the availability of water resources in the region through the implementation of the aforementioned tools. This information is intended to be in the public and governmental domain and consolidated as a support for the different authorities in the planning of the development plan of the region, and in this way an efficient management and administration of the water resource in said region can be generated.

FUENTES (Todas las fuentes de su trabajo, en orden alfabético)

- 1 Alcaldía Municipal del Sylvania. (2019). Información del Municipio. Recuperado en: <http://www.sylvaniacundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- 2 Banco Mundial. 2017. El agua en la agricultura. Recuperado en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- 3 Breña, A. y Jacobo, M. 2006. Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. 289 p.
- 4 Brooks, D. 2004. Agua: Manejo a nivel local. Recuperado en <http://ebookcentral.proquest.com/lib/ucundinamarca/detail.action?docID=259182>.
- 5 Cadena, H. 2012. Hablemos de riego. Creadores gráficos. Quito - Ecuador. 43 pp

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública, masiva por cualquier procedimiento, medio físico, electrónico y digital	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional con motivos de publicación, en pro de su consulta, vicivillización académica y de investigación.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. SI___ NO_ **X**___ .

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. Nombre completo del trabajo.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Las zonas con potencial de recarga hídrica en el municipio de Silvania, Cundinamarca: una propuesta para el manejo ambiental.pdf	Texto
2,	
3,	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Suárez Cortes Sonia Lizeth	SONIA SUÁREZ

LAS ZONAS CON POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE
SILVANIA, CUNDINAMARCA: UNA PROPUESTA PARA EL MANEJO AMBIENTAL

SONIA LIZETH SUÁREZ CORTES

TRABAJO DE GRADO

Para obtener el título de Ingeniera Ambiental

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

INGENIERÍA AMBIENTAL

FACATATIVÁ - CUNDINAMARCA

06 DE MAYO DE 2021

LAS ZONAS CON POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE
SILVANIA, CUNDINAMARCA: UNA PROPUESTA PARA EL MANEJO AMBIENTAL

SONIA LIZETH SUÁREZ CORTES

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR:

ING. DANIEL ARMANDO ROBLEDO BUITRAGO

CO-DIRECTOR:

BIÓLOGO. HERNÁN DARIO GRANDA RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

INGENIERÍA AMBIENTAL

FACATATIVÁ - CUNDINAMARCA

06 DE MAYO DE 2021

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por darme la licencia de culminar mi trabajo de grado, por darme sabiduría, fortaleza y paciencia.

A mis padres Miguel Suárez y Blanca Cortes, por su amor infinito, su sacrificio, sus sabios consejos, por ser lo más hermoso que existe en mi vida y por ser mi motivación para seguir.

A mi hermano Mauricio y mi prima Claudia, por su tiempo, información y apoyo.

A mi querido amigo Juan Diego Gómez, por su cariño, sinceridad y respaldo.

Finalmente, a todos los profesores que me apoyaron, Daniel Robledo, Hernán Granda, Ivon Campos, Jhon Jairo Castañeda, Carlos Alarcón, por sus valiosos consejos y paciencia.

A todos muchas gracias.

Esta investigación fue apoyada por la financiación de la Universidad de Cundinamarca, la Gobernación de Cundinamarca y el programa BIO de Min Ciencias Colombia Proyecto "Herramienta geoespacial para la construcción del diagnóstico socioambiental del Plan de Desarrollo Territorial del municipio de Sylvania -Cundinamarca" 63546. Esta financiación fue proporcionada por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, administrado por el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación "Francisco José de Caldas". Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	3
TABLA DE CONTENIDO.....	4
LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2 JUSTIFICACIÓN.....	15
3 OBEJTIVOS.....	17
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4 MARCO REFERENCIAL.....	18
4.1 MARCO CONCEPTUAL.....	18
4.1.1 Cuenca hidrográfica.....	18
4.1.2 Manejo de cuencas.....	18
4.1.3 Ciclo Hidrológico.....	19
4.1.4 Precipitación.....	20
4.1.5 Escorrentía.....	20
4.1.6 Infiltración.....	21
4.1.7 Acuífero.....	22
4.1.8 Recarga y zonas de recarga.....	22
4.2 MARCO LEGAL.....	23
5 METODOLOGÍA.....	26
5.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	26
5.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS CON POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA.....	27
5.3 IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ZPRH Y LOS CONFLICTOS A LOS CUALES SE ENCUENTRAN EXPUESTAS.....	32
5.4 FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS Y ACCIONES DE PROTECCIÓN DE LAS ZPRH EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	33
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
6.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS CON POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA.....	34
6.1.1 Cuencas.....	34
6.1.2 Pendiente y microrrelieve.....	35
6.1.3 Tipo de suelo.....	37
6.1.4 Tipo de roca.....	39

6.1.5	<i>Cobertura vegetal</i>	41
6.1.6	<i>Uso de suelo</i>	43
6.1.7	<i>Determinación de zonas con potencial de recarga hídrica</i>	45
6.2	IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ZONAS CON POTENCIAL DE RECARGA Y CONFLICTOS A LOS QUE SE ENCUENTRAN EXPUESTAS.....	48
6.2.1	<i>Zona central y oriental</i>	48
6.2.2	<i>Zona occidental</i>	50
6.3	ESTRATEGIAS Y ACCIONES DE PROTECCIÓN DE LAS ÁREAS CON POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	52
6.3.1	<i>Estrategias y acciones de protección</i>	53
7	CONCLUSIONES	65
8	REFERENCIAS	66
9	ANEXOS	75
9.1	MÉTODO SAATY.....	75
9.2	FOTOGRAFÍAS DE VISITAS A CAMPO.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según tipo de pendiente y microrrelieve	29
Tabla 2. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según la textura	29
Tabla 3. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca.....	29
Tabla 4. <i>Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal</i>	30
Tabla 5. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso de suelo	30
Tabla 6. Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto	32
Tabla 7. Porcentaje del área de pendiente y microrrelieve	36
Tabla 8. Porcentaje de área de textura.....	38
Tabla 9. Porcentaje de área de tipo de roca.....	40
Tabla 10. Porcentaje de área de cobertura vegetal	42
Tabla 11. Porcentaje de área de uso de suelo.....	44
Tabla 12. Porcentaje de área de recarga hídrica	47
Tabla 13. Estrategia de cercas vivas	54
Tabla 14. Estrategia de cultivos en fajas alternas.....	56
Tabla 15. Etrategia de cortinas rompevientos	57
Tabla 16. Estrategia zanjas de infiltración	59
Tabla 17. Estrategia de capacitación	61
Tabla 18. Estrategia Articulación con PRAE'S	62
Tabla 19. Estrategia implemetación de PROCEDA a nivel veredal	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico	20
Figura 2. Mapa de ubicación municipio de Silvania.	26
Figura 3. Pasos para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.....	28
Figura 4. Delimitación de cuencas	35
Figura 5. Mapa de pendiente y microrrelieve	37
Figura 6. Mapa de tipo de textura	39
Figura 7. Mapa de tipo de roca.....	41
Figura 8. Mapa de cobertura vegetal	43
Figura 9. Mapa de usos de suelo	45
Figura 10. Mapa de zonas de recarga hídrica.....	48
Figura 11. Fotografía de galpones en el municipio.	50
Figura 12. Fotografía de area natural protegida en el municipio.	51

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ZPRH	Zonas con potencial de recarga hídrica
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
SIAC	Sistema de Información Ambiental de Colombia
SIG	Sistemas de Información Geográfica
FAO	Food and Agriculture Organization
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
DEM	Modelo de Elevación Digital
PBOT	Plan Básico de Ordenamiento Territorial
SST	Sólidos Suspendidos Totales
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno

RESUMEN

Las zonas con potencial de recarga hídrica (ZPRH) son de suma importancia puesto que abastecen las fuentes de agua, por consiguiente, a las poblaciones y a los ecosistemas, este recurso es fundamental para la existencia de la vida en el planeta. La recarga hídrica depende de la precipitación, de la permeabilidad de los suelos, de la escorrentía superficial, del contenido de humedad, del patrón de drenaje de la cuenca y de la pendiente de la superficie (Silva, 2007). Debido a la fragmentación y desarticulación de la información que se presenta en el municipio Sylvania, se hace necesario aplicar una metodología para conocer las ZPRH (zonas con potencial de recarga hídrica), en este caso se utilizará la “Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica” (Matus, Faustino & Jiménez, 2009), la cual contiene como primera medida la evaluación y definición de la zona de estudio, seguido de esto la identificación de las fuentes de agua y evaluación de elementos como pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo, para realizar un mapa de estas áreas con la ayuda de herramientas SIG y a su vez la caracterización de las mismas, con el fin proponer estrategias y acciones de manejo de las mismas, para evitar la desprotección de la zona y a largo plazo el déficit hídrico, además, el desabastecimiento del recurso hídrico de la población. Los resultados esperados al desarrollar las diferentes actividades propuestas en este proyecto están encaminadas a recabar la información relacionada con la disponibilidad del recurso hídrico en la región por medio de la implementación de las herramientas mencionadas, con la finalidad de que esta información sea de dominio público y gubernamental y se consolide como un apoyo para las diferentes autoridades en la planificación del plan de desarrollo de la región, y de esta forma se pueda generar una gestión y administración eficiente del recurso hídrico en dicha región.

Palabras clave: Recarga hídrica, recurso hídrico, conservación, estrategias.

ABSTRACT

The Water Recharge Potential Zones (WRPZ) are of utmost importance since they supply water sources, and these therefore, to populations and ecosystems. This resource is essential for the existence of life on the planet. Water recharge depends on precipitation, soil permeability, surface runoff, moisture content, basin drainage pattern, and surface slope (Silva, 2007). Due to the fragmentation and disarticulation of the information that is presented in the Sylvania municipality, it is necessary to apply a methodology to know the WRPZ (areas with potential for water recharge), in this case the “Guide for the participatory identification of areas with potential for water recharge ”(Mateus, Faustino & Jiménez, 2009), which contains mainly the evaluation and definition of the study area, followed by the identification of water sources and evaluation of elements such as slope, type of soil, type of rock, vegetation cover and land use, to make a map of these areas with the help of GIS tools and in turn characterize them. The main objective is to propose strategies and actions for the areas’ management, to avoid the lack of protection of the area and in the long term the water deficit, in addition, the shortage of the water resource of the population. The expected results during the development of the different activities proposed in this project are aimed at gathering information related to the availability of water resources in the region through the implementation of the aforementioned tools. This information is intended to be in the public and governmental domain and consolidated as a support for the different authorities in the planning of the development plan of the region, and in this way an efficient management and administration of the water resource in said region can be generated.

Keywords: Water recharge, water resource, conservation, strategies.

INTRODUCCIÓN

Día a día la humanidad se hace consciente de los problemas a los que se encuentran expuestos los recursos naturales; la escases del agua para abastecimiento humano, debido a varios factores como cambios en los regímenes de la precipitación, la degradación de los suelos por uso inadecuado de la tierra y merma de la cobertura vegetal, son algunos de los problemas que generan una crisis a nivel mundial, se hace más evidente la proporción del problema teniendo en cuenta que los recursos agua, suelo y bosque están estrechamente ligados (Rodríguez & Lugo, 2014).

Según FAO (2015) Colombia tiene un promedio anual de precipitación estimado de 3240 mm, equivalente a 3 700 km³. De esta cantidad, el 58 % se transforma en escorrentía superficial, la cual equivale a un caudal medio de 2145 km³/año o 1879 mm/año, es decir, estaría cerca de 60 l/s por km², lo cual sitúa a Colombia como uno de los países con mayor oferta hídrica natural en el mundo, el país cuenta con cinco áreas hidrográficas, la cuenca del Amazonas proporciona a este caudal total con el 35%, la Orinoco con 28%, la Magdalena-Cauca con 14%, la Pacífico con 14% y el Caribe con 8%. El desarrollo y crecimiento del país en los últimos tiempos puede generar una demanda de agua potable que puede rebasar la disponibilidad del recurso hídrico, los sectores agrícolas son los que más demandan uso de este recurso, por esta razón es importante realizar estudios de identificación de zonas con potencial de recarga hídrica, para evitar el desabastecimiento y darle un aprovechamiento sostenible al recurso hídrico (Chamorro, 2016).

Para lograr la identificación de estas zonas, se utilizan herramientas que permiten la generación de mapas de caracterización, ya que, según Matus, Faustino & Jiménez (2009) un mapa es una ilustración gráfica de una superficie la cual es usada con el fin de conocer de una

mejor manera el entorno; asimismo, se considera una fuente significativa de información acerca de los diferentes manejos que se dan en el territorio a evaluar. Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema que describe y categoriza la Tierra y otras geografías, permite evidenciar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente, por medio de mapas principalmente (ESRI, 2013). Los SIG permiten la articulación de la información para generar bases de datos con las características de la zona de estudio y proporcionan evidencia de las ZPRH identificadas. Con los resultados obtenidos se pretende organizar la información para que dichas zonas puedan ser localizadas por la comunidad y la administración municipal y de esta manera se establezcan las estrategias y acciones que estén encaminadas en el manejo sostenible y la protección del recurso hídrico.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las fuentes hídricas actualmente se encuentran expuestas a una tensión sin precedentes en todo el mundo. Con el aumento de la población y con las prácticas actuales, la población mundial afrontará una escasez del 40 % entre la demanda y la disponibilidad del agua en 2030 (WWAP, 2019). Hoy en día, el 70 % del agua que se extrae en el mundo se usa para la agricultura (Banco Mundial, 2017). El crecimiento poblacional genera que la producción agrícola se extienda, de la misma forma, el requerimiento de agua se incrementa generando un uso incorrecto de ecosistemas y zonas de abastecimiento del recurso hídrico con la aplicación de algunas prácticas agrícolas degradando así las áreas de recarga y potencializando la escasez del agua para la población. Teniendo en cuenta lo planteado por Zamudio (2012) en la última década ha nacido un nuevo término, la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, este surge para dar solución a los interrogantes sobre la crisis del agua (generada por el aumento de la población y la contaminación) se enfoca en que las medidas necesarias para proteger los recursos hídricos, además de como conservarlos, utilizarlos, asignarlos y conservarlos, pertenecen al gobierno, por lo tanto, se sugiere que la verdadera crisis del agua es una crisis de gobernabilidad.

Según el Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial de la Republica de Colombia (2010), por su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. Sin embargo, cuando se considera en detalle que la población y las actividades socioeconómicas se ubican en regiones con baja oferta hídrica, que existen necesidades hídricas insatisfechas de los ecosistemas y que cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua, se concluye que la disponibilidad del recurso es cada vez menor. Otro problema presente en el país es el desconocimiento de la documentación, sistematización,

análisis, evaluación o divulgación de las diferentes formas de gobierno encargadas de las cuencas hidrográficas del país, no se conoce de manera efectiva la administración de los acueductos, los sistemas que operan en los distritos de riego y tampoco se reconocen las múltiples ilegalidades que afectan el acceso y disponibilidad del agua en el país (Zamudio, 2012). Ocurre lo mismo en el municipio de Silvania, el cual tiene un problema de fragmentación de la información, acerca de las ZPRH y del manejo del recurso hídrico en el municipio que se enuncia en el documento: Herramienta geoespacial para la construcción del diagnóstico socioambiental del Plan de Desarrollo Territorial del municipio de Silvania -Cundinamarca, por lo que se hace necesario implementar las herramientas que permitan la localización e identificación de estas zonas para conocer sus características e implementar las estrategias de conservación y protección de las mismas, las cuales se generarán con los resultados de este proyecto, permitiendo a la administración municipal y a la comunidad conocer el estado del recurso hídrico en el municipio. En este sentido, la pregunta de la investigación es: ¿Cuáles son las zonas con potencial de recarga hídrica en el municipio de Silvania?

