

**Identificación de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica en el Municipio de
Pamplona, Norte de Santander**

Duvan Arley Báez Guerrero

**Universidad Santo Tomas
Facultad de Ciencias Ambientales
Especialización en Gestión Integral de Cuenca Hidrográficas
2025**

**Identificación de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica en el Municipio de
Pamplona, Norte de Santander**

Duvan Arley Báez Guerrero

**Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gestión Integral de Cuencas
Hidrográficas**

**Directora
Angela María Jaramillo Londoño
Ph.D Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente**

**Universidad Santo Tomas
Facultad de Ciencias Ambientales
Especialización en Gestión Integral de Cuenca Hidrográficas
2025**

Resumen

La pérdida de ecosistemas y áreas estratégicas de conservación en el municipio de Pamplona de Norte de Santander, a causa de la ausencia de las entidades territoriales y el bajo control y vigilancia que ejercen sobre estado de los recursos hídricos. Generó la posibilidad de identificar las zonas potenciales para la recarga hídrica en el municipio y establecer los conflictos por uso de la tierra que afectan el proceso de infiltración del agua. En virtud de lo descrito anteriormente, se implementó la metodología propuesta por Matus *et al.* (2009), la cual permitió evaluar elementos biofísicos para cada uno de los tramos de las cuencas hidrográficas Pamplonita, Zulia y Chitagá que conforman el municipio, como las pendientes y los microrrelieves asociados, el tipo de suelo, el tipo de roca, la cobertura vegetal y el uso del suelo, por medio del análisis espacial en un entorno de sistemas de información geográfica (SIG), en donde a cada elemento se le asignaron categorías y pesos según su permeabilidad e influencia en los procesos que propician un ambiente favorable para que se efectuó la infiltración del agua, en una escala de uno a cinco en donde la posibilidad de recarga oscila entre muy baja a muy alta, en virtud de lo anterior, se obtuvieron mapas temáticos de cada uno de los elementos a escala 1:100.000, para cada tramo de las cuencas.

Posteriormente, se implementó la herramienta calculadora ráster que permitió aplicar la ecuación propuesta por Matus *et al.* (2009) para el cálculo del potencial de recarga hídrica en las zonas evaluadas e identificadas, lo que generó una salida tipo ráster que se reclasificó en cinco rangos que definen la posibilidad de recarga hídrica en las áreas identificadas, en muy alta, alta, moderada, baja y muy baja. Lo que permitió categorizar el potencial de recarga hídrica en el 66,18% del área total del municipio como moderada, de acuerdo a las características físicas y usos principales de los elementos. La caracterización de los conflictos por usos de la cobertura en las áreas potenciales de recarga hídrica, presentó conflictos por sobreutilización en el 50,1% del área total del municipio.

Abstract

The loss of ecosystems and strategic conservation areas in the municipality of Pamplona in Norte de Santander, caused by the absence of territorial entities and the low control and surveillance they exert over the status of water resources, generated the possibility of identifying potential zones for water recharge in the municipality and establishing the land use conflicts that affect the water infiltration process. In light of the foregoing, the methodology proposed by Matus *et al.* (2009) was implemented. This methodology allowed for the evaluation of biophysical elements for each segment of the Pamplonita, Zulia, and Chitagá river basins that make up the municipality, such as slopes and associated micro-reliefs, soil type, rock type, vegetation cover, and land use, through spatial analysis in a geographic information system (GIS) environment. In this analysis, categories and weights were assigned to each element according to its permeability and influence on the processes that favor a suitable environment for water infiltration to occur, on a scale of one to five, where the possibility of recharge ranges from very low to very high. Consequently, thematic maps for each of the elements were obtained at a scale of 1:100,000, for each segment of the basins.

Subsequently, the raster calculator tool was implemented, which allowed for the application of the equation proposed by Matus *et al.* (2009) to calculate the water recharge potential in the evaluated and identified zones. This generated a raster output that was reclassified into five ranges defining the possibility of water recharge in the identified areas very high, high, moderate, low, and very low. This allowed the water recharge potential in 66.18% of the total area of the municipality to be categorized as moderate, according to the physical characteristics and main uses of the elements. The characterization of land cover use conflicts in the potential water recharge areas showed overutilization conflicts in 50.1% of the total area of the municipality.

Tabla de Contenido

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
JUSTIFICACIÓN	16
OBJETIVOS	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos	17
MARCO TEÓRICO	18
Antecedentes de la investigación	18
Bases teóricas	20
Recarga Hídrica	20
Clima.	20
Suelo.	21
Topografía.	21
Estratigrafía Geológica.	21
Cobertura Vegetal.	22
Escurrimiento.	22
MARCO METODOLÓGICO	23
Nivel de Investigación	23
Diseño de Investigación	23

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	23
Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	25
Evaluación de los Elementos Biofísicos	25
Pendiente y Microrrelieve.	25
Tipo de Suelo.	26
Tipo de Roca.	28
Cobertura Vegetal.	29
Usos del Suelo.	30
Determinación del Potencial de Recarga de la Zona de Estudio	31
Elaboración del Mapa y Caracterización de las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica	33
Caracterización de los Conflictos que Afectan la Recarga Hídrica	33
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
Identificación de las Cuencas Hidrográficas que Hacen Presencia en el Municipio	35
Evaluación de los Elementos Biofísicos	37
Pendiente y Microrrelieve	37
Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Pamplonita.	37
Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Zulía.	39
Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Chitagá.	41
Tipo de Suelo	44
Tipo de suelo de la Cuenca del Río Pamplonita.	44
Tipo de suelo de la Cuenca del Río Zulía.	47
Tipo de suelo de la Cuenca del Río Chitagá.	51
Tipo de roca	53
Tipo de Roca de la Cuenca del Río Pamplonita.	54

Tipo de Roca de la Cuenca del Río Zulia.	58
Tipo de Roca de la Cuenca del Río Chitagá.	60
Cobertura Vegetal	64
Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Pamplonita.	65
Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Zulia.	67
Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Chitagá.	69
Uso del Suelo	72
Determinación y Caracterización del Potencial de Recarga de las Zonas Evaluadas	79
Determinación del Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Pamplonita	79
Determinación del Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Zulia	81
Determinación del Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Chitagá.	84
Caracterización del Potencial de Recarga de las Zonas Evaluadas	85
Caracterización de los Conflictos que Afectan la Recarga y la Calidad del Agua para el Consumo	87
Estrategias para el Ordenamiento y Manejo de las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica	91
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
REFERENCIAS	96

Lista de Tablas

Tabla 1	Ponderación de la Posibilidad de Recarga de los Tipos de Pendiente y Microrrelieve	26
Tabla 2	Ponderación del Suelo de Acuerdo a la Posibilidad de Recarga Según la Textura	27
Tabla 3	Ponderación del Tipo de Roca de Acuerdo a la Posibilidad de Recarga	28
Tabla 4	Posibilidad de Recarga en Función del Porcentaje de la Cobertura Vegetal	29
Tabla 5	Posibilidad de Recarga Ponderada Según el Uso del Suelo	31
Tabla 6	Clasificación del Potencial de la Recarga Hídrica	32
Tabla 7	Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Pamplonita	38
Tabla 8	Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Zulia	40
Tabla 9	Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Chitagá	42
Tabla 10	Tipo de Suelo de la Cuenca del Río Pamplonita	46
Tabla 11	Tipo de Suelo de la Cuenca del Río Zulia	49
Tabla 12	Tipo de Suelo de la Cuenca del Río Chitagá	52
Tabla 13	Tipo de Rocas de la Cuenca del Río Pamplonita	56
Tabla 14	Tipo de Rocas de la Cuenca del Río Zulia	59
Tabla 15	Tipo de Rocas de la Cuenca del Río Chitagá	62
Tabla 16	Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Pamplonita	66
Tabla 17	Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Zulia	68
Tabla 18	Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Chitagá	70
Tabla 19	Uso del Suelo de la Cuenca del Río Pamplonita	74
Tabla 20	Uso del Suelo de la Cuenca del Río Zulia	76
Tabla 21	Uso del Suelo de la Cuenca del Río Chitagá	78
Tabla 22	Potencial de la Recarga Hídrica Cuenca del Río Pamplonita	80
Tabla 23	Potencial de la Recarga Hídrica Cuenca del Río Zulia	82

Tabla 24	Potencial de la Recarga Hídrica Cuenca del Río Chitagá	84
Tabla 25	Conflictos en las Cuencas del Municipio de Pamplona	89

Lista de Figuras

Figura 1	Estructura para la Localización de las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica	34
Figura 2	Mapa de Identificación de las Cuencas en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona	36
Figura 3	Mapa de Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Pamplonita en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona	39
Figura 4	Mapa de Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona	41
Figura 5	Mapa de Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona.....	42
Figura 6		47
Figura 7	Mapa de Tipo de Suelo de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona.....	50
Figura 8	Mapa de Tipo de Suelo de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona.....	53
Figura 9	Mapa de Tipo de Roca de la Cuenca del Río Pamplonita en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona	57
Figura 10	Mapa de Tipo de Roca de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona.....	60
Figura 11	Mapa de Tipo de Roca de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona.....	63
Figura 12	Mapa de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Pamplonita en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona	67

Figura 13 Mapa de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona	69
Figura 14 Mapa de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona	71
Figura 15 Mapa de Uso del Suelo de la Cuenca del Río Pamplonita en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona	75
Figura 16 Mapa de Uso del Suelo de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona.....	77
Figura 17 Mapa de Uso del Suelo de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona	79
Figura 18 Mapa de Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Pamplonita en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona.....	81
Figura 19 Mapa de Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona	83
Figura 20 Mapa de Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona	85
Figura 21 Porcentaje de las Áreas de Conflicto en el Municipio de Pamplona.....	90
Figura 22 Mapa de Conflictos en las Cuencas del Municipio de Pamplona	90

Lista de Ecuaciones

Introducción

La escasez de agua dulce a nivel mundial ha ocasionado una gran problemática frente al abastecimiento del recurso hídrico a las poblaciones a través de sistemas de acueducto, acueductos comunitarios, reservorios de agua lluvia, entre otros. Por tal motivo, identificar y localizar las zonas potenciales de recarga hídrica permite gestionar estas áreas que se encuentran en los territorios, procurando la protección, conservación y preservación del recurso hídrico.

Es este sentido, el municipio de Pamplona no es ajeno a esta problemática y presenta escasez de agua en temporada seca, lo que trae consecuencias sobre el abastecimiento de agua necesario para satisfacer la demanda, como resultado del deterioro de las nacientes y el detrimento en la producción del recurso hídrico, la disminución de los caudales de los afluentes y la pérdida de la calidad del agua (Alcaldía de Pamplona, 2015).

Sumado a lo anterior, Díaz *et al* (2021) menciona que, en Colombia ha hecho falta poner en práctica metodologías que permitan identificar las zonas potenciales de recarga hídrica, lo cual, imposibilita el manejo y preservación de estas áreas de gran importancia para las cuencas hidrográficas, así como la gestión entorno a los recursos hídricos del país.

De acuerdo a estas necesidades, el presente trabajo tiene como objetivo identificar las zonas potenciales de recarga hídrica en el municipio de Pamplona de Norte de Santander, para lo cual se implementara la metodología practica propuesta por Matus *et al*. (2009) para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica a través de los sistemas de información geográficos, la cual se aplicara en los tramos de las subzonas hidrográficas que comprende el municipio de Pamplona, en la que se contemplan y se evalúan cinco elementos biofísicos del territorio; pendiente y microrrelieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo, con los cuales se determina el potencial de recarga hídrica de la zona de estudio de acuerdo a la permeabilidad geología y las características físicas del territorio que disminuyen el desarrollo de

la escorrentía superficial del agua y la erosión del suelo y favorecen el proceso de infiltración del agua.

El potencial de recarga hídrica determinado a partir de los elementos biofísicos del territorio permite elaborar el mapa de zonas potenciales de recarga hídrica identificadas y poder establecer las estrategias de manejo y conservación en torno al aseguramiento de agua con calidad y cantidad para satisfacer las necesidades de la población presente en la zona. Tomando como referencia lo expuesto por Villalobos y Cubillos (2020) el mapa de las zonas potenciales de recarga hídrica proporciona “mejor comprensión de la importancia de los beneficios hídricos con los que cuenta el municipio de acuerdo con las condiciones de cobertura vegetal, hidrográficas y accesibilidad propia de la zona” (p. 17).