2 JUSTIFICACIÓN

La importancia de este proyecto radica principalmente en la necesidad de la comunidad y la administración municipal de identificar las zonas con potencial de recarga hídrica del municipio de Sylvania, por medio de la generación de un mapa de localización e identificación que proporcione las características de la zona, el estado actual y el manejo que se le debe dar posteriormente.

El Plan Nacional de Desarrollo (2018-2022) define los esquemas de gestión y supervisión apropiados al tamaño y condiciones determinadas de cada sistema, cubriendo desde la gobernanza comunitaria hasta agrupaciones regionales, teniendo en cuenta los recursos privados y públicos (Planeación, 2018). En este contexto, el presente proyecto, se relaciona con los Objetivos de Desarrollo Sostenible que fueron propuestos en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en Río de Janeiro en 2012, los cuales son un grupo de objetivos mundiales que se relacionan con los desafíos ambientales, políticos y económicos a los que se enfrenta el mundo actualmente, particularmente el objetivo 6: *Agua limpia y saneamiento*, del cual una de las metas según la Naciones Unidas es “proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos”, ya que el 80% de las aguas residuales se vierte sin ningún tratamiento en ríos y océanos (Naciones Unidas, 2012), afectando el recurso hídrico y generando desabastecimiento para la población. En lo que se refiere al cambio climático el objetivo 13: *Acción por el clima*, tiene relación directa con la recarga hídrica puesto que es uno de los factores que la afecta, este objetivo busca fomentar mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en lo relacionado con el cambio climático en los países menos adelantados, comunidades locales y marginadas, cabe resaltar que el municipio

de Sylvania fue golpeado por el conflicto armado, lo cual afectó la protección y el manejo de los recursos naturales causando la poca participación de la comunidad en la planificación de los planes de desarrollo territorial del municipio.

3 OBEJTIVOS

3.1 Objetivo general

- Identificar las zonas con potencial de recarga hídrica dentro del municipio de Sylvania.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar las ZPRH con base en variables como pendiente y microrrelieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo.
- Identificar el estado actual de las zonas determinadas como con potencial de recarga hídrica y los conflictos a los cuales se encuentran expuestas.
- Formular estrategias y acciones de protección de las áreas con potencial de recarga hídrica en la zona de estudio.

4 MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 Cuenca hidrográfica

El área de un territorio delimitada por una línea divisora de aguas, corresponde a una cuenca hidrográfica, está conformada por un sistema hídrico que conduce sus aguas a un río principal, a un lago o a un mar. La conformación de una cuenca integra varias interacciones, por ejemplo, la cobertura en el territorio, las profundidades del suelo y el área que compone la divisoria de aguas (World Vision, 2004).

En la cuenca hidrográfica se hallan recursos naturales, cada cuenca tiene una condición natural, por ejemplo, existen cuencas áridas, cuencas tropicales, cuencas húmedas y cuencas frías; también se encuentra las construcciones que el hombre ha establecido, allí las personas desarrollan sus actividades económicas y sociales, ya que según su objetivo o vocación, cada cuenca puede ser utilizada por el hombre para hidroenergéticas, agua para uso de la población, para riego de cultivos, agua para navegación, ganaderas, hortícolas y municipales. En el mundo no existe ningún lugar que no corresponda a una cuenca hidrográfica (World Vision, 2004).

4.1.2 Manejo de cuencas

Según Silva (2007), una forma de resumir el concepto de manejo de cuencas hidrográficas es afirmar que, son todas las acciones técnicas coordinadas, integrales y participativas para manejar, aprovechar y conservar los recursos naturales presentes en las cuencas hidrográficas propendiendo por el balance entre equidad social, sostenibilidad de los ecosistemas y desarrollo económico. Otra definición es la de Faustino & Jiménez (2000) quienes afirman que el manejo

de cuencas se puede considerar como una ciencia, que tiene como objetivo conseguir el uso apropiado de los recursos naturales siempre en función de las actividades antrópicas y de las necesidades de la población, favoreciendo de la misma forma la sostenibilidad, la calidad de vida, el desarrollo, y el equilibrio medioambiental.

4.1.3 Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico (figura 1), se refiere al grupo de cambios que presenta el agua en la naturaleza, en sus tres estados (líquido, sólido y gaseoso) y en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.). Al igual que los demás ciclos, el hidrológico no tiene ni principio ni fin; el agua de la superficie terrestre ríos, lagos y mares, se evapora por el efecto del viento y la radiación solar, seguido de esto el vapor que resulta es transportado por el aire en movimiento, según condiciones específicas el vapor se condensa generando nubes, las cuales ocasionan precipitaciones que caen hacia la tierra. Mientras se precipita el agua puede volverse a evaporar o ser capturada por plantas, luego se mueve sobre la superficie hasta las corrientes de agua o se produce infiltración, el agua que se infiltra compensa la humedad del suelo y provee los depósitos subterráneos, el restante que se mantiene en la capa vegetal del suelo retorna a la atmósfera por transpiración (Villón, 2004).

Figura 1. Ciclo hidrológico

Nota:



Fuente: Faustino, 2006

4.1.4 Precipitación

Según Castany (como se citó en Silva, 2007) es posible afirmar que la precipitación se define como la suma de agua meteórica total, líquida o sólida, que cae sobre un terreno horizontal, conocido como sección pluviométrica. En general, es la superficie colectora del pluviómetro. Las precipitaciones son el conjunto de las aguas meteóricas interceptadas por una cuenca vertiente o una zona determinada, puede tener forma líquida (lluvia, niebla, rocío) o sólida (nieve, granizo, escarcha).

4.1.5 Escorrentía

Para Silva (2007), la cantidad de agua que supera la capacidad de infiltración se denomina escorrentía. Cuando el exceso de precipitación es mayor a la capacidad de almacenamiento del suelo, se produce el movimiento del agua en sentido longitudinal de la

pendiente (aguas abajo), esta cantidad de agua se filtra hacia los arroyos, quebradas, ríos, lagos y océanos. De acuerdo con Villón (como se citó en Silva, 2007) el escurrimiento se clasifica en tres tipos: escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo, cada uno depende de la zona de la cual proviene.

4.1.6 Infiltración

Es la entrada vertical descendente de la precipitación por medio de la superficie de un suelo no saturado con agua (Chamorro, 2016). Una parte de la lluvia se infiltra, otra se mueve por la superficie y una parte más pequeña queda en charcos, que finalmente se evapora o se infiltra, se debe tener en cuenta que solamente una fracción de agua posee el potencial de infiltración, es la que alcanza a llegar a la superficie del suelo y también la que es retenida por las plantas (Schosinsky & Losilla, 1999).

4.1.6.1 Factores de la infiltración

La recarga de un acuífero cambia dependiendo de la permeabilidad del suelo y de los otros materiales que intervienen en la percolación, con el fin de alcanzar la zona de saturación. La oportunidad de infiltrar obedece a las características del suelo, en cuanto al tamaño de sus partículas y la textura (Cadena, 2012).

Otro factor de infiltración importante es la pendiente, Schosinsky & Losilla (2000) donde se determina que el coeficiente de infiltración aparente se reduce en 0,04 al moverse de pendientes del terreno entre 2 y 7% a mayores de 7%; es decir, que los sitios con inclinaciones altas o fuertes acrecientan la velocidad de la escorrentía, cambiando las características del suelo, la recarga y susceptibilidad a la erosión, por otro lado, las áreas con pendientes menores

disminuyen el movimiento del agua y haciendo que permanezca por más tiempo en contacto con el suelo, de esta manera se favorece el proceso de recarga o infiltración.

4.1.7 Acuífero

Brooks (2004), manifiesta que los acuíferos son capas geológicas con contenido de agua, ésta fluye por medio de las fracturas de las capas o poros del suelo subterráneo, que pueden estar constituídos por arenas o gravas. El agua fluye paulatinamente entre los estratos más hondos del subsuelo. Además, se pueden extender por distancias bastante grandes, desde las zonas con mayor precipitación hasta los manantiales, en donde brotan a la superficie, son de gran importancia ya que proveen agua, sin embargo, están en peligro por la presencia de actividades antrópicas.

4.1.8 Recarga y zonas de recarga

Se le llama recarga al proceso mediante el cual el agua se incorpora un acuífero, se produce a través de varias fuentes: de la precipitación, de las aguas superficiales y por transferencias de otro acuífero. Existen variadas técnicas para evaluarla, entre las que se destacan los balances hidrológicos, el seguimiento de trazadores ambientales o artificiales (químicos e isotópicos), la evaluación del flujo subterráneo y las técnicas empíricas son las más frecuentes (Carrica & Lexow, 2004). La zona donde ocurre la recarga se denomina zona de recarga (INAB, 2005b). Las zonas de mayor recarga son de gran importancia y se deben conservar, tanto en sus condiciones de permeabilidad, las cuales afectan la extensión de la recarga, como en actividades que generen contaminación y produzcan una afectación al acuífero deteriorando la calidad de sus aguas. La mayor parte del agua que proviene de la lluvia es de origen orogénico, las montañas y

zonas altas, esencialmente si su suelo y subsuelo son permeables, gracias a su mayor persistencia de precipitación, son zonas de recarga de importancia alta (Losilla, 1986).

4.1.8.1 Factores que afectan la recarga

Según INAB (2003) los factores que afectan la recarga hídrica en mayor medida son el clima, el suelo, la topografía, la cobertura vegetal y el escurrimiento, debido a que según las características de cada elemento se afecta el proceso de infiltración o recarga, por ejemplo, en suelos compactos el agua no se filtra con facilidad, en lo referente a la pendiente, la recarga se beneficia en planicies, ya que el agua está más tiempo en contacto con el suelo. El factor de la cobertura vegetal minimiza la escorrentía favoreciendo el proceso de recarga.

4.2 MARCO LEGAL

El Código de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente (Decreto Ley 2811 del 18 de diciembre de 1974) el cual se fundamenta en los siguientes tres objetivos: “1. Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de estos y la máxima participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional. 2. Prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos. 3. Regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la administración pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales renovables y las relaciones que surgen del aprovechamiento y conservación de tales recursos y de ambiente.” (Presidente de la Republica de Colombia, 1974).

Política Nacional para la gestión integral del Recurso Hídrico, de la cual su objetivo general es “Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.” (Ministerio de Ambiente, 2010).

Decreto 1541 de 1978 reglamentación de la parte III del libro II del Código de Recursos Naturales, referente a la cantidad y manejo de las aguas, en la cual se reglamenta El dominio de las aguas, cauces y riberas, y las normas que rigen su aprovechamiento sujeto a prioridades, en orden a asegurar el desarrollo humano, económico y social, con arreglo al interés general de la comunidad (Ministerio de Agricultura, 1978).

El Programa para el uso eficiente y ahorro del agua establecido en la Ley 373 del 6 de junio de 1997. El cual decreta: “Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.” (Congreso de Colombia, 1997).

El acuerdo No. 22 de octubre 31 de 2000. Por el cual se adopta: “el Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipal, se definen los usos del suelo para las diferentes zonas de los sectores rural y urbano, se establecen las reglamentaciones urbanísticas correspondientes y se plantean los planes complementarios para el futuro desarrollo territorial del municipio” (Concejo Municipal De Sylvania, 2000).

Ley 99 de 1993. Por la cual: “se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones” (Congreso de la Republica, 1993).

Decreto 1076 de 2015. “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

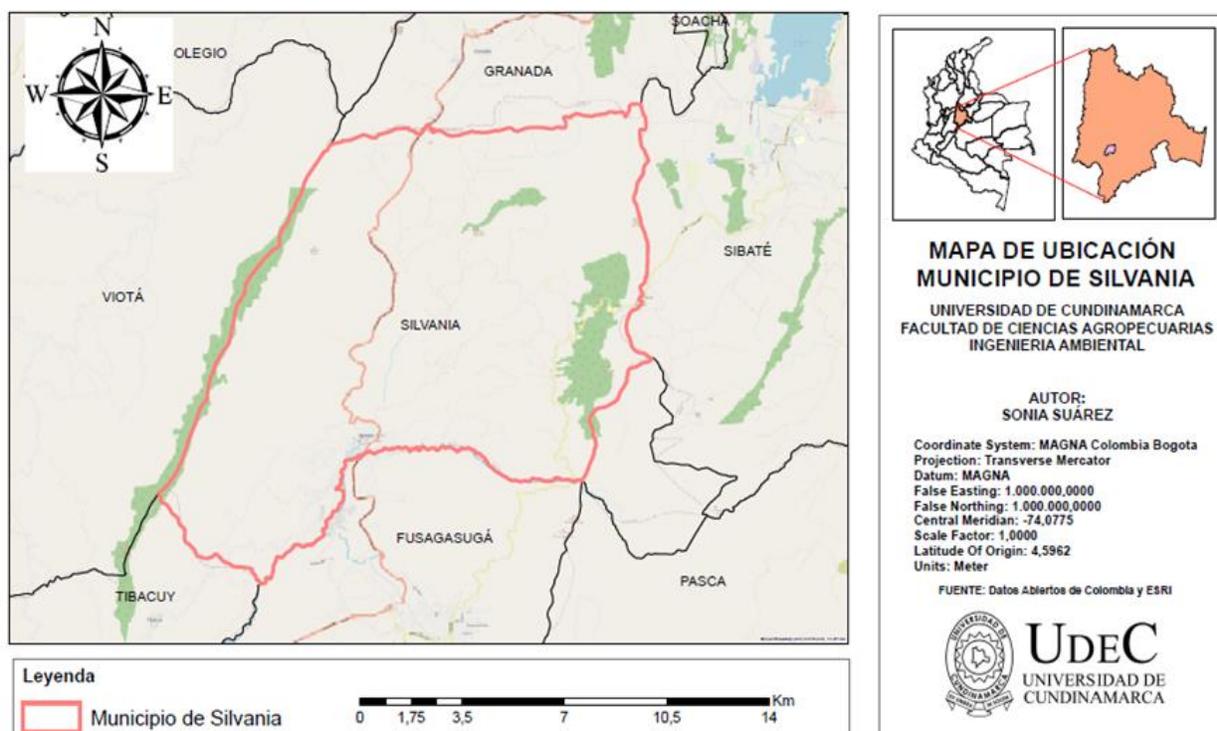
Resolución 2833 de 2008. Por la cual “se establecen los objetivos de calidad para la cuenca del río Sumapaz, a lograr en el año 2020” (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, 2008).

5 METODOLOGÍA

5.1 Área de estudio

El presente proyecto se realizó en el municipio de Silvania – Departamento de Cundinamarca, el cual se encuentra ubicado en la provincia del Sumapaz, el municipio cuenta con una superficie total de 163 km², una densidad de 135,09 hab/ km², su población es de 22.020 habitantes, cuenta con una altitud promedio de 1470 m.s.n.m. y una temperatura de 20 °C. El municipio posee una vocación netamente agrícola y pecuaria, ocupando la primera un 18,7% del territorio del municipio y la segunda un 39,6%. El café, la mora y el tomate de árbol son los principales productos, la vía más importante es la panamericana (Alcaldía Municipal de Silvania, 2019). En la figura 2 se aprecia la ubicación del municipio.