Planteamiento del Problema

El agua es un pilar fundamental del desarrollo económico, social y ambiental; indispensable para el funcionamiento de los sectores económicos y el bienestar del medioambiente (Grupo Banco Mundial, 2022). En este sentido, el uso indiscriminado de los recursos hídricos ha incentivado la crisis hídrica mundial, la cual, se encuentra motivada por la alta demanda de agua dulce; comprendida en un 70% por la agricultura, siendo el sector con mayor demanda sobre el recurso hídrico, seguido del sector industrial el cual emplea aproximadamente el 20% de la oferta del recurso en sus actividades y alrededor del 10% es empleado para usos domésticos (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2024).

Sumado a esto, el aumento en el crecimiento de la población mundial, ratificado por la (Organización de las Naciones Unidas [ONU], s.f.) la cual señala que, la población actual “es más de tres veces mayor que a mediados del siglo XX”. Ha generado consecuencias entorno al acceso de agua potable en diversas comunidades, por su parte la UNESCO (2024) sostiene que, cerca de 2200 millones de personas no cuentan con las condiciones óptimas y seguras de acceso al recurso hídrico, también, asegura que “actualmente casi la mitad de la población mundial sufre escasez de agua al menos durante una parte del año” (UNESCO, 2024).

En Colombia, el (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2022) concluyó, que debido a la época seca la susceptibilidad de desabastecimiento del recurso hídrico durante el periodo comprendido entre los años 2017 y 2021 se presentaron “afectaciones en 207 municipios en el territorio nacional, los cuales están distribuidos en 16 departamentos.” (p. 418), dificultando en estos, la prestación del servicio de acueducto para las diferentes comunidades. Siendo, Norte de Santander uno de los departamentos que se ha visto afectado por la oferta hídrica, a casusa de ser una de las zonas con mayor déficit de disponibilidad de agua superficial (IDEAM, 2022).

Pamplona es uno de los 40 municipios que integran el departamento de Norte de Santander, en el cual, la ejecución de actividades de carácter antropogénico dentro de la jurisdicción de las cuencas hidrográficas que abarcan el área del municipio, ha impactado negativamente sobre los bienes y servicios ambientales que se prestan las subzonas hidrográficas a la población. De tal forma, que la alta demanda del agua ejercida por el sector primario de la economía, principalmente por las actividades agrícolas y pecuarias en el municipio de Pamplona (Alcaldía de Pamplona, 2015), ha dificultado la adecuada gestión del recurso hídrico en la zona urbana y en la zona rural del municipio, provocando la alteración de los ecosistemas de agua dulce y disminuyendo la calidad y cantidad de los recursos hídricos. De modo que, la ejecución de las diversas actividades económicas atenta contra el aseguramiento de los suministros de agua potable, perjudicando directamente a la seguridad hídrica del municipio y demás territorios favorecidos por la disponibilidad hídrica en las cuencas del río Pamplonita, Zulia y Chitagá.

Garzón Santander (2022), asegura que la ocupación y explotación de los ecosistemas naturales del territorio de manera legal e ilegal en las cuencas hidrográficas; para usos turísticos, domésticos, recreativos, mineros, entre otras actividades. Ejercen una fuerte presión sobre el agua, que adicionalmente, se realza con la presencia de los periodos secos y la potencial contaminación del suelo y las aguas continentales por la implementación de métodos ineficientes para la extracción de minerales en las subzonas hidrográficas, exhibiendo mayores inconvenientes a la hora de cubrir la demanda ejercida por las poblaciones del territorio.

Por otra parte, Suarez Cortes (2021) afirma que, otra problemática que afecta la gestión integral del recurso hídrico en Colombia está ligada a la falta de eficiencia en la gobernanza del agua, derivada del desconocimiento de la información existente en torno a las cuencas hídricas del país, lo que ha ocasionado que el manejo y operación de los sistemas de abastecimiento de agua potable para las poblaciones, no sea optimo y por ende no se cumpla con la normatividad

que rige parámetros como calidad y cantidad, entre otros, que permiten la disponibilidad y el acceso a agua potable segura.

Asimismo, sucede en el municipio de Pamplona, en donde la pérdida de ecosistemas y áreas estratégicas de conservación; como las zonas de recarga hídrica. Se deriva de la ausencia de autoridad gubernamental y de la autoridad ambiental regional, como consecuencia de la falta de identificación y la inexistente exploración de la riqueza biológica, conllevando a la disminución del control sobre las áreas estratégicas para la conservación del recurso hídrico (Alcaldía de Pamplona, 2015). Por tal razón, es indispensable poner en práctica estrategias que posibiliten la identificación y localización de las zonas de recarga hídrica presentes en el municipio, como herramienta para la preservación y conservación de los ecosistemas que proveen el recurso hídrico. De acuerdo a lo anterior, la formulación del problema está basado en la siguiente pregunta de investigación.

¿Cuáles zonas potenciales para la recarga hídrica de las subzonas hidrográficas del río Pamplonita, Zulía y Chitagá; se encuentran en el municipio de Pamplona de Norte de Santander?

Justificación

Este proyecto pretende identificar y ubicar las zonas potenciales de recarga hídrica en el municipio de Pamplona, Norte de Santander, a partir de elementos cartográficos y la implementación de los sistemas de información geográfica, con la intención de generar estrategias sostenibles que permitan salvaguardar el recurso hídrico en el municipio, por medio de, la toma de decisiones a escala local sobre estas áreas de importancia ambiental, por lo que, estas deben ir orientadas a la preservación, conservación, protección, mitigación y adaptación al cambio climático. A fin de, garantizar la continuidad del ciclo hidrológico en el municipio para satisfacer las necesidades con respecto al abastecimiento de agua potable segura.

La identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica en Pamplona, beneficia a la zona rural y urbana del municipio. Como también, a los territorios que pertenecen a las subzonas hidrográficas de los ríos Pamplonita, Zulia y Chitagá. Con base en, la protección y restauración de los ecosistemas hídricos de agua dulce, para el aseguramiento de los suministros del recurso y el incremento de la calidad y cantidad del mismo. De manera que, con la gestión integral del recurso hídrico, la participación de las comunidades en el manejo y ordenamiento de los bienes y servicios ambientales y el uso eficiente del agua dulce; se acceda equitativamente al agua potable (Departamento Nacional de Planeación, s.f).

La generación de un mapa en el cual se representen gráficamente las zonas potenciales de recarga hídrica, de acuerdo con Matus et al. (2009) permite a los diferentes “actores localizar dichas zonas y que se tomen en cuenta cuando se quieran establecer planes, estrategias y acciones enmarcadas en el ordenamiento, protección y manejo sostenible de los recursos naturales” (p. 19). En este contexto, el reconocimiento de las zonas potenciales de recarga hídrica, es de carácter fundamental para contrarrestar la pérdida de; ecosistemas de aguas continentales, áreas estratégicas y la biodiversidad de la región, como se establece en el diagnóstico de la dimensión ambiental en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del

municipio de Pamplona, esto con la intención de abastecer con agua dulce a la población y disminuir la escasez de agua.

Objetivos

Objetivo General

Identificar las zonas potenciales de recarga hídrica de las subzonas hidrográficas de los ríos Pamplonita, Zulia y Chitagá en la jurisdicción del municipio de Pamplona, Norte de Santander; por medio de la implementación de los sistemas de información geográficos.

Objetivos Específicos

Elaborar el mapa de delimitación de las zonas potenciales de recarga hídrica en función de la categorización de los elementos biofísicos del territorio como pendiente y microrrelieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo.

Establecer las características de las zonas potenciales de recarga localizadas en el área del municipio, con base en los elementos biofísicos evaluados.

Caracterizar los conflictos que afectan la recarga y la calidad del agua para el consumo, en las zonas con potencial de recarga hídrica identificadas en el municipio de Pamplona.

Proponer estrategias para el ordenamiento y manejo de las zonas potenciales de recarga hídrica, que permitan la sostenibilidad del recurso hídrico para garantizar el abastecimiento de agua potable segura.

Marco Teórico

Antecedentes de la investigación

La búsqueda de la conservación y preservación de las cuencas hidrográficas ha permitido integrar instrumentos de gestión sobre estas áreas, las cuales, son de suma importancia para el desarrollo de la vida en el planeta, teniendo en cuenta que son fundamentales para la prestación de bienes y servicios ecosistémicos como; el alimento, la reducción del riesgo de desastres, el hábitat para especies, entre otros servicios. Como la recarga hídrica, que se genera a partir de procesos naturales como la “captación, acumulación, escurrimiento superficial e infiltración de agua en el suelo” (Fundación AGRECOL Andes, 2019), permitiendo la disponibilidad del recurso hídrico en el tiempo.

Matus (2007) propuso un modelo para la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica a partir de la evaluación de cinco elementos biofísicos del territorio; tipo de suelo, usos del suelo, cobertura vegetal, geología y pendiente, con la implementación de los sistemas de información geográficos. En la cual estableció cinco categorías para la clasificación del área, en donde se determina el potencial de recarga y se determina si este es muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto, tomando como punto de partida la ecuación ZR que formuló para el cálculo de la posibilidad de recarga en el territorio.

Teniendo en cuenta el nivel de dificultad que presenta la identificación de las zonas de recarga hídrica, Matus *et al.* (2008) estableció una metodología práctica para la determinación de las zonas de recarga hídrica de manera participativa, sintetizada en una serie de pasos. En donde se busca; establecer el área en la cual se va a realizar, identificar y capacitar los actores, reconocer las cuencas presentes en el territorio, relacionar las posibles zonas de recarga a partir del conocimiento local; teniendo en cuenta los elementos biofísicos característicos del área de estudio, evaluar los elementos biofísicos del área, determinar la posibilidad de recarga; con base en los pesos de los elementos biofísicos, hacer el mapa de las zonas con la ayuda de un SIG,

caracterizar las áreas localizadas y estipular las medidas de manejo integral de la posibles zona de recarga.

Por su parte, (Junker, 2005, como se citó en Layten & Santi, 2021) propuso el método RAS, siendo este significativo para la determinación de las zonas potenciales de recarga hídrica, debido a que busca la elaboración de un mapa en el que se representa la recarga de agua subterránea en un área determinada, hecho que facilita la gestión y conservación del agua en las zonas localizadas. Este método científico y teórico comprende diferentes variables representativas del área de estudio como; evaporación, transpiración y precipitación, para definir el balance climático y con esto identificar la disponibilidad de agua en la zona. Además, el método incluye el estudio de variables biofísicas del territorio como; pendiente, cobertura vegetal y textura del suelo, necesarias para el cálculo del coeficiente de infiltración. Este método a diferencia del método propuesto por Matus en 2007 incluye las variables climáticas de la zona, imprescindibles para la determinación de la recarga acuífera, de acuerdo con Bustamante *et al.* (2021) las condiciones climáticas del área de estudio no son contempladas en la metodología establecida por Matus, de manera que, la localización de las posibles zonas de recarga está dada por la capacidad infiltración del agua lluvia de los elementos biofísicos que componen la cuenca hidrográfica.

Mientras que, Rodríguez *et al.* (2023) propuso el modelo “Algoritmo Mejorado para Recarga Basado en la Inclusión de Lluvia y Cobertura Terrestre EARLI” en el cual realizo modificaciones al modelo propuesto por Matus, Faustino y Jiménez en 2009, en donde reclasificó las categorías de uso del suelo debido a que este elemento limitaba el modelo y no representaba la vegetación específica del lugar. Asimismo, incluyo un sexto elemento; siendo este una variable climática en donde se representa la distribución espacial de la precipitación del área de estudio, esto con miras a determinar e identificar con mayor exactitud las zonas potenciales de recarga hídrica. Debido a la inclusión del elemento de precipitación en el modelo, los pesos establecidos por Matus *et al.* (2009) para cada elemento que integra la ecuación variaron, de tal manera que,

el elemento climático incluido se consideró como la variable más importante, dado que es un factor crucial a la hora de estimar las zonas potenciales de recarga, por su importancia en el proceso de la infiltración del agua en el territorio.