Figura 2. Mapa de ubicación municipio de Silvania.



Nota: Fuente: autoría propia

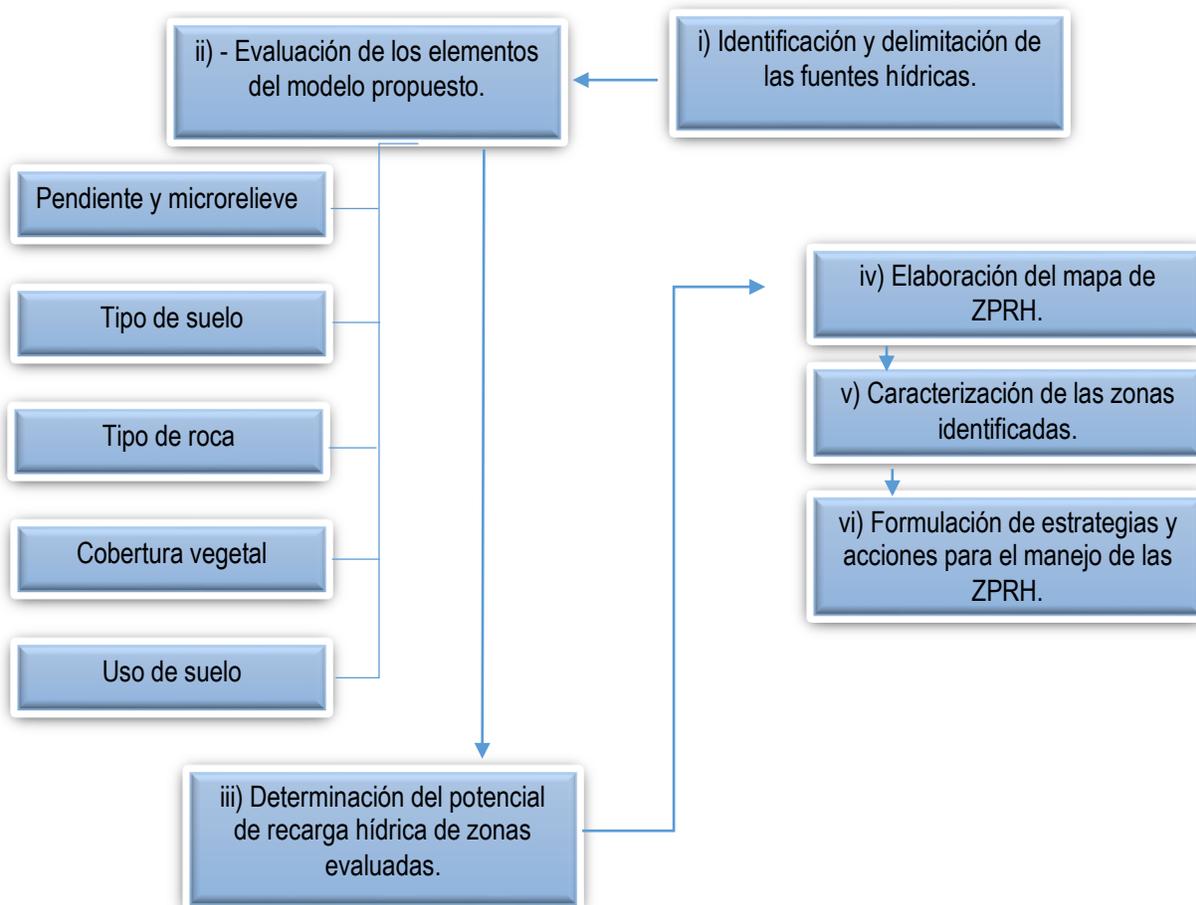
5.2 Identificación de las zonas con potencial de recarga hídrica

Se identificaron y delimitaron las fuentes hídricas del municipio, se realizó por medio de un modelo de elevación digital (DEM), obtenido de la plataforma EarthData, su procesamiento se hizo con las herramientas de Hidrología en el software ArcGis, para obtener como resultado un mapa de delimitación de la ronda hídrica.

Se evaluaron las variables de: pendiente y microrrelieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo, para ello se utilizó información secundaria, la cual fue recolectada en bases de datos como: Datos Abiertos de Colombia, Geoportal IDEAM, Geoportal del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC), estos portales permiten la visualización, consulta y descarga de información en diferentes formatos como, tablas, vectores (shapefile), ráster (imágenes satelitales), entre otros, los cuales permiten realizar un análisis de la información, características de varios datasets (capas) en uno, este tipo de análisis, permite buscar ubicaciones o áreas específicas que tienen un determinado conjunto de valores de atributos, esto es, que concuerdan con los criterios que se especifican. Usualmente, se emplea este enfoque para establecer las ubicaciones que son convenientes para un uso en específico o que son proclives a algún riesgo. Por ejemplo, se superpondrían las capas de tipo de vegetación, pendiente, orientación, humedad del suelo, etc., para buscar las áreas expuestas a incendios (ESRI, 2016), para este caso se utilizan las capas para determinar las ZPRH en el municipio. El elemento de cobertura vegetal se evaluó por medio de la metodología CORINE Land Cover, la cual tiene como objeto, caracterizar, describir, clasificar y comparar los diferentes tipos de cobertura de la tierra, es interpretada a partir del uso de imágenes satelitales con el fin de construir el mapa de cobertura a diferentes escalas (IDEAM, 2010). Seguido de esto, se implementó la Guía para la identificación participativa de zonas con

potencial de recarga hídrica, basada en la formulada por Oscar Matus, Jorge Faustino y Francisco Jiménez del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, en la División de Investigación y Desarrollo (2007), la cual se adaptó a las condiciones del territorio y disponibilidad de información, esta guía consta de 6 pasos representados en la figura 3. La ponderación que se utilizó en la evaluación de cada elemento está comprendida de 1 a 5, donde 1 corresponde al valor más bajo (características menos favorables para que ocurra la recarga hídrica). En las tablas 1 a 5, se detalla la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica para cada elemento.

Figura 3. Pasos para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica



Nota: Fuente: Matus, Faustino & Jiménez (2007).

Tabla 1. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según tipo de pendiente y microrrelieve

Microrrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad de recarga	Ponderación
Plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 - 6	Muy alta	5
Moderadamente ondulado o cóncavo	6 - 15	Alta	4
Ondulado/cóncavo	15 - 45	Moderada	3
Escarpado	45 - 65	Baja	2
Fuertemente escarpado	> 65	Muy baja	1

Nota: Fuente: Silva (2007)

Tabla 2. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según la textura

Textura	Posibilidad de recarga	Ponderación
Suelos francos arenosos a arenosos, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios, con muy rápida capacidad de infiltración (más de 25 cm/h)	Muy alta	5
Suelos francos, con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración (12,7 - 25 cm/h)	Alta	4
Suelos franco limosos, con partículas de tamaños medio a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 - 12,7 cm/h)	Moderada	3
Suelos franco arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0,13 - 2 cm/h)	Baja	2
Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menos de 0,13 cm/h)	Muy baja	1

Nota: Fuente: Silva (2007)

Tabla 3. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca

Tipo de roca	Posibilidad de recarga	Ponderación
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos, con macroporos interconectados; por ejemplo, arena gruesa, piedra pómez, grava o cascajo.	Muy alta	5

Rocas permeables, suaves, constituidas por cristales o agregados medianos, con poros interconectados; por ejemplo, arena fina o arenisca con poca cementación.	Alta	4
Rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular conexión entre poros.	Moderada	3
Rocas poco permeables, un poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, con presencia de fracturas interconectadas; por ejemplo, la combinación de gravas con arcillas.	Baja	2
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactada, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas.	Muy baja	1

Nota: Fuente: Silva (2007)

Tabla 4. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal

Cobertura vegetal permanente (%)	Posibilidad de recarga	Ponderación
> 80	Muy alta	5
70 - 80	Alta	4
50 - 70	Moderada	3
30 - 50	Baja	2
< 30	Muy baja	1

Nota: Fuente: Silva (2007)

Tabla 5. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso de suelo

Uso del suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua	Moderada	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy baja	1

Nota: Fuente: Silva (2007)

Se determinó el potencial de recarga hídrica de las zonas evaluadas empleando la ecuación 1, planteada por Silva (2007), se utilizó la herramienta de Calculadora de Campo, en el software ArcGis para la resolución de esta ecuación, de esta forma se obtuvo la información que permitió realizar el análisis geográfico del área.

Ecuación 1. Zonas de recarga

$$ZR = [0,27 (Pend) + 0,23 (Ts) + 0,12 (Tr) + 0,25(Cve) + 0,13 (Us)]$$

Donde:

Pend: Pendiente y microrelieve

Ts: Tipo de suelo

Tr: Tipo de roca

Cve: Cobertura vegetal permanente

Us: Usos de suelo

Esta ecuación, consta de unos valores numéricos o pesos finales para cada elemento, que fueron determinados específicamente para el caso del municipio de Silvania, ya que cuenta con condiciones particulares para las variables que se evaluaron con anterioridad, estos pesos finales de la ecuación fueron hallados por medio del Proceso Analítico Jerárquico o Método Saaty, el cual es una teoría de medición relativa de criterios, se realiza mediante la comparación por pares de elementos, basándose en una escala de prioridades, que permite darle un valor numérico a cada comparación pareada dependiendo de su importancia relativa, permitiendo generar una priorización o peso final para cada elemento (Saaty, 2014).

Para este caso, se realizó la comparación por pares de las variables de pendiente y microrrelieve, tipo de roca, tipo de suelo, cobertura vegetal y uso de suelo, asignándole un valor numérico a cada una, según la importancia que presenta en el proceso de identificación de las ZPRH. La escala numérica se divide en dos partes, la primera mide una importancia mayor, va de 1 a 9 y la segunda mide una importancia menor, va de 1/2 a 1/9. Seguido de esto, se efectuó la valoración y la priorización de cada elemento, según el resultado de la comparación realizada, así se obtuvo el peso final, el cual se utilizó en la ecuación 1 para determinar las ZPRH. En el Anexo 1, se puede evidenciar la hoja de cálculo con el método de medición Saaty diligenciado y las ponderaciones para cada factor obtenidas.

Finalmente, el resultado obtenido después de implementar la ecuación 1, se clasifica dependiendo de un rango de posibilidades de recarga hídrica que se evidencia en la tabla 6, para así obtener el mapa de ZPRH del municipio.

Tabla 6. *Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto*

Posibilidad de recarga	Rango
Muy alta	4,1 - 5
Alta	3,5 - 4,09
Moderada	2,6 - 3,49
Baja	2 - 2,59
Muy baja	1 - 1,99

Nota: Fuente: Silva (2007)

5.3 Identificación del estado actual de las ZPRH y los conflictos a los cuales se encuentran expuestas.

Con el apoyo de imágenes satelitales se identificaron las problemáticas ambientales a las que se encuentran expuestas las ZPRH identificadas en el municipio, por ejemplo, áreas de cultivos, ganadería, etc. Para validar esta información, se realizó la visita a estas zonas, con el fin

de conocer su estado actual, la verificación en campo se realizó en dos visitas, la primera el día 20 de marzo y la segunda el día 17 de abril del 2021, teniendo en cuenta que hay zonas inaccesibles por la cobertura vegetal que poseen o por ser terrenos privados, se tomaron fotografías (anexos 2) como evidencia, estas permiten el análisis de los hallazgos.

5.4 Formulación de estrategias y acciones de protección de las ZPRH en la zona de estudio.

Teniendo en cuenta el alto nivel de importancia de las zonas con potencial de recarga hídrica se formularon estrategias y acciones que motiven el cuidado, la protección, la conservación y la apropiación de estas por parte de la comunidad. En la formulación de estrategias para el manejo de dichas zonas se consideraron aspectos como, el contexto físico, refiriéndose a las características físicas de la zona y el contexto del manejo, relacionado con las actividades de manejo que se han dado o se están dando en las zonas de recarga. Lo anterior se usó como referencia para el proceso de organización de las estrategias y acciones de manejo, ordenamiento y gestión de las zonas de recarga hídrica. Se plantearon estrategias estructurales y no estructurales, cada una comprende una ficha que indica: nombre de la estrategia, beneficios ambientales, descripción o establecimiento, costo aproximado y diseño, lo anterior con el fin de facilitar su comprensión por parte de la comunidad.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Identificación de las zonas con potencial de recarga hídrica

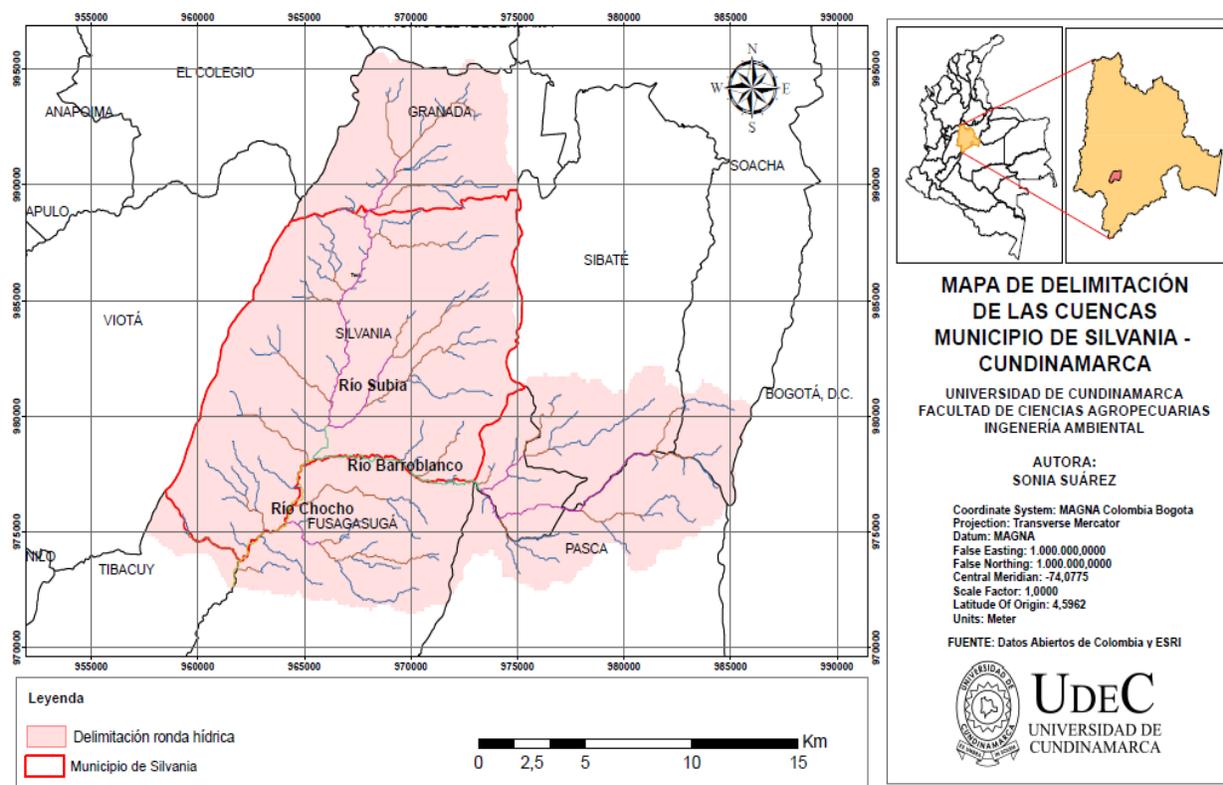
6.1.1 Cuencas

Según el PBOT del municipio de Silvania (Plan Básico de Ordenamiento Territorial) (2000) los ríos principales del territorio municipal son el Río Chocho o Panches, el Río Barroblanco y el Río Subia, además cuenta con una red de microcuencas, se caracterizan por tener cursos surcados de grandes piedras que en algunas áreas forman corrientes fuertes, pero también presentan zonas con remansos que invitan al descanso; el municipio se ubica en subcuenca del río Panches, que se encuentra en la subzona hidrográfica del Río Sumapaz, comprendida en la zona hidrográfica del alto Magdalena que a su vez conforman el área hidrográfica del Magdalena – Cauca (IDEAM, 2010).

Desde un modelo digital de elevación DEM, se realizó la delimitación de las cuencas del municipio (Figura 4), utilizando las herramientas de Hidrología del software ArcGis, que permiten modelar el flujo de agua a través de una superficie. En campos como la planificación regional, la agricultura y la silvicultura, la información acerca de la forma de la superficie del terreno es muy útil, puesto que es necesario entender el flujo del agua a través de un área y como los cambios que se presentan lo pueden afectar (ESRI, 2016).

Es importante mencionar que el municipio comparte estas fuentes hídricas con los municipios de Sibate, Granada y Fusagasugá lo cual puede generar contaminación por parte de estos (PBOT, 2000), es necesario articular e integrar las estrategias y acciones de conservación con los demás actores que puedan ocasionar alguna afectación sobre estas importantes fuentes de abastecimiento para la comunidad.

Figura 4. Delimitación de cuencas



Nota: Fuente: autoría propia, con base en datos de: Geoportal IDEAM.

6.1.2 Pendiente y microrrelieve

Se determinaron pendientes que están dentro de un rango de 0% a mayor de 65% de inclinación, por su parte, el microrrelieve se clasificó desde fuertemente escarpado a plano, con o sin rugosidad, en la tabla 7, se señala el área en hectáreas y el porcentaje de cobertura de pendiente y microrrelieve en el municipio, se evidencia que los terrenos con pendiente entre 45%

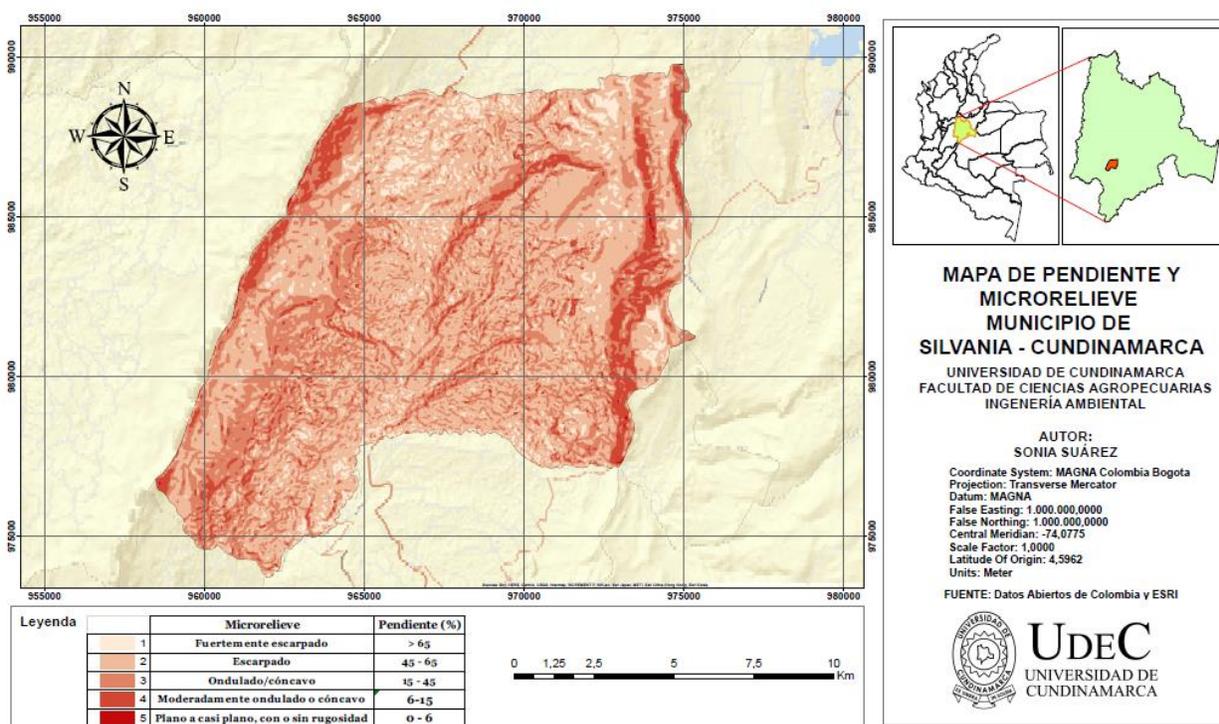
y 65% (microrrelieve escarpado), son predominantes en el municipio, con un área de 52,19%, lo cual indica que en estas zonas la posibilidad de recarga es baja, puesto que en relieves con elevaciones altas, escarpados y de rápido escurrimiento superficial, el proceso de infiltración o recarga disminuye y se acelera el proceso de erosión de los suelos y/o compactación (UNESCO, 1986), es decir, si la pendiente del terreno es notable, se desarrolla un flujo superficial que impide a la lámina de agua sobre el suelo alcanzar los valores que se obtienen cuando la pendiente es mínima (Breña & Jacobo, 2006). Por otro lado, las zonas con pendiente entre 15 y 45% de inclinación (microrrelieve ondulado/cóncavo) tienen un porcentaje de área de 29,47%, en este tipo de zonas la posibilidad de recarga es moderada, ya que, en lugares con relieves planos, semi planos y cóncavos se favorece el proceso de infiltración o recarga hídrica al permitir un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo (UNESCO, 1986). En la figura 5, se presenta la pendiente y el microrrelieve en el municipio.

Tabla 7. *Porcentaje del área de pendiente y microrrelieve*

Microrelieve	Pendiente (%)	Área (ha)	% área	Recarga Hídrica
Fuertemente escarpado	> 65	1623,4	9,99	Muy baja
Escarpado	45 - 65	8485	52,19	Baja
Ondulado/cóncavo	15 - 45	4790,5	29,47	Moderada
Moderadamente ondulado o cóncavo	6-15	1338,3	8,23	Alta
Plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 - 6	19,2	0,12	Muy alta
Total		16256,3	100,0	

Nota: Fuente: autoría propia

Figura 5. Mapa de pendiente y microrrelieve



Nota: Fuente: autoría propia, con base en datos de: Geoportal IGAC.

6.1.3 Tipo de suelo

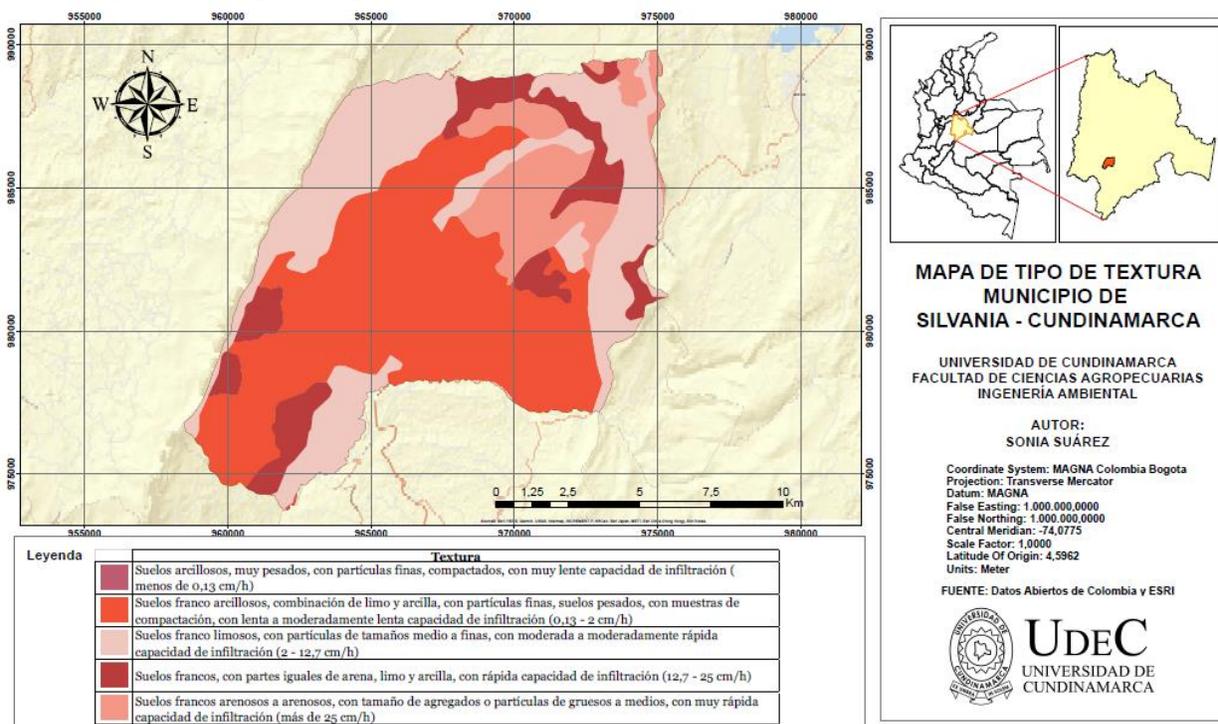
Para establecer el tipo de suelo, se utilizó información sobre la textura del suelo en el municipio, por medio de herramientas SIG se generó el mapa de tipo de textura (figura 6), además, se determinó el área en hectáreas y su respectivo porcentaje (tabla 8). Los suelos franco arcillosos, los cuales tienen una capacidad de infiltración moderadamente lenta tienen un porcentaje de 45,58%, este tipo de suelos tienen una posibilidad de recarga hídrica baja, por su parte, los suelos franco limosos con un porcentaje de cobertura de 31,12%, representan una posibilidad de recarga moderada, puesto que su capacidad de infiltración es moderadamente rápida, esto lo confirma Núñez (1981) quien afirma que la infiltración o velocidad con que el agua penetra en la superficie del suelo, es siempre mayor en suelos de textura gruesa (arenosa, franco arenosa, arenosa franca) que en suelos de textura fina o pesados, como los arcillosos.

Tabla 8. Porcentaje de área de textura

Textura	Area (ha)	% área	Recarga hídrica
Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas finas, compactados, con muy lente capacidad de infiltración (menos de 0,13 cm/h)	0,14	0,001	Muy baja
Suelos franco arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0,13 - 2 cm/h)	7410,4	45,58	Baja
Suelos franco limosos, con partículas de tamaños medio a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 - 12,7 cm/h)	5059,2	31,12	Moderada
Suelos francos, con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración (12,7 - 25 cm/h)	1915,5	11,78	Alta
Suelos francos arenosos a arenosos, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios, con muy rápida capacidad de infiltración (más de 25 cm/h)	1872,2	11,52	Muy alta
Total	16256,3	100,00	

Nota: Fuente: autoría propia

Figura 6. Mapa de tipo de textura



Nota: Fuente: autoría propia, con base en datos de: Geoportal IGAC.

6.1.4 Tipo de roca

La tabla 9, detalla las áreas con diferentes tipos de roca y el respectivo porcentaje de cobertura, se destaca el tipo de roca permeable y suave, las cuales son constituidas por cristales o agregados medianos con poros interconectados, por ejemplo, la arena fina o arenisca con poca cementación, con un porcentaje de 41,55% y una posibilidad de recarga hídrica alta, por el contrario, con un valor de 23,42 %, se presenta un tipo de roca impermeable, dura, cementada, compactada, constituida por partículas finas y sin presencia de fracturas, representan muy baja posibilidad de recarga hídrica, de acuerdo con el INAB (2003), las rocas ígneas y metamórficas no fracturadas tienen permeabilidades bajas, dificultando la recarga de los acuíferos; pero, las rocas ígneas y metamórficas fracturadas permiten el desplazamiento del agua favoreciendo la recarga profunda; las arenas finas, basaltos y karst, debido a su granulometría, poseen amplia

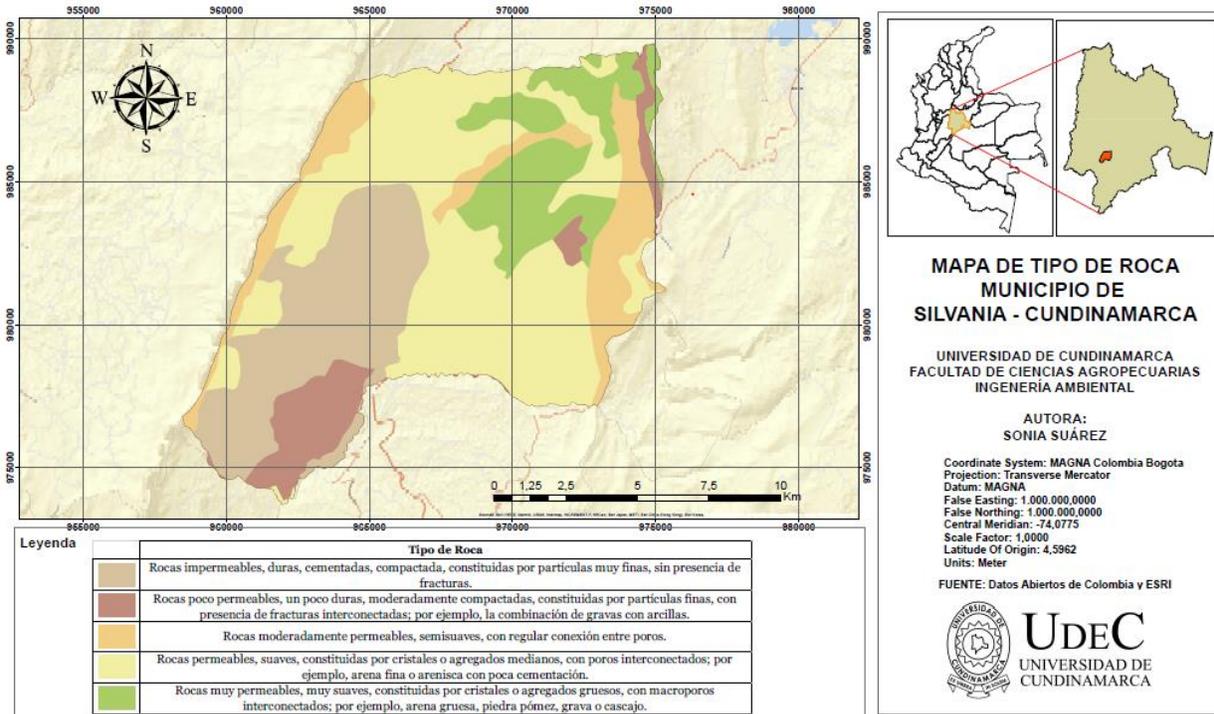
cantidad de poros, por donde el agua circula, favoreciendo la recarga, del mismo modo, las gravas y arenas gruesas poseen poros de gran tamaño por medio de los cuales el agua circula fácilmente, se consideran medios adecuados para la recarga de los acuíferos. En la figura 7, se muestra el mapa de tipo de roca del municipio.