Bases teóricas

Recarga Hídrica

Para Matus et al. (2008) la recarga hídrica “es el proceso de incorporación de agua a los acuíferos” (p. 75), de igual manera, la Fundación AGRECOL Andes (2019) expone que la recarga hídrica se ocasiona debido a que el “agua procedente de la lluvia es incorporada al subsuelo, a las aguas superficiales y a otros acuíferos y cuerpos de agua estáticos y/o en movimiento” (p. 5).

Elementos que determinan el Proceso de Recarga Hídrica. Los elementos biofísicos del territorio que interactúan en los procesos naturales que favorecen, perjudican o determinan la ocurrencia y la capacidad de la recarga hídrica en un lugar determinado, influyen a partir de las “interacciones que se pueden suscitar entre el tipo de suelo, la formación geológica existente, el tipo de vegetación, la topografía y el régimen de lluvias” (Bardales, 2010, p. 2).

En este sentido, los factores que determinan el proceso de la recarga hídrica son:

Clima. Estos factores están representados principalmente por la precipitación pluvial y la evapotranspiración debido a que son procesos fundamentales del ciclo del agua, que determinan la disponibilidad del recurso hídrico en la tierra.

“La precipitación representa el principal aporte de agua al sistema de la cuenca hidrológica” (Ramírez, 2023, p. 16), es por esto, que el agua producto de la lluvia es un factor fundamental a la hora de hacer la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica, puesto que en función de las aguas lluvias se genera el proceso de infiltración de agua en el suelo y subsuelo.

En el desarrollo de la recarga, la evapotranspiración es una variable crucial dado que define la pérdida de agua que resulta del fenómeno en el que “el agua se transfiere de la tierra a la atmósfera, por el agua que sale del suelo (evaporación) y el agua que se pierde a través de las hojas y los tallos de las plantas (transpiración)” (Keck, 2021). En concordancia con lo anterior, Ramírez (2023) explica que la “evaporación y transpiración son procesos que ocurren al mismo tiempo, por lo que la evapotranspiración se ha definido como la combinación de estos fenómenos presentes en el ciclo del agua” (p. 7).

Suelo. El suelo es un elemento biofísico que se considera en la recarga hídrica, de tal forma, que presenta características que perjudican este proceso, disminuyendo la permeabilidad y aumentando la compactación del suelo; “como la textura, la densidad, constantes de humedad y la capacidad de infiltración” (Ramírez, 2023).

Topografía. La topografía del área de estudio es un factor valioso en el proceso de la infiltración, en vista que, la presencia de zonas con pendiente fuertes interfieren en la infiltración del agua en el terreno y las áreas con pendientes bajas aumentan la infiltración, por tal razón, la topografía influye en la recarga hídrica a causa de que estipula el tiempo de contacto del agua con la superficie terrestre y la velocidad de la escorrentía del agua, fundamentales para la infiltración del agua en el terreno (Bardales, 2010; Matus et al, 2009; Ramírez, 2023).

Estratigrafía Geológica. La recarga hídrica depende en gran medida de este elemento biofísico de la zona de estudio, teniendo en cuenta que la “disposición de los diferentes materiales geológicos en los distintos estratos o capas del suelo hasta llegar a la zona saturada (agua subterránea) pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica” (Matus et al., 2009).

Es así que, aunque los demás elementos biofísicos que son determinantes en la evaluación del potencial de recarga cumplan con las características óptimas para la ocurrencia de la recarga hídrica, según Ramírez (2023) el proceso no se efectuara de forma “subterránea,

si no superficial, representando una entrada de agua hacia cuerpos como ríos, manantiales, lagos, entre otros” (p. 23).

Cobertura Vegetal. La cobertura vegetal es un elemento de gran importancia en la recarga, porque la presencia de esta disminuye la compactación del suelo y la escorrentía superficial cuando se presentan precipitaciones.

Al reducir la escorrentía el agua dura más tiempo en la superficie, favoreciendo los procesos de infiltración del agua (Matus, 2007). También, “participa en la recarga principalmente en dos aspectos, los cuales son la profundidad radicular y la intercepción del agua” (Bardales, 2010, p. 6).

Escurrimiento. El escurrimiento del agua determina la cantidad de agua lluvia que es captada por las cuencas hidrográficas, permitiendo el movimiento del agua en la tierra de forma superficial, subsuperficial o subterránea, siendo esta una variable relevante en la recarga hídrica que interviene en la infiltración, puesto que permite al agua moverse “dentro de un trayecto desde que alcanza la superficie terrestre hasta llegar al cauce” (Orozco et al., 2003, como se citó en Bardales, 2010).

Marco Metodológico

Nivel de Investigación

Con el propósito de alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto de investigación, se determinó que la investigación se desarrolla a nivel descriptivo, debido a que esta se basa en la recolección de datos correspondientes a las variables biofísicas del área de estudio, la evaluación de estos elementos y la caracterización de los resultados obtenidos. En este nivel de investigación se “recolectan datos de la variable de estudio y se miden” (Hernández *et al*, 2018 como se citó en Arias, 2021), conforme a la afirmación anterior, Arias (2012) refiere que el nivel de investigación de tipo descriptivo se destaca por realizar la “caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (p. 24), en función de los datos del lugar que se está estudiando.

Diseño de Investigación

La investigación es de diseño no experimental, dado que “no hay estímulos o condiciones experimentales a las que se sometan las variables de estudio, los sujetos del estudio son evaluados en su contexto natural sin alterar ninguna situación” (Arias, 2021, p. 78). Y de tipo transversal a causa de que la evaluación de los elementos biofísicos del área de las subcuencas que se encuentra dentro del municipio de Pamplona, se lleva a cabo en una sola vez en el tiempo (Arias, 2021, p. 78).

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La metodología que se empleara en esta investigación está fundamentada en el modelo propuesto por Matus, Faustino y Jiménez en 2009, en la “Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica”, la cual se basa en la evaluación de cinco elementos biofísicos del territorio; pendiente y microrrelieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo, haciendo uso de datos espaciales, dado que los “datos geoespaciales suelen

combinar información de ubicación (generalmente coordenadas en la tierra) e información de atributos (características del objeto, acontecimiento o fenómeno en cuestión) con información temporal (el momento en que existen la ubicación y los atributos, o su duración)” (IBM, s.f.), lo que permite conocer, categorizar y evaluar los elementos necesarios para la aplicación del modelo propuesto en la guía, permitiendo así la realización del cálculo del potencial de recarga hídrica de las subcuencas hidrográficas en estudio. Además, se dispondrá de un software GIS para el tratamiento, evaluación y caracterización de los datos del territorio.

Esta investigación llevara a cabo con el uso de sistemas de información geográficos, en este caso se implementara el software ArcGIS, siendo este un “completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica” (Esri, s.f), en el cual se realizara el análisis espacial de las capas de los elementos biofísicos de las subcuencas de los ríos Pamplonita, Zulia y Chitagá, con el fin de realizar el mapa que permita determinar y delimitar las zonas con potencial de recarga hídrica dentro del área del municipio de Pamplona, Norte de Santander.

La recolección de los datos espaciales de tipo raster y vectoriales que contienen la información del territorio con respecto a las características biofísicas, se hará por medio del Plan de Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Pamplona, Colombia y de geoportales que permiten la “exploración y reconocimiento del territorio nacional que integra información estadística y geoespacial” (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], s.f.), esto debido a que son plataformas completas, de fácil uso y acceso, cuya función principal es posibilitar la “consulta, visualización, análisis y descarga de información georreferenciada, a la cuales pueden acceder diferentes usuarios como investigadores, tomadores de decisiones, autoridades territoriales y ambientales y especialmente la comunidad en general” (DANE, s.f.).

Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Considerando el modelo cartográfico dispuesto en la “Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica” formulada por Oscar Matus, Jorge Faustino y Francisco Jiménez en 2009 y con miras a alcanzar los objetivos planteados en esta investigación, se estableció un paso a paso en la Figura 1. Que, en primera instancia para la identificación de las zonas potenciales de recarga, busca realizar el análisis cartográfico del territorio con el que se deben identificar las cuencas hidrográficas y la red hídrica existente en el área del municipio de Pamplona, tomando como referencia lo expuesto por Matus *et al.* (2008) en donde indica que la generación del mapa de identificación de las fuentes de agua “permite formarse una idea de la dirección de los flujos del agua. Como es evidente, las zonas de recarga hídrica se encuentran en sitios de mayor altitud que las zonas de descarga (pozos, manantiales, nacientes, ojos de agua)” (p. 78).

Seguido a esto, se evaluarán los elementos biofísicos representativos del área de estudio que se encuentran enmarcados en el modelo estipulado en la guía. Las capas de los elementos biofísicos se someterán a una reclasificación en el software ArcGIS, de acuerdo a sus atributos, características o tipologías favorables o no favorables para la posibilidad de ocurrencia de la recarga hídrica en el municipio y en el área de las tres subcuencas que lo abarcan, en la cual se hará la ponderación en todos los elementos biofísicos en una escala de uno a cinco, siendo cinco una posibilidad de recarga muy alta, cuatro; alta, tres; moderada, dos; baja y uno; muy baja. Y partiendo de la reclasificación de cada capa se obtendrá un nuevo mapa representativo de cada uno de los elementos biofísicos, en donde se puede evidenciar las áreas potenciales de recarga para cada uno de los elementos.

Evaluación de los Elementos Biofísicos

Pendiente y Microrrelieve. La capa de datos correspondiente a los elementos biofísicos de pendiente y microrrelieve del territorio serán evaluados en el software GIS de acuerdo a sus

características de inclinación y elevación, descritas en la Tabla 1. En donde se observa la relación existente entre los dos elementos, a causa, de la escorrentía superficial del agua y del proceso de infiltración de la misma. Esto se da, de acuerdo con Matus *et al.* (2009) porque al presentarse relieves y pendientes con elevaciones altas la velocidad de escorrentía es mayor, esto se ve reflejado en el cambio de las características del suelo al incrementar los procesos de compactación y erosión, lo cual genera disminución en la infiltración del agua y por lo tanto afectación en la recarga hídrica. Por otra parte, a menor elevación del relieve y de la pendiente mayor será la infiltración del agua en el territorio, por consecuencia mayor será la posibilidad de recarga hídrica. Esto implica que sea el elemento con mayor importancia en el modelo propuesto, presentando un peso del 27% para el cálculo del potencial de recarga.

Tabla 1

Ponderación de la Posibilidad de Recarga de los Tipos 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. Tomada de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.12, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Tipo de Suelo. Para la evaluación de la capa de tipología del suelo del área de estudio se hace la reclasificación de acuerdo a lo dispuesto en la Tabla 2. En la que se categoriza la textura del suelo para la ponderación de la posibilidad de recarga. Esto basado en la capacidad

de infiltración de agua en terreno dada por la permeabilidad de los suelos. En donde los suelos franco arenosos representan una muy alta ocurrencia de recarga, los suelos francos una posibilidad alta, los suelos franco limosos representan una recarga moderada, los suelos franco arcillosos permiten poca recarga hídrica y los suelos arcillosos por causa de su compactación se clasifican con muy baja posibilidad de ocurrencia de recarga. Por tal razón, la capa de tipo de suelo tiene una importancia del 23% en la evaluación de la posibilidad de recarga.

Tabla 2

Ponderación del Suelo de Acuerdo a la Posibilidad de Recarga 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. Tomada de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.13, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Tipo de Roca. La ponderación de la posibilidad de recarga sobre la capa del tipo de roca, se establece en la Tabla 3. Según la permeabilidad y la porosidad de la roca, en donde las rocas muy permeables se caracterizan por tener muy buena recarga, las rocas permeables alta ocurrencia de recarga, las rocas moderadamente permeables permiten una buena recarga de agua, las rocas que son poco permeables poseen baja recarga y las rocas impermeables o duras gozan de una muy baja posibilidad de recarga hídrica. Con base, en la importancia de esta capa en el proceso natural de la infiltración del agua al suelo, el modelo establece que representa el 12% en la determinación de la ocurrencia de la recarga.