Tabla 9. *Porcentaje de área de tipo de roca*

Tipo de Roca	Area (ha)	% área	Rercarga hídrica
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactada, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas.	3807,3	23,42	Muy baja
Rocas poco permeables, un poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, con presencia de fracturas interconectadas; por ejemplo, la combinación de gravas con arcillas.	1337,4	8,23	Baja
Rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular conexión entre poros.	2114,1	13,00	Moderada
Rocas permeables, suaves, constituidas por cristales o agregados medianos, con poros interconectados; por ejemplo, arena fina o arenisca con poca cementación.	6755	41,55	Alta
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos, con macroporos interconectados; por ejemplo, arena gruesa, piedra pómez, grava o cascajo.	2243,5	13,80	Muy alta
Total	16256,3	100,00	

Nota: Fuente: autoría propia

Figura 7. Mapa de tipo de roca



Nota: Fuente: autoría propia, con base en datos de: Geoportal IGAC.

6.1.5 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal es un factor importante en la determinación de las ZPRH, aunque se presenten suelos compactos o arcillosos, esta tiene la capacidad de mejorar la infiltración del agua (Silva, 2007). En la figura 8, se muestra el mapa de cobertura vegetal del municipio. La tabla 10, detalla los valores obtenidos para cada tipo de cobertura vegetal con su respectivo porcentaje de área, se obtuvo un porcentaje de 46,63% de posibilidad de recarga moderada, el cual corresponde a áreas con pastos arbolados, pastos enmalezados, arbustal abierto, vegetación secundaria o en transición, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, también, se presentó un porcentaje de 24,71% correspondiente a zonas con posibilidad de recarga alta, la cual incluye áreas con bosque denso bajo de tierra firme, bosque fragmentado y bosque denso alto de tierra firme, conforme Segerer y Villotas (2006) las plantas protegen al suelo de la compactación que

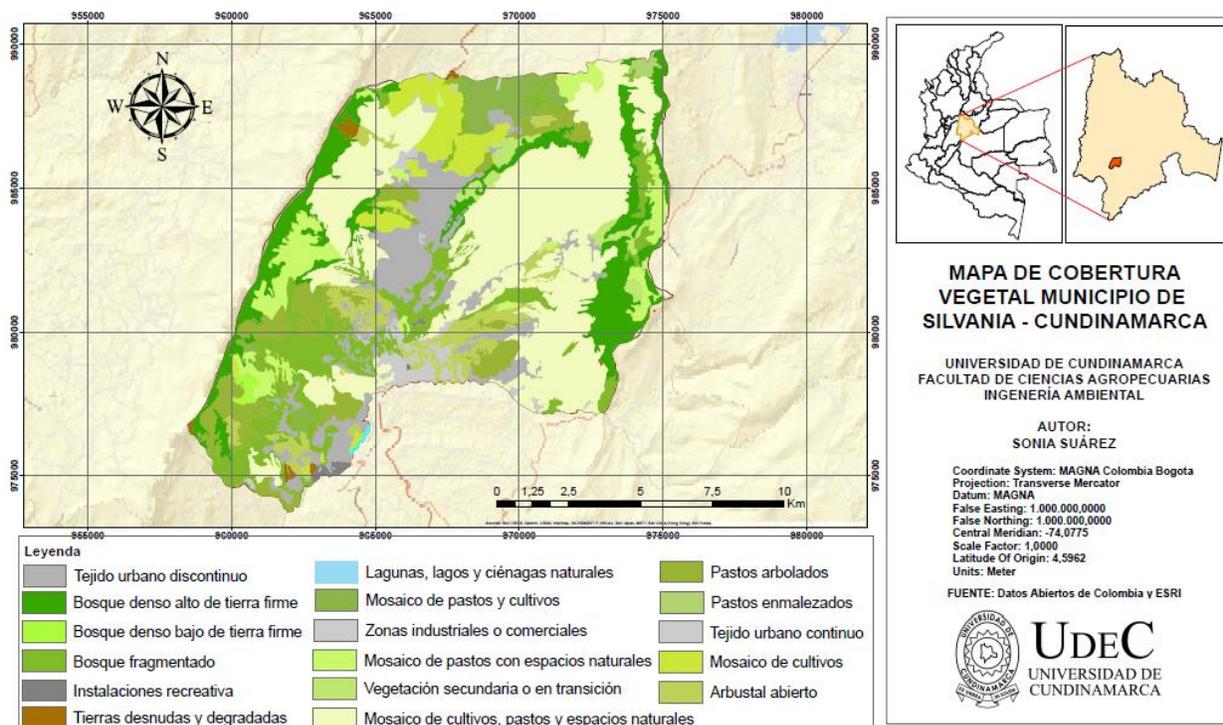
genera la lluvia, retardan el movimiento superficial del agua, exponiendo por más tiempo al suelo generando así, una posible infiltración, además de esto, las raíces crean conductos en la superficie que benefician la penetrabilidad del agua. Según Stadtmuller (1994) de las cuencas cubiertas por bosques se obtiene agua de muy buena calidad, debido a que en los suelos forestales se presenta: alta capacidad de infiltración, bajas tasas de escorrentía superficial y poca erosión, lo que los hace excelentes filtros naturales para el agua.

Tabla 10. *Porcentaje de área de cobertura vegetal*

Leyenda	Area (ha)	% área	Recarga hídrica	Total %
Tejido urbano continuo	133,9	0,83	Muy baja	14,70
Tejido urbano discontinuo	1822,6	11,28		
Zonas industriales o comerciales	294	1,82		
Instalaciones recreativas	51,4	0,32		
Tierras desnudas y degradadas	73,2	0,45	Baja	13,95
Mosaico de cultivos	796	4,93		
Mosaico de pastos y cultivos	495,3	3,07		
Mosaico de pastos con espacios naturales	963,3	5,96		
Pastos arbolados	1282,1	7,93	Moderada	46,63
Pastos enmalezados	53,9	0,33		
Arbustal abierto	810,5	5,02		
Vegetación secundaria o en transición	255,7	1,58		
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5125,5	31,72	Alta	24,71
Bosque denso bajo de tierra firme	56,7	0,35		
Bosque fragmentado	1992,9	12,33		
Bosque denso alto de tierra firme	1942,5	12,02		
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	1,7	0,01	Muy alta	0,01
Total	16256,3	100,00		

Nota: Fuente: autoría propia

Figura 8. Mapa de cobertura vegetal



Nota: Fuente: autoría propia, con base en datos de: Geoportal IDEAM.

6.1.6 Uso de suelo

El uso del suelo establece el grado influencia de una determinada actividad o cambio de uso, en el deterioro de sus características como la erosión y la compactación, además en la forma en que se reduce la posibilidad de la infiltración y/o recarga hídrica (Silva, 2007). Los usos principales que se presentan en el municipio y su respectivo porcentaje de área en el municipio se evidencian en la tabla 11, la presencia de cultivos permanentes semi intensivos de clima medio y frio representan el 54,2% de cobertura en el municipio indicando una posibilidad de recarga baja, por otra parte, las áreas de protección – producción tienen un porcentaje de 25, 1%, estas áreas poseen una posibilidad de recarga alta. Las prácticas de uso de la tierra generan impactos positivos o negativos en la disponibilidad y calidad del agua. Es importante conocer las relaciones entre los usuarios de la cuenca y el uso del suelo, para tener claridad acerca de los

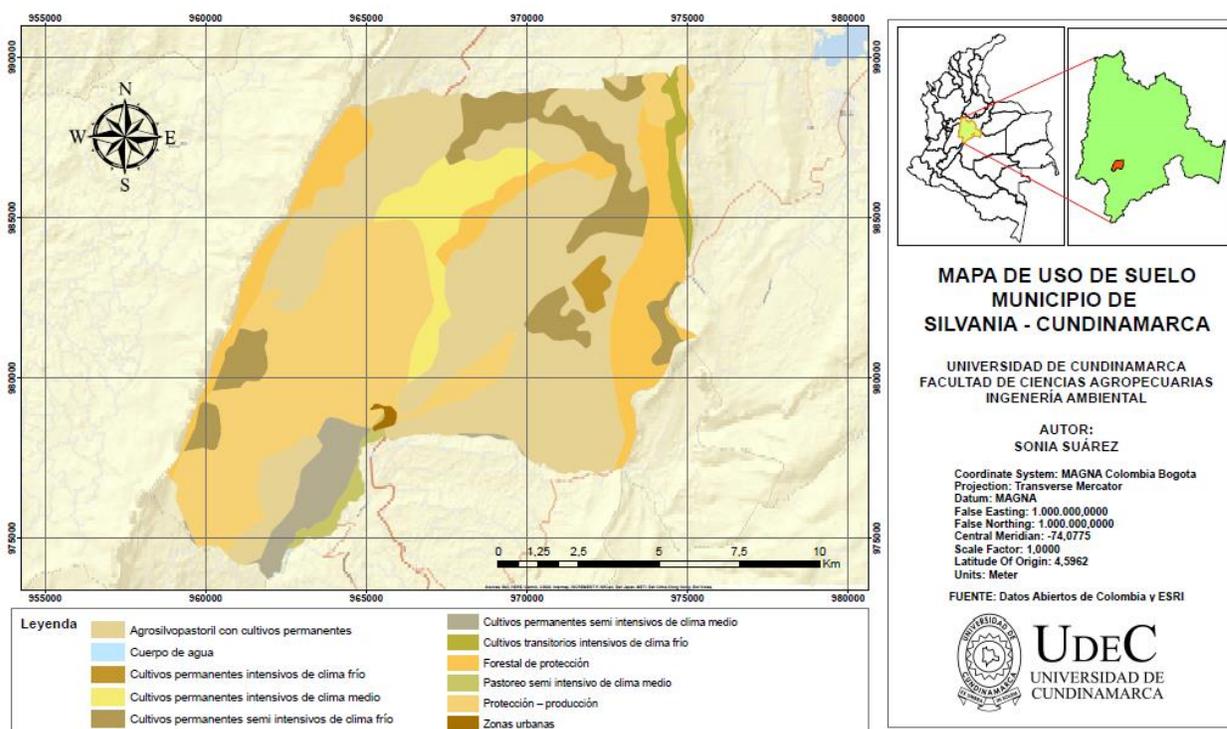
posibles impactos en el régimen hidrológico, la calidad del agua y la escala de relevancia de los impactos (Kiersch, 2000). Según Silva (2007) los usos como agricultura intensiva sin obras de conservación de suelo y agua, la ganadería extensiva, labranza convencional con exceso uso de maquinaria, entre otros, generan afectación en las características del suelo favoreciendo la evaporación, la compactación y el escurrimiento superficial del agua. En el municipio se presenta gran porcentaje de cultivos, como se señala en la figura 9.

Tabla 11. *Porcentaje de área de uso de suelo*

Uso Principal	Area (ha)	%	Recarga hídrica	Total %
Cultivos permanentes intensivos de clima frío	122,8	0,76	Muy baja	8,0
Cultivos permanentes intensivos de clima medio	925,7	5,70		
Cultivos transitorios intensivos de clima frío	218,6	1,35		
Zonas urbanas	33,7	0,21	Baja	54,2
Agrosilvopastoril con cultivos permanentes	6557	40,36		
Cultivos permanentes semi intensivos de clima frío	1502,7	9,25		
Cultivos permanentes semi intensivos de clima medio	591,7	3,64		
Pastoreo semi intensivo de clima medio	151,7	0,93		
Cuerpo de agua	4	0,02	Moderada	0,0
Protección – producción	4081,3	25,12	Alta	25,1
Forestal de protección	2057,2	12,66	Muy alta	12,7
Total	16256,3	100,00		

Nota: Fuente: autoría propia

Figura 9. Mapa de usos de suelo



Nota: Fuente: autoría propia, con base en datos de: Geoportal IGAC.

6.1.7 Determinación de zonas con potencial de recarga hídrica

En la tabla 12, se evidencian los porcentajes por área de posibilidad de recarga obtenidos para el municipio, se presenta 11,46% de posibilidad de recarga hídrica Alta, en las veredas Jalisco, Agua Bonita, Subia, San Luis y Azafranal, lo cual indica que poseen características en los elementos evaluados que favorecen la recarga, al ser zonas de vital importancia, se deben proteger ya que, un cambio en el uso del suelo puede influir en el deterioro de sus características reduciendo la infiltración o recarga hídrica (Silva, 2007), además, evitar la compactación del suelo en estas zonas es fundamental, puesto que influye notablemente en el proceso de recarga (Segerer y Villotas, 2006), se recomienda destinar estas zonas para uso Silvícola, el cual corresponde a bosques naturales o plantados, este tipo de coberturas están asociadas a usos forestales de protección (PBOT,2000), de esta manera, con mayor presencia de cobertura vegetal

que tenga varios estratos, por ejemplo: árboles, arbustos y hierbas, se aumenta la recarga hídrica, además se conservan mejor las características del suelo, aumenta la materia orgánica y la retención del agua, todo esto favoreciendo la infiltración (Silva, 2007), las quebradas presentes en estas zonas son: Q Chiquinquirá, Q Esmeralda, Q Puente de Piedra, Q el Pedregal, Q La Mina y Q la Carbonera. Según el PBOT (2000) las áreas de protección, están constituidas por las zonas de protección de márgenes hídricas, áreas de protección de nacimientos, áreas de protección de las bocatomas de los acueductos rurales y urbano, también las áreas definidas como de ecosistemas estratégicos y finalmente, las áreas correspondientes a los corredores de protección de las fallas geológicas.

Por otra parte, se evidencia que el 50,12% del área del municipio posee una posibilidad de recarga Moderada, las cuales con un buen manejo se pueden llevar a una posibilidad de recarga Alta, por esta razón se recomienda, en las zonas con cultivos tratar de aumentar la profundidad radicular para extender el rango de agua edáfica que es utilizada por la vegetación, es decir, plantar vegetación cuyas raíces absorban el agua dentro de los primeros 30 cm del suelo (INAB,2003). Estas zonas cubren territorio urbano, por esta razón, se debe tener en cuenta el manejo de los residuos (líquidos y sólidos), generar planes de alcantarillado, además apoyar el diseño, construcción y mantenimiento de los pozos sépticos para evitar que este tipo de contaminación llegue a las fuentes hídricas (PBOT,200), puesto que, en la subcuenca del río Panches, a la cual pertenece el municipio, no se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) por lo que la mayoría de los municipios vierte las aguas residuales domésticas e industriales en los cuerpos de agua (CAR, 2016a). Asimismo, emplear estrategias estructurales de protección y conservación como cercas vivas, zanjas de infiltración, cultivo en fajas alternas, entre otras, y no estructurales como capacitaciones y talleres.