Tabla 3

Ponderación del Tipo de Roca de Acuerdo a la Posibilidad de Recarga

Rocas	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. Tomada de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.15, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Cobertura Vegetal. Este elemento cuenta con un valor del 25% dentro del cálculo del potencial de recarga hídrica, derivado de las características protectoras del suelo que favorecen la infiltración. Para el análisis de la capa de cobertura vegetal representativa de la zona, se va realizar en primera instancia la clasificación e inventario de los tipos de cobertura presentes territorio, a través de la metodología Corine Land Cover Colombia, ya que por medio de esta se puede “describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas” (IDEAM, s.f.).

Sumado a esto, se debe ponderar el inventario de la cobertura vegetal encontrada, haciendo uso de la Tabla 4. Para ponderar la capa de cobertura vegetal y establecer las áreas con posibilidad de recarga.

Tabla 4

Posibilidad de Recarga en Función del Porcentaje de la Cobertura Vegetal

Cobertura Vegetal Permanente (Porcentaje)	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. Tomada de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.15, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Usos del Suelo. Las bases para la clasificación de este elemento para la estipulación del potencial de la recarga de una zona específica, se presentan en la Tabla 5. En la que se establecen cinco categorías basadas en el tipo de cobertura del suelo y el uso que se ejerce sobre este, en donde se destacan las áreas con presencia de bosque con una muy alta posibilidad de recarga debido a la presencia de coberturas vegetales que favorecen la infiltración del agua en el terreno.

Por el contrario, las zonas usadas para las actividades agropecuarias presentan características que no favorecen el proceso de infiltración, dadas por la compactación del suelo por lo que la posibilidad de recarga es muy baja. En virtud de esto, esta capa tiene un valor representativo del 13% a la hora de realizar el cálculo del potencial de recarga hídrica.

Este elemento es sumamente importante a la hora de identificar las áreas de recarga hídrica, porque según (Rajasekhar et al, 2021, como se citó en Villota, 2022), se debe considerar “el uso de suelo de las áreas agrícolas, con asentamientos humanos, lomas, montículos, crestas, bosques de reserva y algunos terrenos baldíos” (p. 34). Debido a que es el elemento biofísico que más varía en el tiempo como consecuencia de los usos ejercidos por las actividades antrópicas, de tal forma que impactan sobre el suelo y ocasionan erosión y compactación del mismo, hechos que reducen el proceso de recarga hídrica en las cuencas hidrográficas (Fundación AGRECOL Andes, 2019).

Tabla 5

Posibilidad de Recarga Ponderada Según el Uso del 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. Tomada de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.16, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Determinación del Potencial de Recarga de la Zona de Estudio

Para realizar el cálculo que determina el potencial de recarga hídrica, se utiliza la herramienta calculadora ráster, del sistema de información geográfico implementado, en donde se aplica la Ecuación 1. Establecida por Matus et al. (2009) para la determinación del potencial de la recarga hídrica en el área de estudio específica, partiendo de la cartografía de cada uno de los elementos biofísicos del territorio, que ha sido ponderada anteriormente y de los pesos establecidos en el modelo para cada uno de las variables, en virtud de su capacidad de infiltración de agua en las cuencas hidrográficas.

$$ZR = [0,27(Pend) + 0,23(Ts) + 0,12(Tr) + 0,25(Cve) + 0,13(Us)] \quad (1)$$

Donde:

Pend: Pendiente y Microrrelieve

Ts: Tipo de Suelo

Tr: Tipo de Roca

Cve: Cobertura Vegetal Permanente

Us: Uso del Suelo

Posteriormente, se reclasifica el ráster que resulta del desarrollo del modelo del modelo propuesto por Matus et al. 2009, teniendo en cuenta la Tabla 6. Y se definen las áreas que favorecen en mayor medida el proceso de la recarga hídrica.

Tabla 6

Clasificación del Potencial de la Recarga Hídrica

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. Tomada de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.17, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Elaboración del Mapa y Caracterización de las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica

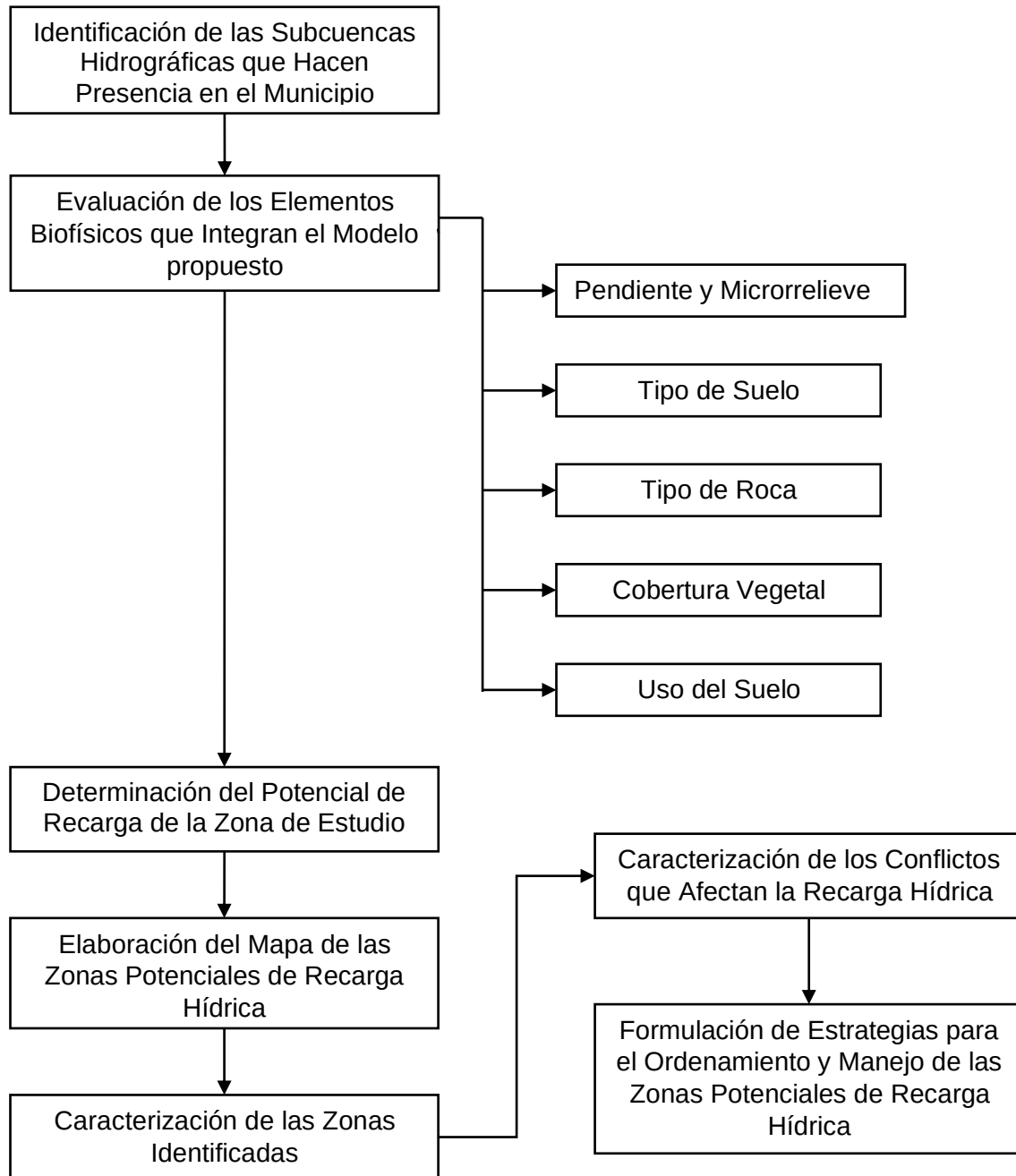
Se realizará el mapa temático representativo de las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas en el municipio de Pamplona, Norte de Santander, en donde se indicarán las áreas de recarga que pertenecen a cada uno de los tramos de las tres subcuencas hidrográficas presentes en el municipio. Así como también, se caracterizarán estas áreas potenciales de recarga con la intención de conocer y ofrecer información sobre el estado de los elementos biofísicos presentes en estas.

Caracterización de los Conflictos que Afectan la Recarga Hídrica

Partiendo de las características de los elementos biofísicos identificadas en cada una de las áreas de recarga hídrica encontradas en el municipio, se definirán los eventos naturales y las actividades antropogénicas que impactan sobre las zonas de recarga, con la intención de generar acciones de manejo que garanticen el abastecimiento de agua segura a la población.

Figura 1

Estructura para la Localización de las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica



Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica* (p. 9), por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez, 2009, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE.

Análisis Y Discusión de Resultados

Identificación de las Cuencas Hidrográficas que Hacen Presencia en el Municipio

Para la elaboración de la Figura 2, se tomaron como referencia datos vectoriales que hacen parte de la información base del PBOT del municipio de Pamplona, como los límites municipales, en donde se evidencia que el municipio limita con los municipios de Cacota, Mutiscua, Cucutilla, Pamplonita y Labateca; el límite de la zona urbana y el límite municipal que tiene una extensión de 29817,3 hectáreas.

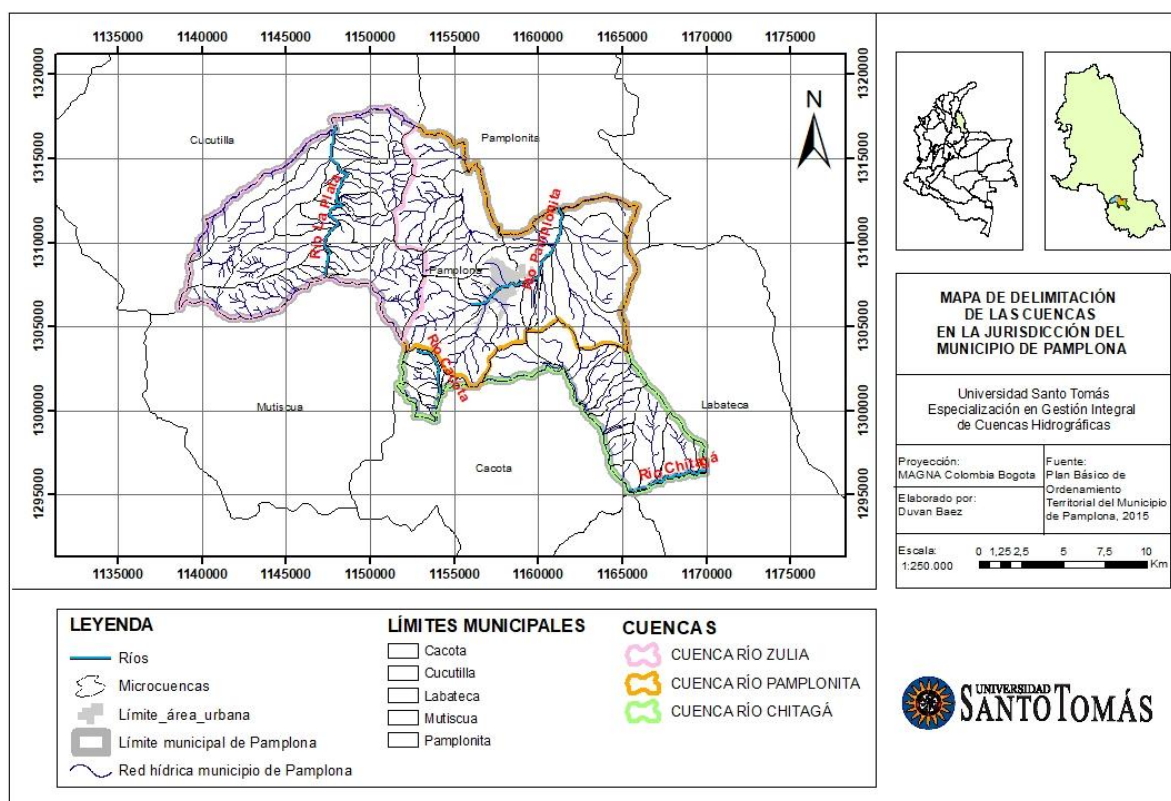
Asimismo, la red hídrica del municipio, en la cual se distinguen los tramos de los ríos La Plata, que según el POMCA del río Zulia este tiene presencia en las veredas “Alizal, Alto Grande, Chilagaula, Chinchipa, Cunuba, Iscaligua, Llano Castro, Palchal, Peñas, San Agustín, Santa Ana, Zarzal” (Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental [CORPONOR], 2018, p.150), del municipio de Pamplona en una longitud de 11,49 Km y es uno de los afluentes principales de la cuenca del río Zulia; también se localizan 9,48Km del río Pamplonita, cauce principal de la cuenca que conforme al POMCA del río Pamplonita, “se forma en el municipio de Pamplona en la confluencia de las quebradas El Rosal y Navarro y finaliza cerca del centro poblado de Puerto Villamizar en el Municipio de Cúcuta al confluir en el Río Zulia” (CORPONOR, 2010, p.12). Por otra parte, el río Chitagá y el río Cacota conforman el área de la cuenca del río Chitagá

Tomando como referencia, lo descrito en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Pamplona, el municipio tiene presencia de las “subzonas hidrográficas de los ríos Zulia y Pamplonita pertenecientes al área hidrográfica Caribe, así con la subzona hidrográfica del río Chitagá que pertenece al área hidrográfica el Orinoco”. (Alcaldía de Pamplona, 2015). Por esta razón se incluyó la información física del territorio correspondiente a la capa vectorial de la delimitación de las tres cuencas que conforman el municipio, con lo cual se logró calcular el área de influencia para cada una, de manera que, la cuenca del río Pamplonita delineada de color

amarillo presenta una superficie de 12374,11 hectáreas correspondientes al 41,5% del área del municipio, cabe resaltar que dentro del límite de la cuenca se encuentra la zona urbana del municipio en un área de 562,53 hectáreas, lo que constituye el 4,55% de la cuenca en el territorio. Por otra parte, la sección trazada en color rosado define la cuenca del río Zulia que ostenta el 38,17% del área municipal conformada por 11380,62 hectáreas, por último, se estableció de color verde la cuenca río Chitagá que abarca un espacio total en el municipio de 6062,58 hectáreas, equivalente al 20,33% del límite municipal.

Figura 2

Mapa de Identificación de las Cuencas en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Pamplona, 2015. Escala 1:250.000.

Evaluación de los Elementos Biofísicos

Pendiente y Microrrelieve

La evaluación de los elementos biofísicos de pendiente y microrrelieve se realizó con base en la capa de datos vectoriales tipo línea de curvas de nivel a escala 1:100.000 producida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en el año 2020. En donde, se analizaron espacialmente las curvas de nivel del municipio de Pamplona lo que permitió establecer que el territorio presenta alturas sobre el nivel del mar que oscilan entre 1600 m.s.n.m. y 3700 m.s.n.m.

Esta información permitió clasificar las pendientes en cinco categorías conforme a su porcentaje, en donde se identifican pendientes entre 0% y mayores de 65% en las zonas de estudio, asimismo, se evaluaron las características de microrrelieve representativas de las cuencas de los ríos Pamplonita, Zulia y Chitagá, para este factor se tienen cinco categorías ligadas al porcentaje de las pendientes que describen terrenos de planos a casi planos hasta zonas fuertemente escarpadas. Dado que “las curvas de nivel proveen información suplementaria acerca de las formas del relieve, favoreciendo así un proceso de modelización basado directamente en características del terreno que son hidrológicamente importantes” (Felicísimo, 1994; Wise, 2000; Selvi y Bildirici, 2008, como se citó Casado *et al.*, 2010, p. 103).

Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Pamplonita.

Como se muestra en la Tabla 7 y en la Figura 3, la cuenca del río Pamplonita presenta pendientes con relieve plano a casi plano, con o sin rugosidad en el 3,15% del área de la cuenca en el municipio y relieve moderadamente ondulado o cóncavo en el 9,21% del terreno. siendo estas, las pendientes más favorables para la identificación de las zonas de recarga hídrica, dada su baja pendiente la cual permite que la posibilidad de recarga sea muy alta a alta en una pequeña porción de la zona.

Adicionalmente, el microrrelieve que predomina en la cuenca es de tipo ondulado o cóncavo con pendientes entre el 15 y 45%, esto permite establecer que el 68,65% del área total de la cuenca posee una posibilidad de recarga moderada. Sumado a esto, la cuenca posee un área del 18,99% con pendientes que oscilan entre 45% y mayores de 65%, con microrrelieves escarpados y fuertemente escarpadas en donde la posibilidad de recarga es baja o muy baja.

Es importante señalar que dentro del perímetro de la cuenca del río Pamplonita, se encuentra localizada la zona urbana del municipio, la cual, tiene características propias dadas por el uso del suelo y la cobertura de la tierra, por tal motivo, son zonas formadas por diversas infraestructuras de carácter impermeable, lo cual constituye que la posibilidad de recarga en las áreas en que se ubican se vea disminuida, a razón del peso porcentual mayoritario con el que cuenta la tipología de pendiente y microrrelieve (27%) y la cobertura vegetal (25%) en proceso del cálculo del potencial de recarga.

Tabla 7

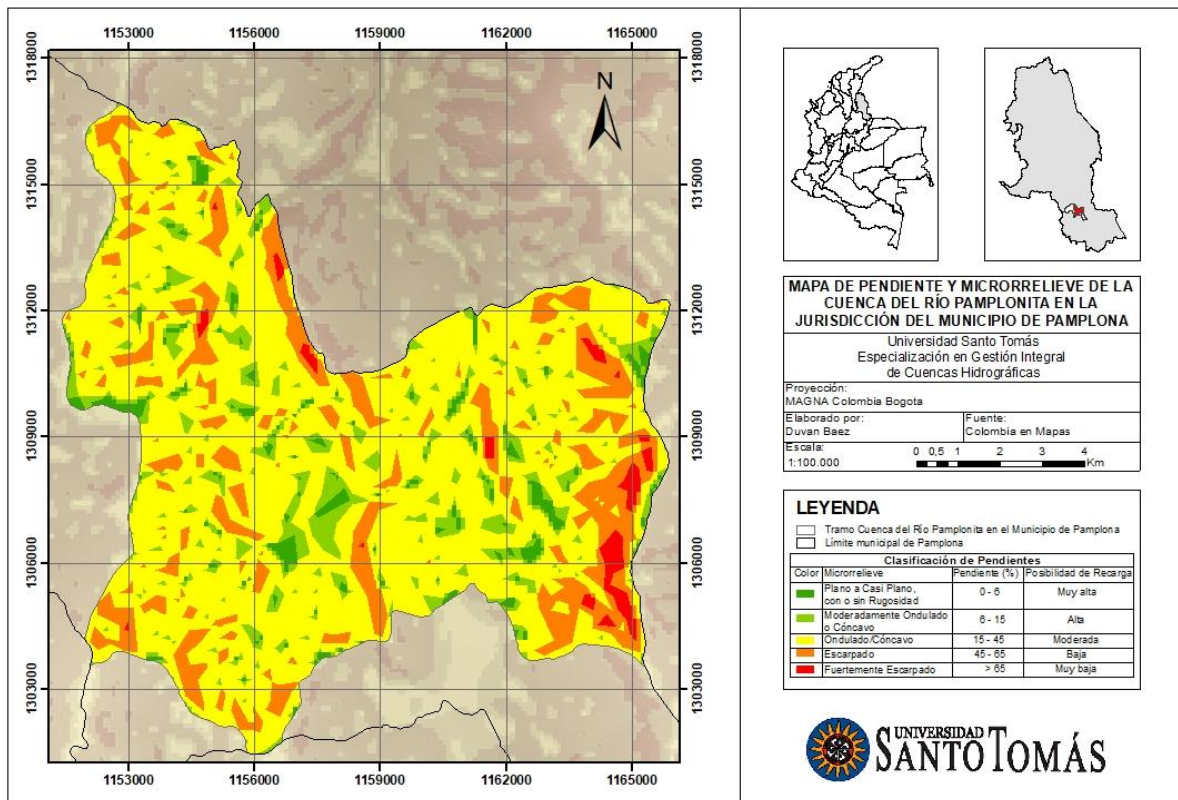
Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Pamplonita

Microrrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Plano a Casi Plano, con o sin Rugosidad	0-6	Muy alta	389,44	3,15
Moderadamente Ondulado o Cóncavo	6-15	Alta	1139,61	9,21
Ondulado/Cóncavo	15-45	Moderada	8495,01	68,65
Escarpado	45-65	Baja	2140,41	17,3
Fuertemente Escarpado	>65	Muy baja	209,64	1,69

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.12, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 3

Mapa de Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Pamplonita en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales obtenidos de la plataforma Colombia en Mapas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Escala 1:100.000.

Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Zulia.

El 3,66% de áreas con posibilidad de recarga hídrica en el tramo de la cuenca del río Zulia es muy alta, la cual se encuentra determinada por la presencia de microrrelieve plano a casi plano, con o sin rugosidad y pendientes que van de cero a seis por ciento. Las áreas con posibilidad de recarga alta en la cuenca, corresponden al 8,66%, representadas por relieves

moderadamente ondulado o cóncavo y pendientes entre el 6% y 15%, como se observa en la Tabla 8.

Además, el territorio posee pendientes del 15% al 45% con microrrelieves ondulados o cóncavos, siendo estas áreas predominantes en la cuenca del río Zulia, dado que representa el 62,88% del área total del tramo de la cuenca, lo cual indica que la posibilidad de recarga moderada prevalece en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica en la cuenca.

Asimismo, la cuenca exhibe posibilidad de recarga baja y muy baja en un área de 2822,06 hectáreas, correspondiendo al 24,8% del área total. Estas posibilidades de recarga impactan alrededor de la cuarta parte de la extensión en el municipio, estas áreas se observan en la Figura 4, denotadas en color naranja para posibilidad baja y en rojo la posibilidad de recarga muy bajo, en donde se ubican los relieves escarpados a fuertemente escarpados, con rango de pendientes entre el 45% y mayores de 65%.

Tabla 8

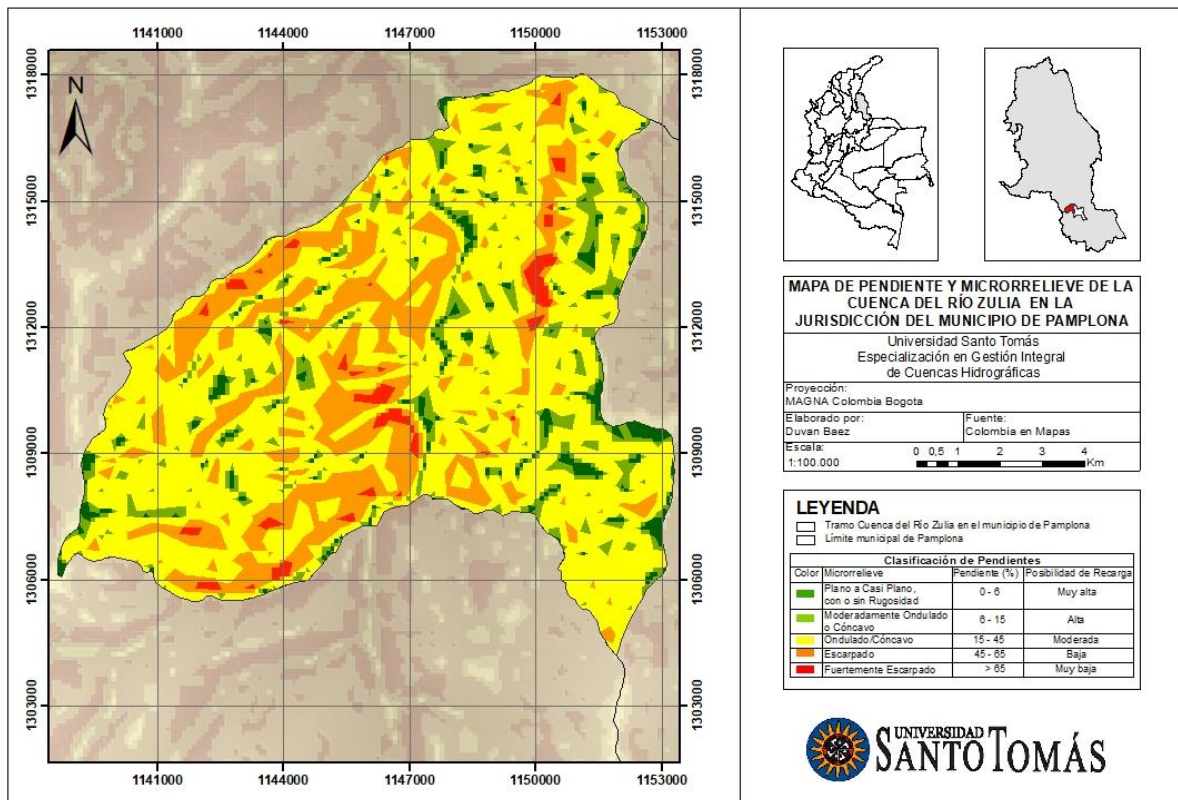
Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Zulia

Microrrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Plano a Casi Plano, con o sin Rugosidad	0-6	Muy alta	416,15	3,66
Moderadamente Ondulado o Cóncavo	6-15	Alta	985,82	8,66
Ondulado/Cóncavo	15-45	Moderada	7156,59	62,88
Escarpado	45-65	Baja	2590,39	22,76
Fuertemente Escarpado	>65	Muy baja	231,67	2,04

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.12, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 4

Mapa de Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales obtenidos de la plataforma Colombia en Mapas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Escala 1:100.000.

Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Chitagá.

El área de la cuenca del río Chitagá presente en el municipio, presenta pendientes que oscilan entre 0 y 6%, representativas de relieve plano a casi plano, con o sin rugosidad en un 8,24% del área, además, el territorio se encuentra compuesto por pendientes que varían entre el 6% y 15%, en donde se establecen microrrelieves modernamente ondulados o cóncavos en 8,78% del área. Estos microrrelieves y pendientes, poseen características fundamentales para

la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica como se observa en la Tabla 9, teniendo en cuenta que Matus *et al.* (2009) establece que, la posibilidad de recarga hídrica en zonas con pendientes en el rango de 0% a 15% varía de muy alta a alta.

Por otra parte, el sector de la cuenca del río Chitagá en estudio muestra que la posibilidad de recarga se define de moderada a muy baja en virtud del relieve y la pendiente del terreno establecidos en la Figura 5, que en su mayor parte se encuentran pendientes con superficies onduladas o cóncavas, escarpadas y fuertemente escarpadas con valores que oscilan entre el 15% y superiores al 65% y representan el 71,07% del tramo de la cuenca.

Tabla 9

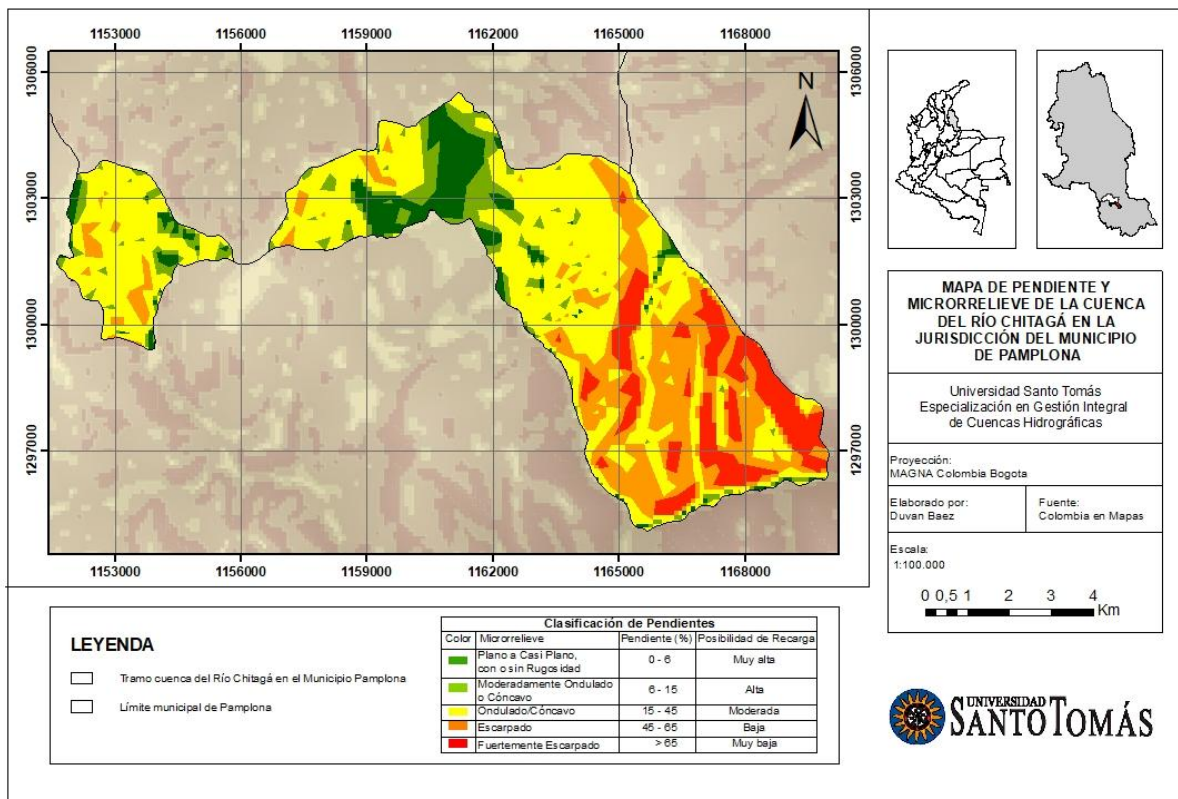
Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Chitagá

Microrrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Plano a Casi Plano, con o sin Rugosidad	0-6	Muy alta	499,28	8,24
Moderadamente Ondulado o Cóncavo	6-15	Alta	532,23	8,78
Ondulado/Cóncavo	15-45	Moderada	2910,09	48
Escarpado	45-65	Baja	1398,67	23,07
Fuertemente Escarpado	>65	Muy baja	722,3	11,91

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.12, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 5

Mapa de Pendiente y Microrrelieve de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales obtenidos de la plataforma Colombia en Mapas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Escala 1:100.000.

Las tres zonas de estudio en el municipio muestran en el elemento biofísico pendiente y microrrelieve las cinco categorías establecidas por Matus et al. (2009). En virtud de esto, el proceso de infiltración del agua en estas zonas se va a ver afectado como resultado de que las altas pendientes propician que el proceso de escorrentía sea más rápido y por consecuencia se disminuya el tiempo de contacto del agua con la superficie en los sectores de las cuencas de los ríos Pamplonita y Zulía en una porción menor a la cuarta parte del área, mientras que en la parte de la cuenca del río Chitagá esta condición influye en un poco más de un tercio (34,98%) del área.

Tipo de Suelo

El tipo de suelo también es un factor relevante en la ubicación de las zonas potenciales de recarga, siendo este elemento biofísico determinante a causa de la textura que presentan los suelos en el territorio, la cual determina la capacidad de infiltración del agua en la zona. Por su parte (Núñez, 1981, como se citó en Suarez, 2021) señala 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 arenoso, arenosa franca, que en suelos de textura fina o pesados, como los arcillosos” (p. 37).

El tipo de suelo presente en los tramos de las cuencas que componen el municipio de Pamplona, Norte de Santander, se determinó a partir de las características de textura del suelo descritas el mapa de estudio general de suelos del departamento de Norte de Santander a escala 1:100.000 elaborado por el IGAC en el año 2006, en función de la clase textural se determinó la posibilidad de recarga, la ponderación y el área en hectáreas para el tipo de recarga correspondiente para cada suelo, como se observa en la Tabla 10, Tabla 11, y Tabla 12.

Tipo de suelo de la Cuenca del Río Pamplonita.

En la Tabla 10 y la Figura 6, se evidencia la clasificación del tipo de suelo para el sector de la cuenca del río Pamplonita en el municipio de Pamplona, la cual muestra que se presentan cuatro tipos de textura; los suelos franco arenosos a arenosos con posibilidad de recarga muy alta, esta clase se ve representada en el 34,35% del área de la cuenca por suelo franco arenoso y suelo franco arenoso a franco; debido a que la “textura gruesa como la arena, es altamente porosa y tiene una baja densidad, lo que permite que el agua se infiltre fácil y rápidamente en el subsuelo” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] y el Servicio Geológico Colombiano [SGC], s.f.).

Por otra parte, los suelos francos que presentan posibilidad de recarga alta, en virtud de sus características físicas, que los describen como “ligeros, aireados y permeables, pero no tanto

como los arenosos y cuentan con una capacidad media-alta de retención de agua” (Ruiz y Vera, 2019, p. 84), dentro de estos se establecieron los suelos con textura franca a franco arcillosa y arcillosa, textura franca y arcillo limoso y textura franca a franco arcillo arenosa, en un área de 2011,79 hectáreas que corresponde al 16,26% del área de estudio.

A su vez, el terreno exhibe la categoría de suelos franco-arcillosos la cual se compone de cuatro tipos de texturas que corresponden a textura franca arcillo arenosa a franco arenosa, textura franca arcillo arenosa con gravilla, textura franca arcillo arenosa, textura franco-arcillosa y arcillosa y textura franco arcilloso. Estos constituyen el mayor porcentaje de área de la cuenca, en un 34,89% que corresponde a 4317,66 hectáreas de suelo con posibilidad de recarga baja, esto porque “son suelos de escasa capacidad de infiltración una vez saturados, tienen de 20 a 40% de arcilla y menos de 50% de arena” (Mongil y Navarro, 2012, p. 143).

Dentro de los tipos de suelo con posibilidad de recarga baja encontramos los suelos con textura arcillosa y la zona urbana, estos suelos se establecen en el 14,5% del área. Los suelos con textura arcillosa según el MinAmbiente *et al.* (s.f.), están compuestos por partículas finas, por esta razón, se “puede limitar la infiltración de agua debido a su baja macroporosidad y alta densidad”.

Asimismo, los suelos en donde se encuentran las zonas urbanas disminuyen el proceso de infiltración en el suelo, dado que cuentan con “una menor probabilidad de recarga de acuíferos debido a que están compuestas por superficies impermeables” MinAmbiente *et al.* (s.f.).

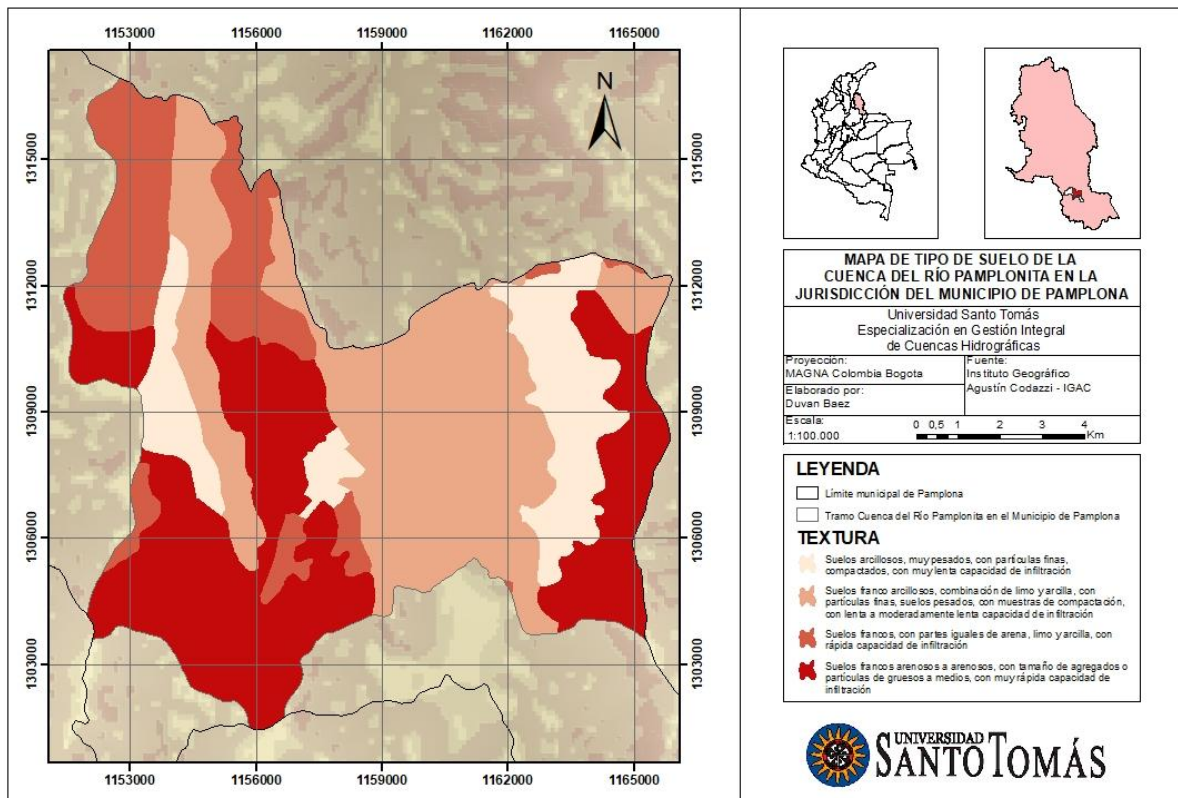
Tabla 10*Tipo de Suelo de la Cuenca del Río Pamplonita*

Textura	Textura Cuenca Río Pamplonita	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Suelos franco-arenosos a arenosos	franco arenoso	Muy Alta	4250,3	34,35
	franco arenoso a franca			
Suelos francos	franca a franco arcillosa y arcillosa	Alta	2011,79	16,26
	franco y arcillo limoso			
	franco a franco arcillo arenosa			
Suelos franco-arcillosos	franco a franco arcillo arenosa	Baja	4317,66	34,89
	franco arcillo arenosa a franco arenosa			
	franco arcillo arenosa con gravilla			
	franco arcillo arenosa, franco arcillosa y arcillosa			
	franco arcilloso			
Suelos arcillosos	Arcillosas	Muy Baja	1794,37	14,5
	Zona urbana			

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.13, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 6

Mapa de Tipo de Suelo de la Cuenca del Río Pamplonita en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Escala 1:100.000.