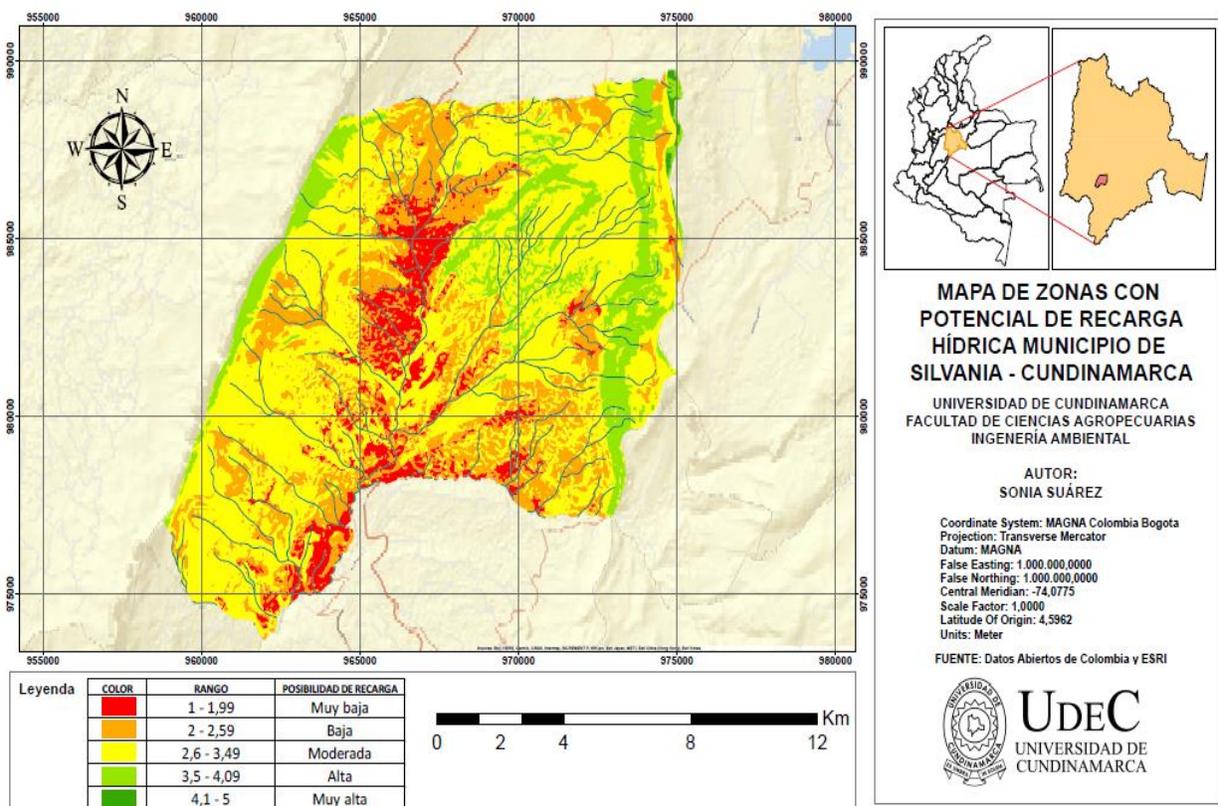
La posibilidad de recarga baja tiene un porcentaje de 27,59%, se deduce que en estas áreas los factores que benefician la infiltración han sido afectados por actividades antrópicas, puesto que, se presentan cultivos intensivos, zonas urbanas y agrícolas, los cuales disminuyen la capacidad de recarga (Silva, 2007). La deforestación que se ha venido presentando en el municipio provoca la desecación de muchas corrientes de agua que reciben considerables volúmenes de agua en la temporada de lluvias, la cual se disipa con rapidez puesto que no existe la cobertura vegetal que se necesita para mantener y proteger el agua, este proceso se refleja más en las veredas San José y Panamá (PBOT, 2000). En la figura 10, se muestra el mapa de las zonas con potencial de recarga hídrica en el municipio.

Tabla 12. *Porcentaje de área de recarga hídrica*

Ponderación	Recarga hídrica	Área (ha)	% área
1	Muy baja	1710	10,64
2	Baja	4432,1	27,59
3	Moderada	8051,5	50,12
4	Alta	1841	11,46
5	Muy alta	31,2	0,19
Total		16256,3	100

Nota: Fuente: autoría propia

Figura 10. Mapa de zonas de recarga hídrica



Nota: Fuente: autoría propia, con base en datos de: Geoportal IDEAM y IGAC.

6.2 Identificación del estado actual de las zonas con potencial de recarga y conflictos a los que se encuentran expuestas.

6.2.1 Zona central y oriental

De la zona central del municipio se visitaron las veredas: la Victoria, San Luis Alto y Noruega alta, por otra parte, de la zona oriental la vereda Jalisco, se observaron cultivos de mora, tomate de árbol y feijoa, los cuales según el PBOT (2000) se clasifican como Cultivos Agrícolas de Clase (A2), este tipo de cultivos brindan protección al suelo contra la erosión, cubren el suelo mientras crecen, las raíces permiten amarrar el suelo, pueden situarse hasta en pendientes del 40% pero requieren prácticas de manejo. También se evidenciaron cultivos de lulo, plátano y

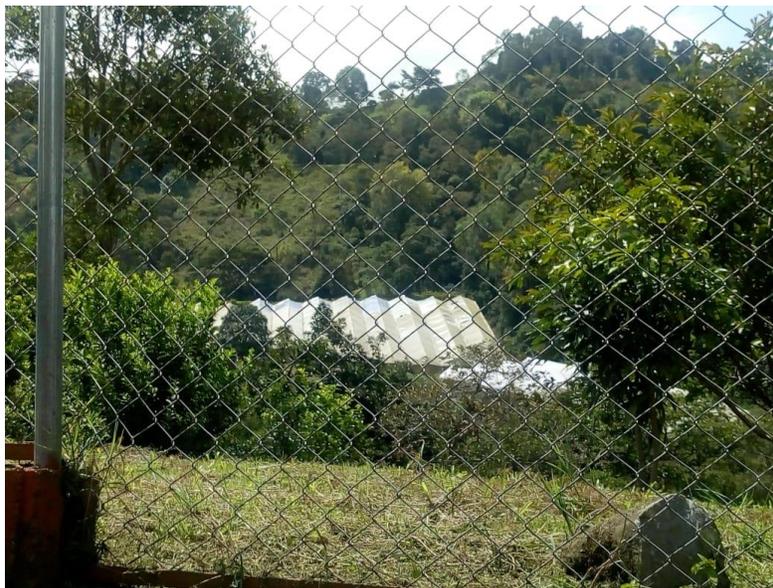
maíz, en este mismo documento oficial, son clasificados como Cultivos agrícolas de clase (A1), proporcionan baja protección al suelo contra erosión, se deben ubicar en terrenos con pendientes menores al 20% y demandan prácticas de manejo, para las dos clases de cultivos se recomienda destinar del 10 al 15 % de terreno para uso forestal protector – productor, para favorecer la formación de la malla ambiental.

También, se observaron, galpones y marraneras, se clasifican como de uso Pecuario (Pe), deben cumplir con todas las exigencias de la autoridad ambiental, por ejemplo, ocupación máxima de predios, barreras perimetrales y herramientas forestales, manejo ambiental y zonas verdes (PBOT, 2000), estas actividades aumentan la demanda de agua generando vulnerabilidad hídrica, teniendo en cuenta que el agua es necesaria para el desarrollo de los animales y sus funciones fisiológicas, ésta representa entre el 60 y 70% de su peso corporal, el volumen de agua para cumplir los requerimientos de estos procesos productivos es muy alto (Pico, 2019), además de esto, la disposición del terreno para las instalaciones genera deforestación.

Según la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) (2016b), se evidencia un aumento en la concentración de los sólidos suspendidos totales (SST) en la cuenca del río Sumapaz, generado por los vertimientos que se presentan de los municipios de Arbeláez, San Bernardo, Pasca, Fusagasugá, Silvania y Granada, incumpliendo el objetivo de calidad de agua dispuesto en la resolución 2833 de 2008, el cual, para este parámetro, no debe superar el valor de 20 mg/L, de la misma forma, la demanda biológica de oxígeno (DBO) también supera el máximo permitido por esta resolución, superando los 20 mg/L, por esta razón se propone que para el año 2020 se realice una remoción de saneamiento correspondiente a 20 mg/L para SST y 10 mg/L para DBO, esta meta está contemplada en el acuerdo 046 de 2016 determinado por la CAR, en el cual se establece la meta global de carga de contaminantes DBO y SST para la

cuenca del río Sumapaz para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de diciembre de 2020.

Figura 11. *Fotografía de galpones en el municipio.*



Nota: Fuente: autoría propia

6.2.2 Zona occidental

En esta parte del municipio se visitaron las veredas: Subia, Quebrada honda, Yayata y Loma Alta, se observaron menos cantidad de cultivos y con menos extensión que en las zonas anteriores, por otro lado, se encontraron áreas naturales protegidas, en las cuales se evidenciaron grandes extensiones de bosque, en el PBOT (2000) se recomienda ubicarlos en los nacimientos de agua, en las riberas de los ríos y corrientes de aguas y áreas en peligro potencial de erosión, del mismo modo, es de suma importancia que sean objeto de programas de protección y conservación. Este tipo de cobertura beneficia la recarga hídrica porque: favorece la infiltración del agua aun en suelos duros y arcillosos, minimiza la escorrentía al disminuir la velocidad del agua, previene la erosión hídrica evitando el impacto de las gotas de lluvia en el suelo y evita la

resequedad del suelo producida por los rayos del sol (Silva, 2007). Sin embargo, la ampliación de la frontera agrícola en zonas de fragilidad alta y en zonas con potencial de conservación, es un conflicto al cual el municipio se encuentra expuesto, además de la tala indiscriminada de especies maderables que genera la fragmentación de zonas con cobertura boscosa, acelerando el proceso de erosión y disminuyendo los caudales de los ríos (CAR, 2016a).

Figura 12. *Fotografía de área natural protegida en el municipio.*



Nota: Fuente: autoría propia

También se observaron varias quebrabas, entre las cuales se encuentra la quebrada Yayata y Quebrada el Uval, no se observó contaminación por residuos sólidos en las fuentes hídricas, puede deberse a que es una zona muy poco habitada, la mayoría de las edificaciones que se encontraron estaban abandonadas; representan zonas de interés por que la intervención humana aun es mínima, por lo cual, se debe propender por su conservación para beneficiar el proceso de recarga, también para que las actividades socioeconómicas se lleven a cabo de una forma concurrente con el medio ambiente, ya que, según la CAR (2016a) se observa que en la

subcuenca del ríos Panches, a la cual pertenece el municipio, se presenta desprotección de los márgenes de los ríos y quebradas, lo que genera un deterioro de los mismos; al considerarse áreas de aprovisionamiento de los servicios públicos tienen restringida la posibilidad de urbanizarse por su alto nivel de importancia (PBOT, 2000).

6.3 Estrategias y acciones de protección de las áreas con potencial de recarga hídrica en la zona de estudio.

El recurso hídrico es reconocido por su alta importancia para los ecosistemas y para la existencia de la población humana, por ende, es indispensable conocer su funcionamiento integral, estudiar la relación entre el agua subterránea y el agua superficial, además de esto, la influencia de la actividades humanas, causantes de cambios en el régimen hidrológico, todo con el fin de formular estrategias de planeamiento y metodologías de valoración, que permitan alcanzar un manejo sustentable el recurso hídrico, promoviendo a su vez esquemas de protección ambiental (Perevochtchikova et ál 2004).

La actividad antrópica perturba las características de estas valiosas y frágiles zonas, principalmente implementando agricultura intensiva, ganadería extensiva, sobrepastoreo, monocultivos, cambiando el uso del suelo contrario a su capacidad de uso, deforestación, urbanismo, entre otras; todas estas actividades causan afectación en el proceso de infiltración del agua ya que compactan el terreno, el suelo queda descubierto ocasionando una mayor escorrentía superficial produciendo disminución en la recarga de los acuíferos, lo que a su vez, genera reducción en el nivel de las aguas subterráneas (acuíferos) además de afectar la calidad de estas aguas, lo que las hace inadecuadas para consumo humano y otros usos (como para riego de cultivos). Cabe resaltar que una parte del problema en la afectación de estas zonas, radica en el

desconocimiento de las áreas en donde se produce el proceso de recarga hídrica, es importante realizar su identificación para de esta manera con la información obtenida y con la participación de los actores involucrados en la problemática, se oriente a un manejo adecuado de estas áreas (Silva, 2007).

Según la identificación realizada anteriormente, en el municipio de Silvania el 50,12% del área del municipio presenta una posibilidad de recarga moderada, son áreas importantes ya que con un manejo adecuado y con la implementación de estrategias de protección y conservación que mejoren la capacidad de recarga, se pueden transformar en zonas con potencial de recarga alta y muy alta.

6.3.1 Estrategias y acciones de protección

6.3.1.1 Estructurales

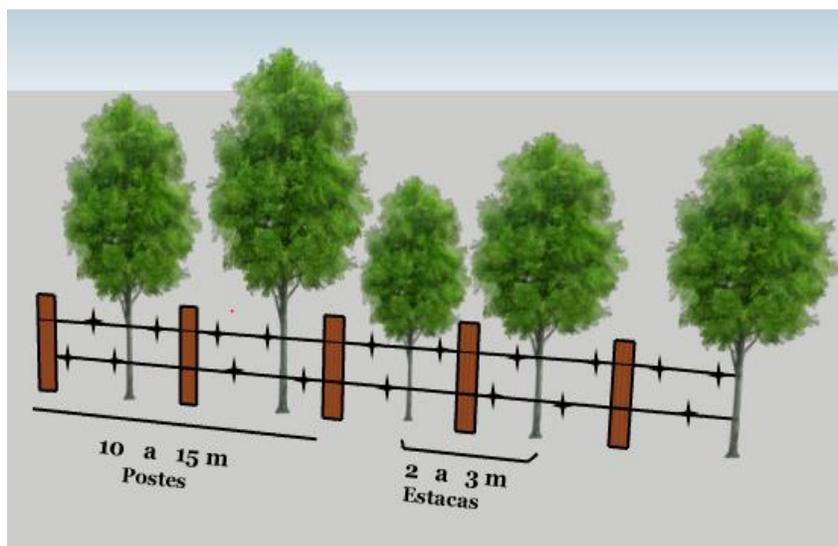
El municipio de Silvania se reconoce por su vocación productiva agrícola, por esta razón se promueve la actividad agropecuaria por medio de programas de asistencia técnica agropecuaria basados en la sostenibilidad ambiental y económica, que generen el crecimiento del municipio (PDM, 2016). Para la aplicación de este tipo de estrategias, se deben contemplar las características del terreno, por ejemplo, la pendiente, el tipo de suelo y el uso del suelo, con el fin de optimizar los resultados de cada una de ellas. Además de esto, para determinar su tamaño o longitud, es importante tener en cuenta la dimensión del terreno que se desea intervenir. Cada estrategia tiene como objetivo, fomentar el uso adecuado y la conservación del suelo, evitando su degradación para de esta manera favorecer el proceso de recarga hídrica de la zona.