Tipo de suelo de la Cuenca del Río Zulia.

El tramo de la cuenca del río Zulia en el municipio exhibe cinco categorías de suelo como se evidencia en la Tabla 11 y en la Figura 7, en la categoría con posibilidad de recarga muy alta se ubican los suelos franco arenosos a arenosos, que a la vez se subdividen en suelos con textura arenosa franca, franco arenoso y franco arenoso a franca, en un área de 4737,82 hectáreas, que corresponde al 41,63% del área total de la zona, la alta presencia de estos suelos

de textura gruesa en la zona de estudio de la cuenca facilitan el proceso de recarga hídrica, dado que los “suelos de textura gruesa son muy efectivos para recargar acuíferos, puesto que la arena tiene una buena permeabilidad, lo que permite que el agua se filtre profundamente en el suelo” MinAmbiente *et al.* (s.f.).

También se evidencia la existencia de suelo franco en un área de 1908,86 hectáreas, que se compone por suelos con textura franca a franco arcillosa y arcillosa, franco a franco arcillo arenosa, Ruiz y Vera (2019) afirman que este tipo de suelos “son ligeros, aireados y permeables, pero no tanto como los arenosos y cuentan con una capacidad media-alta de retención de agua, aunque no retienen la misma cantidad del suelo arcilloso” (p. 84), por tal motivo, la posibilidad de recarga de estos suelos es alta conforme a su alta capacidad de infiltración del agua en 16,77% del área.

De acuerdo con lo anterior el tramo de la cuenca del río Zulía en el municipio de Pamplona muestra en el elemento biofísico tipo de suelo una posibilidad de recarga de alta a muy alta en áreas que comprenden el 58,4%.

Por otro lado, las zonas con textura franco arenosa y arcillosa y textura franco arenoso, arcilloso, se categorizan como suelos franco limosos como resultado de promediar la ponderación de posibilidad de recarga, dado que se adoptó el procedimiento que el MinAmbiente *et al.* (s.f.), expone en la “Guía Metodológica para la Identificación de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos”, el cual indica que cuando no existe una clase textural que prevalezca con un porcentaje mayor del 60, se deben tomar las dos primeras clases texturales y se asignan se asignan los valores correspondientes a la ponderación de posibilidad de recarga, para estos casos y se promedian. En esta situación, los dos tipos de suelos contienen clase textural franco arenosa, la cual se pondero con un valor de cinco y la clase textural arcillosa con un valor de uno, el promedio de estos valores exhibe un valor de 3, lo cual corresponde a posibilidad de

recarga moderada, que de acuerdo con Matus *et al.* (2008), este tipo de recarga en la clasificación del tipo de suelo corresponde a la tipología de suelos franco-limosos.

Además, el 23,58 % área posee suelos franco arcillosos con baja capacidad de recarga y suelos arcillosos en un área de 1165,11 hectáreas que corresponde a 10,24% del área total, en donde la posibilidad de recarga por tipo de suelo es muy baja, ya que los suelos con textura arcillosa según Mongil y Navarro (2012), “presentan un elevado potencial de escorrentía cuando están completamente saturados de humedad, puesto que el movimiento de agua a través del suelo es limitado o muy limitado” (p. 143).

Tabla 11

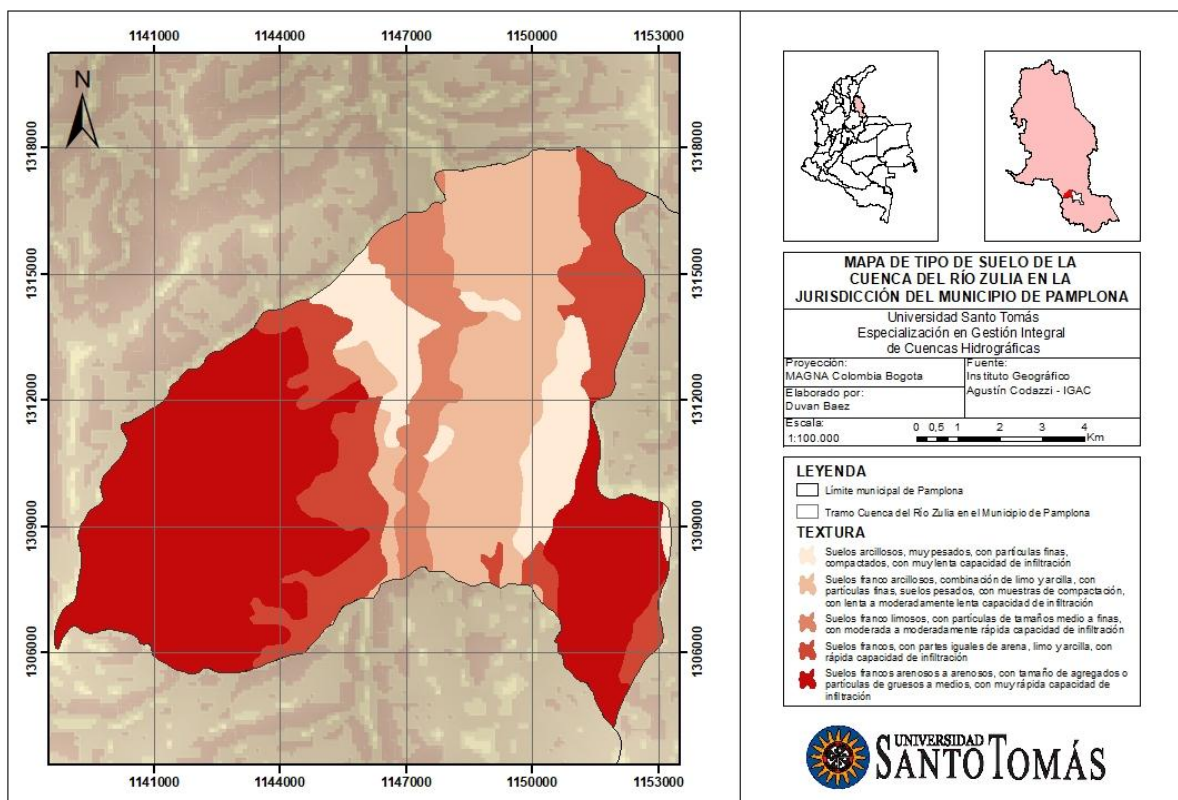
Tipo de Suelo de la Cuenca del Río Zulia

Textura	Textura Cuenca Río Zulia	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Suelos franco-arenosos a arenosos	arenosa franca	Muy Alta	4737,82	41,63
	franco arenoso			
	franco arenoso a franca			
Suelos francos	franca a franco arcillosa y arcillosa	Alta	1908,86	16,77
	franco a franco arcillo arenosa			
Suelos Franco Limosos	franco arenosa y arcillosa	Moderada	885,17	7,78
	franco arenoso, arcillosa			
Suelos franco arcillosos	franco arcillo arenosa, franco arcillosa y arcillosa	Baja	2683,67	23,58
	franco arcilloso y franco arenoso			
Suelos arcillosos	arcillosa con fragmentos de roca Arcillosas	Muy Baja	1165,11	10,24

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.13, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 7

Mapa de Tipo de Suelo de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Escala 1:100.000.

Tipo de suelo de la Cuenca del Río Chitagá.

En la cuenca del río Chitagá en la jurisdicción del municipio de Pamplona predominan con un área de 2413,75 hectáreas, con un porcentaje de 39,81% los suelos franco-arcillosos, estos “son muy impermeables, es decir, su capacidad de infiltrar el agua es baja, este es un tipo de suelo que permite el escurrimiento superficial del agua” (Ruiz y Vera, 2019, p. 83), por lo tanto, las áreas de la cuenca que cuentan con este suelo tienen una baja posibilidad de recarga.

Por otra parte, los suelos franco-arenosos a arenosos y los suelos francos componen diversas áreas que en conjunto corresponden a 3475,86 hectáreas, es decir que los suelos que exhiben estas áreas comprenden el 57,33% del área total y la capacidad de recarga que sobresale en estas zonas se expresa de alta a muy alta.

Los suelos con clase textural franco arenosos a arenosos, como se muestra en la Figura 8 y en la Tabla 12, tienen mayor aptitud para el proceso de recarga hídrica, dado que esta tipología presenta “permeabilidad promedio de un 70% y una capacidad de retención de un 30%” (Ruiz y Vera, 2019, p. 84) y se encuentra en un área de 2377,72 hectáreas, lo que equivale a 39,22% del área total del tramo de la cuenca.

Sumado a esto, encontramos los suelos francos con una capacidad de recarga alta, que corresponden a 1098,14 hectáreas, en otros términos, son áreas que se extienden en el 18,11% de la zona de estudio. Esta tipología de suelo debe su clasificación de recarga alta a su “velocidad media-alta de infiltración, que permite el paso adecuado del agua sin saturar el terreno” (Ruiz y Vera, 2019, p. 86).

Y en una pequeña porción existen los suelos arcillosos, que, debido a su alta compactación, la fase de infiltración del agua en el suelo se ve ralentizada y causa de esto se cuenta con el 1,56% de terreno con capacidad de recarga hídrica muy baja.