Tabla 13. *Estrategia de cercas vivas*

CERCAS VIVAS	
<p>Actualmente, las transformaciones productivas y sostenibles emplean las cercas vivas para reemplazar las tradicionales, en las cuales se emplean postes de cemento o madera (columnas muertas), por la siembra de árboles, arbustos y/o palmas en fila como soportes para el alambre de púas o liso y de esta manera delimitar la propiedad o dividir los potreros según la variedad de usos de la tierra en la finca (Ganadería Colombiana Sostenible, 2017). Este tipo de estrategia ayuda a estabilizar, recuperar y controlar el arrastre del suelo, logra la infiltración del agua y permite un mejor aprovechamiento del terreno (Silva, 2007).</p> <p>Matriz ambiental: Suelo y agua</p>	
Beneficios ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Sirven como corredores biológicos para algunas especies de aves, insectos, o mamíferos pequeños. • Contribuyen al bienestar del suelo, gracias a que sedimentan la tierra y conservan el agua. • Mantienen un microclima favorable para el finquero y sus animales gracias al oxígeno que producen. • Reducen la presión sobre los bosques al ser fuente de madera y leña. • Favorecen la infiltración del agua.
Beneficios económicos	<ul style="list-style-type: none"> • Las hojas y frutos de algunos árboles pueden ser alimento para el ganado. • Su durabilidad es mayor. • Funcionan como barreras rompe-viento que protegen los cultivos y los animales. • Son menos costosas, pues no requieren restauración periódica ni materiales de alto precio como concreto y alambres.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Estacas (Son ramas o secciones de tallos tomados de otros árboles de la misma especie para ser plantados) deben ser rectas y sanas, con una longitud entre 2 a 2,5 m y un grosor entre 5 y 10 cm. La parte inferior debe ser afilada y la superior en forma de bisel, se plantan a una profundidad de 30 a 40 cm.

	<ul style="list-style-type: none"> • Postes muertos, se colocan cada 10 a 15 m y luego se plantan las estacas entre 2 a 3 m (Ganadería Colombiana Sostenible, 2017). • Se recomienda usar especies arbóreas nativas de diferentes tipos como maderables, frutales y arbustivas.
Manejo	<p>Busca maximizar los beneficios.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Poda: Consiste en la eliminación de las ramas de las copas de los árboles. Se realiza a los 2 años después de la siembra de la estaca. Se utilizan herramientas con buen filo, evitando causar desgarros o daños en los árboles.
Inversión	<p>Para una cerca viva de 1 km de longitud, se necesitan: 60 postes muertos, 400 postes vivos (estacas), 10 rollos de alambre de púas, 7 kilos de grapas y 32 jornales de mano de obra, para un costo aproximado de COP \$5'275.000 (Villanueva, Ibrahim, & Casasola, 2008).</p>

Diseño cercas vivas



Diseño de cercas vivas simples. Fuente: autoría propia

Nota: Fuente: autoría propia

Tabla 14. Estrategia de cultivos en fajas alternas

CULTIVOS EN FAJAS ALTERNAS	
<p>Esta práctica consiste en dividir los terrenos en lotes o franjas alargadas y relativamente estrechas, trazadas alrededor del contorno del terreno y ocupadas, de manera alternada en el terreno: la primera por un cultivo denso y protector del suelo, y la siguiente por otro cultivo “limpio,” o menos denso y protector, y así sucesivamente hasta abarcar toda la longitud del terreno (López, Hétier, Hernández, Schargel & Zinck, 2015). En cultivos que ofrecen baja protección al suelo contra la erosión, por ejemplo, frijol, yuca, lulo, habichuela, plátano dominico, banano, tomate de guiso, maíz y hortalizas, se recomienda emplear este tipo de prácticas de manejo para de esta manera favorecer también la recarga hídrica (PBOT, 2000).</p> <p>Matriz ambiental: Suelo y agua</p>	
Beneficios ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Ofrece mayor protección del suelo contra el impacto de la lluvia. • Aumenta la capacidad del suelo para retener sedimentos. • Mejora la infiltración del agua en el perfil.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Se usa en planicies ligeramente onduladas o inclinadas, con pendientes no mayores a 15%. • Cultivo limpio (maíz). • Cultivo denso (pastos nativos o mejorados). • Se realiza la siembra de forma alterna, primero el cultivo denso seguido del cultivo limpio. • El ancho de la faja depende del tipo de cultivo, clase de suelo y de la pendiente. • El ancho de la faja de cultivo denso va desde 0,5 a 1,5 m. <p>Es importante destacar que la práctica requiere, necesariamente, la alternancia de una faja de cultivo denso con otra de cultivo limpio.</p>
Inversión	<p>Según FENALCE (2018) el costo de la producción de maíz en una hectárea de terreno, es de \$4'900,000 COP y el costo de la siembra de pastos en una hectárea es de \$2.029.000 COP (Gutiérrez et. al, 2018) para un total de \$ 6'929,000 COP aproximadamente.</p>

Diseño cultivo en fajas alternas



Diseño de cultivo en fajas (Maíz y pastos). Fuente: López, Hétier, Hernández, Schargel & Zinck (2015)

Nota: Fuente: autoría propia

Tabla 15. *Estrategia de cortinas rompevientos*

CORTINAS ROMPEVIENTOS	
<p>Las cortinas rompevientos son hileras de árboles o arbustos de diferentes alturas que forman una barrera opuesta a la dirección predominante del viento, su altura y densidad constituye un obstáculo al paso del viento. Se conocen también como barreras rompevientos, setos vivos o fajas de albergue, por refugiar a cierto tipo de fauna (Ganadería Colombiana Sostenible, 2017). Esta estrategia evita la erosión eólica, la cual se da a través de la disociación de partículas y agregados que componen el suelo, su transporte y depósito, por acción del viento afectando de esta manera la infiltración o recarga del agua; la erosión eólica también afecta los terrenos vecinos e incluso los lejanos, hasta donde alcance a llegar el depósito del material que transporta el viento (López, Hétier, Hernández, Schargel & Zinck, 2015).</p>	
<p>Matriz ambiental: Suelo y agua</p>	
<p>Beneficios ambientales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen el efecto erosivo en planicies. • Reducen las pérdidas de agua por evapotranspiración. • Delimitan campos o cultivos.

	<ul style="list-style-type: none"> • Sirven como cortinas visuales y estéticas. • Reducen o amortiguan ruidos.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Las cortinas se orientan generalmente de Norte a Sur o de Este a Oeste, paralela a los límites del terreno. • Debe procurarse la formación de 4 a 10 hileras, utilizando árboles y arbustos con una distribución que permita una forma trapezoidal. • Las separaciones para cortinas son de 1 a 2 m entre arbustos y de 2 a 3 m entre árboles. • Se recomienda usar especies arbóreas nativas de diferentes tipos como maderables, frutales y arbustivas.
Manejo	<ul style="list-style-type: none"> • Control de la competencia vegetativa: se realiza en los tres años posteriores a la siembra, se recomienda hacerla con azadón. • Los árboles o arbustos muertos deben sustituirse cuando sea necesario. • Poda: se realiza cuando el crecimiento es reducido, presenta ramas con problemas o enfermedades.
Inversión	<p>Para una hectárea, se requieren: 160 plantas forestales y arbustivas nativas, 2 jornales de mano de obra, transporte de las plantas (vehículo y acémila) y 60 gramos/planta de roca fosfórica, para un total aproximado de \$950.000 COP (Villanueva, Ibrahim, & Casasola, 2008).</p>

Diseño cortinas rompevientos



Cortinas rompevientos. Fuente: Ganadería Colombiana Sostenible (2017)

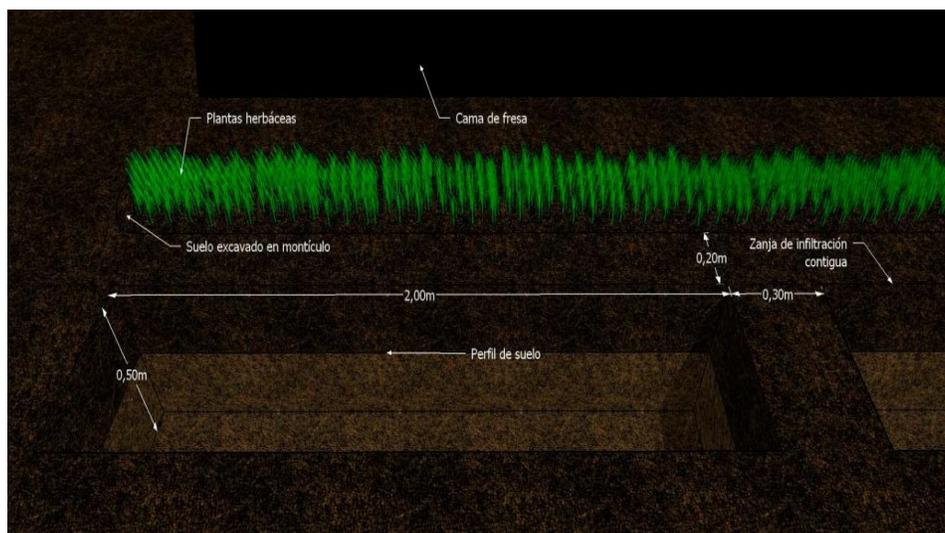
Nota: Fuente: autoría propia

Tabla 16. *Estrategia zanjas de infiltración*

ZANJAS DE INFILTRACIÓN	
<p>Las franjas de infiltración se usan para capturar las aguas lluvia, con el objetivo de minimizar los índices de desertificación y a la vez mejorar las condiciones para los cultivos o la forestación de las zonas de secano, además, la recarga artificial de las capas freáticas (FAO, 2014), esta medida estructural permite la conservación del suelo, reduce la escorrentía superficial y favorece la infiltración artificial del agua de lluvia (Silva, 2007).</p>	
<p>Matriz ambiental: Suelo y agua</p>	
<p>Beneficios ambientales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementan la humedad del suelo. • Aumentan la cantidad de agua disponible para cultivos. • Mejoran la recolección de agua. • Incrementan la recarga de agua subterránea. • Aumentan la diversidad vegetal y cobertura del suelo.

<p>Descripción</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las zanjas deben ser excavadas según las curvas de nivel en forma transversal a la pendiente del terreno. • Deben tener una sección trapezoidal, con un ancho mínimo en la boca de 50 cm y en la base de 25 cm, con una profundidad mínima en la cara inferior de 40 cm. • La tierra excavada se coloca en el borde inferior de la zanja para darle sobreelevación. • Se recomienda interrumpir la zanja con tabiques o espacios sin excavar de 15 cm a lo largo de la misma con la finalidad de homogeneizar la infiltración de agua.
<p>Inversión</p>	<p>Para una hectárea, se requieren: 8 jornales para excavación de las zanjas, 150 plantas para plantación bajo la zanja, 8 personas para plantación y el transporte de las plantas \$2'500,000 COP aproximadamente (Villanueva, Ibrahim, & Casasola, 2008).</p>

Diseño zanjas de infiltración



Zanja de infiltración. Fuente: Robledo (2017)

Nota: Fuente: autoría propia

6.3.1.2 No estructurales

Educación ambiental

Se recomienda realizar una serie de capacitaciones y/o talleres, con la finalidad de dar a conocer la ubicación y la importancia de las ZPRH identificadas en el municipio, además de integrar a la comunidad en las estrategias y acciones de conservación, se deben basar en la participación activa de los ciudadanos, también es necesario integrar al gobierno municipal desde la parte de gestión y administración de recursos económicos y de talento humano para el fortalecimiento de la puesta en marcha de las estrategias propuestas.

Tabla 17. *Estrategia de capacitación*

CAPACITACIÓN	
Actualmente la educación ambiental es un proceso que busca formar y crear conciencia en los seres humanos con su entorno, ya que son responsables de su uso y mantenimiento, se debe impartir hacia todos los sectores, utilizando la gran variedad de recursos didácticos que existen. La educación ambiental se fundamenta en generar un cambio de comportamiento y conocimientos en la comunidad, además, en la relación con el medio ambiente, promoviendo acciones cotidianas que protejan el medio ambiente (Rengifo, Quitiaquez & Mora, 2012).	
Beneficios ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Genera conciencia ambiental y responsabilidad en la comunidad. • Sentido de pertenencia • Protección del medio ambiente. • Conocimiento de la importancia y ubicación de las ZPRH.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Como primer paso, se debe buscar un lugar para realizar la capacitación y/o taller, se propone que sea en salones comunales o escuelas veredales. • Seguimiento de esto se desarrolla la metodología escogida, la cual debe tener objetivos establecidos y necesidades determinadas. • Se realiza una medición de los resultados para conocer si se lograron los objetivos planteados y

	como apoyo para el planeamiento de las próximas capacitaciones.
Inversión	La inversión se calcula teniendo en cuenta las horas necesarias de capacitación y el número de capacitadores. Para una capacitación de 2 horas el costo aproximado es de \$100.000 COP.

Nota: Fuente: autoría propia

Tabla 18. *Estrategia Articulación con PRAE'S*

ARTICULACIÓN CON PRAE'S	
<p>Los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) son proyectos pedagógicos que fomentan el análisis y la comprensión de los problemas y las potencialidades ambientales locales, regionales y nacionales, además generan espacios de participación que permiten la implementación de soluciones paralelas con las dinámicas naturales y socioculturales. También promueven en las instituciones espacios para el desarrollo de estrategias de investigación y de intervención (Ministerio de Educación, 2005). Desde este tipo de procesos de enseñanza, aplicación y aprendizaje, se busca fomentar en la comunidad la iniciativa para la identificación de las ZPRH, también en la gestión y manejo de los recursos hídricos, buscando que sean ellos mismos los protagonistas del cambio dentro de su comunidad, con intenciones de auto desarrollo comunitario y sentido de pertenencia (Silva, 2007).</p>	
Beneficios ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de conciencia en la comunidad educativa del municipio con relación a la importancia de las ZPRH identificadas. • Realización de actividades de conservación por parte de los estudiantes de las diferentes instituciones educativas. • Impacto directo en la población escolar, docentes y padres de familia como replicadores del mensaje de conservación de las ZPRH del municipio.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Visita y socialización de la propuesta en las diferentes instituciones educativas (públicas y privadas). • Proceso de articulación con los diferentes encargados de los PRAE en las instituciones. • Planeación y coordinación de espacios para el desarrollo de actividades.

	<ul style="list-style-type: none"> • Puesta en marchas de las actividades propuestas. • Proceso de evaluación cualitativa del proyecto para conocer el impacto en la comunidad educativa y en las ZPRH.
Inversión	Los costos aproximados para esta propuesta solamente se pueden definir en el momento de desarrollar las actividades, dependiendo de los materiales que se empleen, si las instituciones disponen de ellos o los estudiantes los proporcionan. Con base en lo anterior, se define la inversión necesaria.

Nota: Fuente: autoría propia

Tabla 19. Estrategia implementación de PROCEDA a nivel veredal

IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDA A NIVEL VEREDAL	
Un Proyecto Ciudadano de Educación Ambiental (PROCEDA), es un proyecto desarrollado por diferentes agrupaciones y organizaciones de la sociedad civil, con el fin de solucionar de manera conjunta una problemática ambiental en común, es de carácter intersectorial, intercultural e interdisciplinario, busca promover la formación de valores y la participación de la comunidad (CAR, 2007). Para el caso de las ZPRH identificadas en el municipio, este tipo de proyectos es de vital importancia, puesto que su objetivo principal es buscar soluciones a las problemáticas ambientales, integrando a la comunidad para generar cambios culturales y de comportamiento frente al cuidado de estas zonas.	
Beneficios ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de cambios de actitud y comportamiento ante el uso de los recursos naturales por parte de la comunidad. • Sensibilización de la comunidad. • Da a conocer los problemas a los cuales se encuentran expuestas las ZPRH.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Conformación y organización del equipo de trabajo. • Capacitación del equipo de trabajo. • Identificar y ubicar la problemática ambiental. • Buscar las alternativas de solución. • Establecer el plan para la ejecución del proyecto. • Evaluación de los alcances e impactos del proyecto.

	<ul style="list-style-type: none">• Crear el documento del proyecto.
Inversión	<p>El costo aproximado de inversión se define durante el desarrollo e implementación del proyecto, ya que es necesario primero definir las actividades a realizar. Dentro de los costos se debe tener en cuenta, el alquiler de los sitios para las reuniones (si es necesario) y el costo de las capacitaciones.</p>

Nota: Fuente: autoría propia

7 CONCLUSIONES

El 50, 12% del municipio presenta zonas con una posibilidad de recarga hídrica Moderada, teniendo el manejo adecuado de estas zonas, es posible lograr la oportunidad de conseguir que dichas zonas alcancen una posibilidad recarga hídrica mayor, generando de esta forma los diferentes beneficios y ventajas que estas representan para la región.

Las veredas Subia, Azafranal, Quebrada Honda, Yayata y Loma Alta, cuentan con zonas que corresponden a posibilidad de recarga hídrica Alta, poseen dos importantes reservas forestales y la presencia de cultivos, ganadería y galpones es poca, sin embargo, se recomienda la aplicación de estrategias y acciones de conservación, puesto que son zonas vulnerables.

Con la identificación de las zonas de recarga hídrica, se determinó que la mayor parte del municipio presentan alteraciones por actividades antrópicas, agrícolas y pecuarias, las cuales afectan de forma negativa el proceso de infiltración o recarga, por lo que se recomienda a la administración municipal y a la comunidad aumentar el interés por estas zonas, además de esto, implementar estrategias y acciones de conservación y protección.

8 REFERENCIAS

Alcaldía Municipal del Silvania. (2019). *Información del Municipio*. Recuperado en:
<http://www.silvania-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

Banco Mundial. 2017. *El agua en la agricultura*. Recuperado en:
<https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>

Breña, A. y Jacobo, M. 2006. *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. 289 p.

Brooks, D. 2004. *Agua: Manejo a nivel local*. Recuperado en
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/ucundinamarca/detail.action?docID=259182>.

Cadena, H. 2012. *Hablemos de riego*. Creadores gráficos. Quito - Ecuador. 43 pp

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. 2007. *Proyecto Ciudadano de Educación Ambiental*. Recuperado en:
<http://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/35241/15039.pdf?sequence=1&isAllowed>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. 2008. *Resolución 2833 de 2008. Por la cual “se establecen los objetivos de calidad para la cuenca del río Sumapaz, a lograr en el año 2020”*. Recuperado en:
<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ada104a0868b.pdf>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. 2016a. *Delimitación y localización de la cuenca Sumapaz y subcuenca río Panches*. Recuperado en
<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac68d904141b.pdf>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. 2016b. *Estado del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica del río Sumapaz, en términos de calidad y cantidad; y escenarios de metas de acuerdo al análisis de las condiciones que más se ajusten al cumplimiento del objetivo de calidad*. Recuperado en:
<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade4ba476544.pdf>

Carrica, J. y Lexow, C. 2004. *Evaluación de la recarga natural al acuífero de la cuenca superior del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires*. Rev. Asoc. Geol. Argent., abr. /jun. 2004, vol.59, no.2, p.281-290. ISSN 0004-4822. Recuperado en:
<http://www.scielo.org.ar/pdf/raga/v59n2/v59n2a11.pdf>

Chamorro, K. M. (2016). *Identificación y caracterización de las zonas de recarga hídrica mediante herramientas SIG de los acuíferos la carbonería, Guaraczapas, Yuyucocha y santa clara para la protección de las fuentes de aprovisionamiento de agua en la zona urbana de Ibarra*. Ibarra, Ecuador. Recuperado en
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6920/1/03%20RNR%20223%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Concejo Municipal De Silvania. 2000. *Acuerdo No. 22 de octubre 31 de 2000, por el cual se adopta: “el Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipal, se definen los usos del suelo para las diferentes zonas de los sectores rural y urbano, se establecen las reglamentaciones urbanísticas correspondientes y se plantean los planes complementarios para el futuro desarrollo territorial del municipio”*.

Concejo Municipal De Silvania. 2016. *Acuerdo No. 001 de 2016, por el cual se adopta: “el plan de desarrollo del Municipio de Silvania, para el periodo 2016-2019 y se dictan otras disposiciones”*.

Congreso de Colombia. (1997). *Ley 373 de 1997*. 43. Recuperado en:
http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf

Cubides, E., & Santos, G. (2019). *Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración*. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 12(24), 32-42. <https://doi.org/10.31908/19098367.3813>

Custodio, A. & Llamas, R. (2001). *Características espaciales y temporales de la precipitación atmosférica en latino américa*. Academia, la Habana, 150 pp.

Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Bases del plan nacional de desarrollo 2018-2022*. Recuperado en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Resumen-PND2018-2022-final.pdf>

ESRI, 2016. *Análisis de superposición*. Recuperado en
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/commonly-used-tools/overlay-analysis.htm>

ESRI, 2016. *Vista general del conjunto de herramientas de Hidrología*. Recuperado en
desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm

FAO. (2014). *Zanjas de Infiltración en Chile*. Recuperado en:
<http://www.fao.org/3/CA2802ES/ca2802es.pdf>

FAO. (2015). *Perfil de País – Colombia*. Recuerado en:
<http://www.fao.org/3/ca0572es/CA0572ES.pdf>

Faustino, J. 2006. *Notas de clase para el curso identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica*. San Salvador, CATIE.113 p.

Faustino, J., & Jiménez, F. (2000). *Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Centro Agronómico Tropical de Enseñanza. Recuperado en http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/8431/Manejo_de_cuencas_hidrograficas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

FENALCE. 2018. *El Cerealista*. Edición No 126. Recuperado en: https://www.fenalce.org/alfa/dat_particular/pdf/pre_62630_q_Cer126.pdf

Ganadería Colombiana Sostenible. 2017. *Cercas vivas*. Recuperado en: <http://ganaderiacolombianasostenible.co/web/wp-content/uploads/2016/03/5-CERCAS-VIVAS.pdf>

Gutiérrez JF; Hering J; Muñoz JJ; Enciso K; Bravo AM; Hincapié B; Sotelo M; Urrea JL; Burkart S. 2018. *Establecimiento y manejo de pasturas mejoradas - Algunos aspectos clave a considerar*. Publicación CIAT No. 471. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 20 p. Recuperado en: <http://hdl.handle.net/10568/96261>

IDEAM. 2010. *Estudio Nacional del Agua*. IDEAM, Bogotá, Colombia.

IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Recuperado en: http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762

IDEAM. (2016). *SIAC*. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/suelo>

INAB. 2003. *Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural*. Manual Técnico. Guatemala. 106 p.

INAB. 2005b. *Programa de Investigación de Hidrología Forestal*. Guatemala. 38 p.
Instituto Tecnológico de Santo Domingo. 2001. *Democracia, participación popular y reforma constitucional*. República Dominicana. 300p.

JARAMILLO, A. 2006. *Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia*. Recuperado en
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/232/1/arc057%2804%29288-298.pdf>

Kiersch, B. 2000. *Impactos del uso de la tierra sobre los recursos hídricos: una revisión bibliográfica*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia, FAO. 11 p.

López, R., Hétier, J., Hernández, D., Schargel R & Zinck, A. (2015). *Tierras Llaneras de Venezuela...tierras de buena esperanza*. Recuperado en:
<file:///C:/Users/Asus/Downloads/Capitulo4Volumen2.pdf>

Losilla, M. 1986. *Protección de las zonas de recarga de los acuíferos*. In *Curso bases hidrológicas para el manejo de cuencas*. Turrialba, CR, CATIE. 8 p.

Matus, O., Faustino, J., Jiménez, F. 2009. *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica: Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa*. Nicaragua. Turrialba. Costa Rica. CATIE. Serie técnica. Boletín técnico /CATIE no.38.

Ministerio de Agricultura. (1978). *Decreto 1541 de 1978*. Recuperado en
https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_1541_de_1978.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2010). *Política Nacional Recurso Hídrico*. Recuperado en:

https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n_/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf

Ministerio de Educación. 2005. *Educar para el desarrollo sostenible. Altablero el periódico de un país que educa y que se educa*. Recuperado en:

<https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-90893.html>

Moreno, J. 2001. *El proceso analítico jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones*. Recuperado en: [https://users.dcc.uchile.cl/~nbaloian/DSS-DCC/ExplicacionMetodoAHP\(ve%20rpaginas11-16\).pdf](https://users.dcc.uchile.cl/~nbaloian/DSS-DCC/ExplicacionMetodoAHP(ve%20rpaginas11-16).pdf)

Muñoz, P. (1998). *La conceptualización e identificación de las zonas de recarga hídrica prioritarias a nivel nacional. Plan de Acción Forestal (PAFG)*. Instituto Nacional de Bosques, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). Guatemala. 36p.

Naciones Unidas. (2012). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado en: <https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html#targets>

Núñez S. 1981. *Fundamentos de edafología*. San José, Costa Rica, EUNED. 216 p.

Perevochtchikova, M; Carrillo, J; Peñuela A; Muños P. 2004. *Servicios ambientales hidrológicos en México 2003/2004: visión geográfica*. México. 16 p. Recuperado en: file:///C:/Users/Asus/Downloads/1036_servicios_ambientales_hidrologicos_mexico20032004.pdf

Pico, E. 2019. *Vulnerabilidad hídrica en tres parroquias del cantón Santa Ana, mediante el uso del sistema de indicadores hídricos del IDEAM*. Universidad de Guayaquil. Recuperado en: <file:///C:/Users/Asus/Downloads/Tesis%202019%20-%20Eduardo%20Andr%C3%A9s%20Pico%20Men%C3%A9ndez.pdf>

Presidente de la Republica de Colombia. (1974). REPUBLICA DE COLOMBIA, DECRETO 2811 DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Recuperado en: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf

Rengifo, B., Quitiaquez, L., & Mora, F. 2012. *La educación ambiental una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.

Robledo, D; Herrera, Y; (2017). *Estrategias de adaptación ante el fenómeno de El Niño en sistemas productivos agrícolas de la vereda el prado del municipio de Facatativá*. Universidad de Cundinamarca, Extensión Facatativá, Programa de Ingeniería Ambiental.

Saaty, TL (2014). Proceso de jerarquía analítica. En Wiley StatsRef: Statistics Reference Online (eds N. Balakrishnan, T. Colton, B. Everitt, W. Piegorisch, F. Ruggeri y JL Teugels). <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat05310>

Schosinsky, G & Losilla, M. 2000. *Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual*. Revista Geológica de América Central 23: 43-55. Recuperado en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/8579/8102>

Segerer, C; Villodas; E. 2006. *Hidrología I: infiltración. Material de referencia en curso de ingeniería civil, facultad de ingeniería*. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina. 10 p.

Silva, O. D. (2007). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa Nicaragua*. Recuperado en

http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/3299/Elaboracion_participativa_de_una_metodologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Soza, F. Baca, P. (2012). *Medidas básicas de Protección Ambiental. Manual del Promotor Agrícola. Programa Manejo Integrado de Plagas de la Cooperación Suiza en América Central*. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. 48 p.

Stadtmuller, T. 1994. *Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo*. Una revisión bibliográfica. Turrialba, CR, CATIE. 62 p.

UNESCO. 1986. *Manual de uso y conservación del agua en zonas rurales de América Latina y el Caribe: agua, vida y desarrollo*, tomo 2. 120 p.

Villanueva, C., Ibrahim, M., & Casasola, F. (2008). ganaderiacolombiasostenible.co. Recuperado en:
<http://ganaderiacolombiasostenible.co/web/wpcontent/uploads/2015/05/Cercas-Vivas-Imprenta.pdf?d79683>

Villón, M. 2004. *Hidrología*. Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR. 386 p.

World Vision. (2004). *Manual de Manejo de Cuencas*. El Salvador: World Vision.

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). 2019. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París, UNESCO.

Zamudio, C. 2012. *Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos*. Recuperado en:
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36284/42930#:~:text=La%20Ges>

ti%3%B3n%20Integrada%20de%20los,recursos%20h%3%ADdricos%20son%20protegidos%
2C%20manejados%2C

9 ANEXOS

9.1 Método Saaty

Se anexa el documento de Microsoft Excel con los cálculos realizados para determinar las ponderaciones de las variables.

[..\Matriz Saaty\Cálculo de ponderaciones por método de SAATY.xlsx](#)

9.2 Fotografías de visitas a campo.



Fotografía 1. Cultivo de Tomate. Tomada por: Sonia Suárez



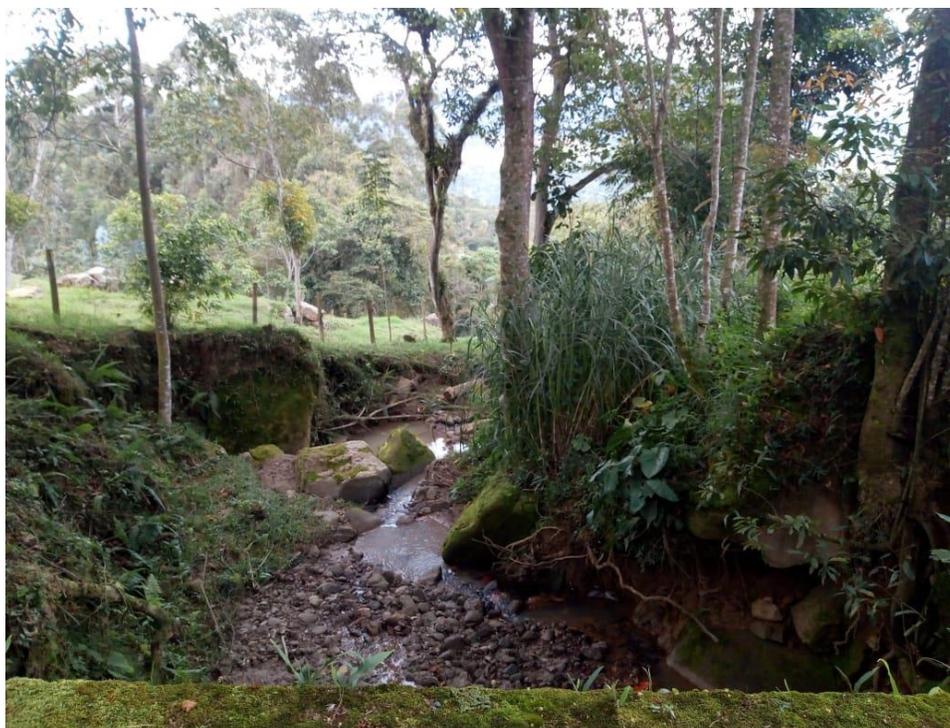
Fotografía 2. Mosaico de pastos y cultivos (maíz). Tomada por: Sonia Suárez



Fotografía 3. Galpones. Tomada por: Sonia Suárez



Fotografía 4. Cultivo de Feijoa y Mora. Tomada por: Sonia Suárez



Fotografía 5. Quebrada Yayata. Tomada por: Sonia Suárez



Fotografía 6. Vegetación nativa y pastos. Tomada por: Sonia Suárez



Fotografía 7. Vegetación nativa. Tomada por: Sonia Suárez



Fotografía 7. Vivero en la vereda Subia. Tomada por: Sonia Suárez



Fotografía 8. Cultivo de feijoa y mora. Tomada por: Sonia Suárez