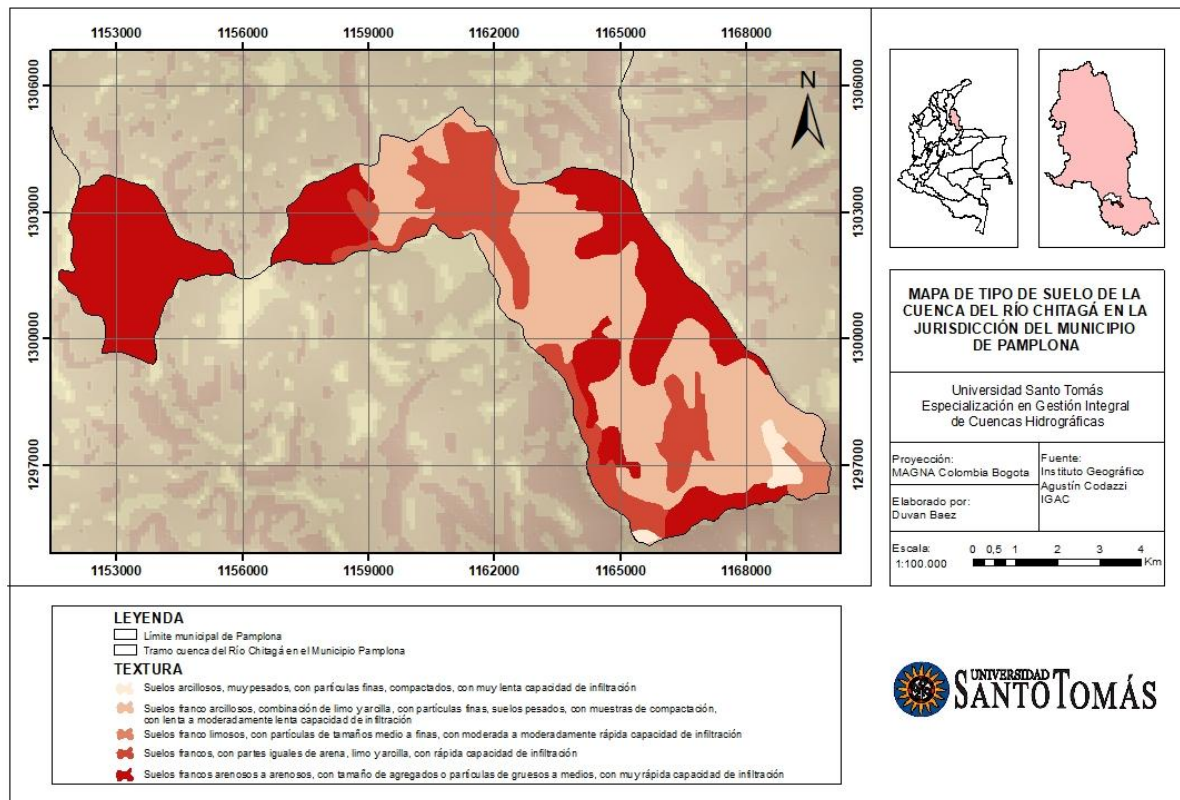
Tabla 12*Tipo de Suelo de la Cuenca del Río Chitagá*

Textura	Textura Cuenca Río Chitagá	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Suelos franco arenosos a arenosos	arenosa franca	Muy Alta	2377,72	39,22
	franco arenoso			
	franco arenoso a arcillosa			
	franco arenoso a franca			
Suelos francos	franca a franco arcillo arenosa gravillosa	Alta	1098,14	18,11
	franca a franco arcillosa y arcillosa			
	franca y arcillo limosa			
	franco arcillo arenosa			
Suelos Franco Limosos	franco arenosa y arcillosa	Moderada	78,18	1,29
Suelos franco arcillosos	franco arcillo arenosa	Baja	2413,75	39,81
	franco arcillo arenosa a franco arenosa			
	franco arcillo arenosa con gravilla			
	franco arcillo arenosa, franco arcillosa y arcillosa			
	franco arcilloso			
Suelos arcillosos	franco arcilloso y franco arenoso	Muy Baja	94,79	1,56
	arcillosa y franco arcilloso arcillosas			

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.13, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 8

Mapa de Tipo de Suelo de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
Escala 1:100.000.

Tipo de roca

La evaluación de este elemento biofísico se realizó a por medio del análisis cartográfico del mapa geológico de Colombia 2023 a escala 1,5 M elaborado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), para esto se llevó a cabo la clasificación de las rocas presentes en las áreas de las cuencas del sector del municipio de Pamplona, para lo cual se usó la clasificación recomendada por Matus *et al.* (2009) en la “Guía para la identificación participativa de zonas con

potencial de recarga hídrica”, en donde se describen las rocas de acuerdo a su permeabilidad y suavidad en rocas muy permeables, muy suaves; permeables, suaves; moderadamente permeables, semisuaves; poco permeables, un poco duras; impermeables, duras, cementadas y compactadas.

Para lograr la clasificación adecuada se implementaron las memorias técnicas correspondientes a las planchas 5-07 y 5-04 del mapa de permeabilidades de Colombia a escala 1:500.000 del año 2010 y 2011, elaboradas por el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), de acuerdo con lo anterior, se utilizó el anexo A de las dos memorias, tomando en cuenta el símbolo de las rocas y la litología, esta tabla permite identificar la litopermeabilidad de las rocas en cuatro categorías, descritas por INGEOMINAS (2011) así:

Sedimentos, rocas sedimentarias y vulcanoclásticas de alta a media permeabilidad, rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas con disolución y/o fracturamiento de alta a media permeabilidad, sedimentos y rocas sedimentarias de baja permeabilidad y sedimentos, rocas sedimentarias muy compactas, ígneas y metamórficas de baja permeabilidad.
(plancha 5-04)

Como también se implementaron las clasificaciones postuladas por INGEOMINAS (1987), en las que describe las características hidrogeológicas en categorías como los “sedimentos y rocas con porosidad primaria de interés hidrogeológico; rocas con porosidad primaria y secundaria de interés hidrogeológico y sedimentos y rocas con porosidad primaria y secundaria sin interés hidrogeológico”.

Tipo de Roca de la Cuenca del Río Pamplonita.

El tipo de roca del sector de la cuenca del río Pamplonita en el municipio de Pamplona se muestra en la Tabla 13 y en la Figura 9, en donde se evidencia las tipologías halladas en este territorio, de acuerdo a la implementación de las fuentes mencionadas anteriormente, lo que

derivó en tres áreas de tipos de posibilidad de recarga hídrica, muy alta, alta y muy baja, que al compararlos con las tipologías descritas por Matus *et al.* (2009) en la “Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica” corresponden a tipos de rocas muy permeables, permeables e impermeables.

En función de lo anterior, la posibilidad de recarga que destaca es alta a muy alta en un área de 6947,26 hectáreas, lo que constituye el 56.11% de 12374,11 hectáreas que tiene el tramo de la cuenca, debido a que las rocas muy permeables descritas por INGEOMINAS (2008) como “unidades geológicas intergranulares, constituidas por sedimentos aluviales, de costas, vulcanoclásticos y rocas sedimentarias poco consolidadas de ambiente continental” se encuentran en el territorio en un área de 1043,73 hectáreas que equivalen al 8,43%.

Y las rocas de tipo permeable que comprende “unidades geológicas fracturadas o con disolución, constituidas por rocas sedimentarias y vulcanoclásticas de ambiente marino, transicional y continental, rocas ígneas y metamórficas” (INGEOMINAS, 2008), se encuentran en áreas que representan 5899,53 hectáreas, siendo esta tipología de la mayor influencia para la posibilidad de recarga hídrica, debido a que son el 47,68% del área total de la zona de estudio de la cuenca del río Pamplonita.

Y el resto de área se compone por roca de tipo impermeable como resultado de que esta categoría incluye “unidades geológicas sin capacidad de absorber o transmitir agua, complejo de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas muy compactas” (INGEOMINAS, 2010), esto permite establecer que la posibilidad de recarga en el 43,89 % del área es muy baja dado su alto grado de dureza.

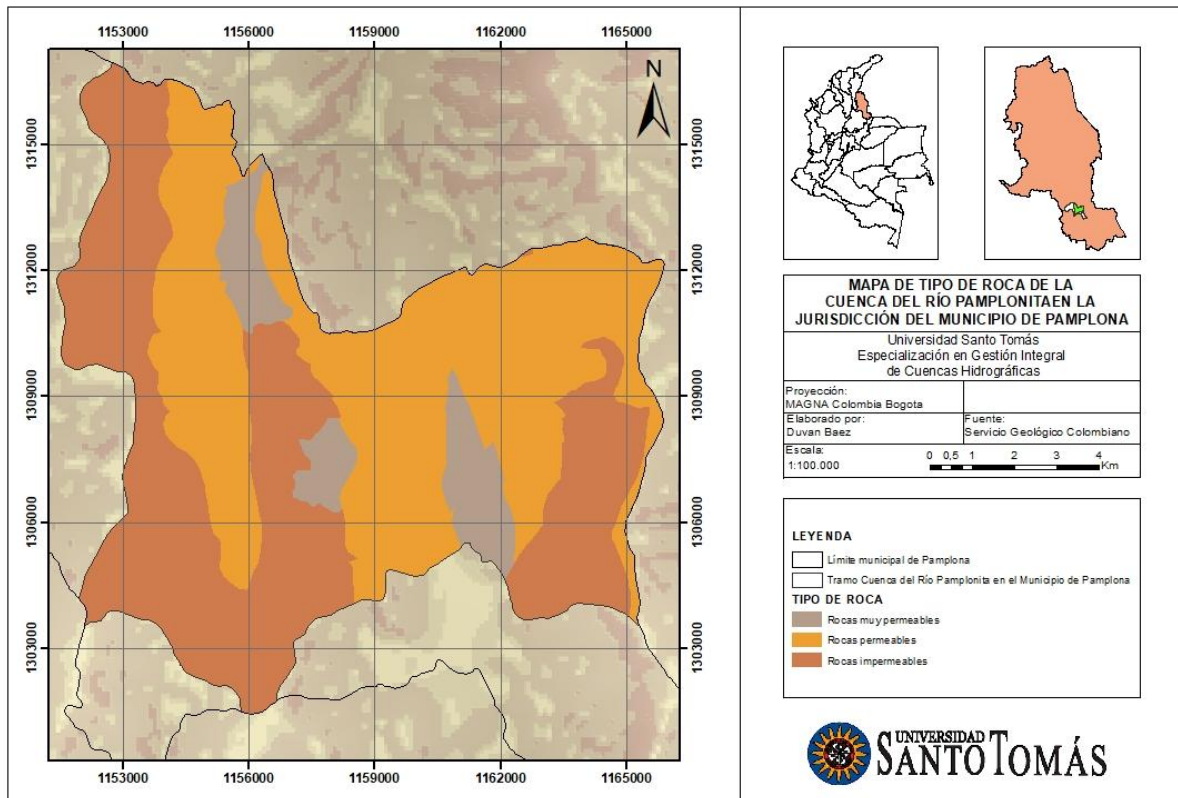
Tabla 13*Tipo de Rocas de la Cuenca del Río Pamplonita*

Rocas	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Conglomerados intercalados con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas carbonosas	Muy Alta	1043,73	8,43
Depósitos aluviales y de llanuras aluviales			
Abanicos aluviales y depósitos coluviales			
Cuarzoarenitas de grano fino a grueso; conglomerados y arenitas feldespáticas y líticas, e intercalaciones de lodolitas oscuras	Alta	5899,53	47,68
Arenitas feldespáticas con intercalaciones de calizas, shales, margas y arenitas glauconíticas.			
Calizas intercaladas con margas y lodolitas calcáreas y arenosas			
Shales, calizas, arenitas, cherts y fosforitas			
Capas rojas constituidas por arenitas, conglomerados y limolitas	Muy Baja	5430,85	43,89
Filitas, esquistos, cuarcitas, pizarras, metaconglomerados, metalimolitas y mármoles.			
Ortogneises graníticos a tonalíticos y paragneises de composición anfibolítica y textura migmatítica			
Granitos con moscovita			
Arenitas, limolitas y lodolitas con intercalaciones de calizas, tobas y lavas			

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.15, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 9

Mapa de Tipo de Roca de la Cuenca del Río Pamplonita en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Servicio Geológico Colombiano (SGC). Escala 1:100.000.

Tipo de Roca de la Cuenca del Río Zulia.

La zona de estudio de la cuenca del río Zulia se encuentra compuesta por dos tipologías de rocas, dentro de las cuales destacan las rocas impermeables, tomando como referencia las 8256,32 hectáreas que indican que el territorio presenta posibilidad de recarga muy baja en el 72,55% del terreno.

Esta clasificación se atribuye al Departamento Nacional de Planeación (1983), el cual determina que las rocas ígneas y metamórficas que se encuentran los departamentos que incluyen el plano seis del mapa hidrogeológico general de Colombia, incluido el departamento de Norte de Santander, se establecen como formaciones impermeables.

También, se muestra que el área restante corresponde a 3124,3 hectáreas, es decir el 27,45% del área de estudio, conformadas según el Servicio Geológico Colombiano (2023) por unidades cronoestratigráficas como “b4b6-Sm, arenitas feldespáticas con intercalaciones de calizas, shales, margas y arenitas glauconíticas y b6k6-Stm, shales, calizas, arenitas, cherts y fosforitas” (Plancha 5-06).

Que en conformidad a lo dispuesto por IGEO MINAS (1989) estas unidades son representativas de “rocas con porosidad primaria y secundaria de interés hidrogeológico”, por lo que sus particularidades litológicas son propias de rocas sedimentarias depositadas en el cretácico tanto superior como inferior y poseen una permeabilidad de alta a moderada, por lo cual se designa una capacidad de recarga alta en estas áreas de la cuenca como se muestra en la Tabla 14 y la Figura 10.

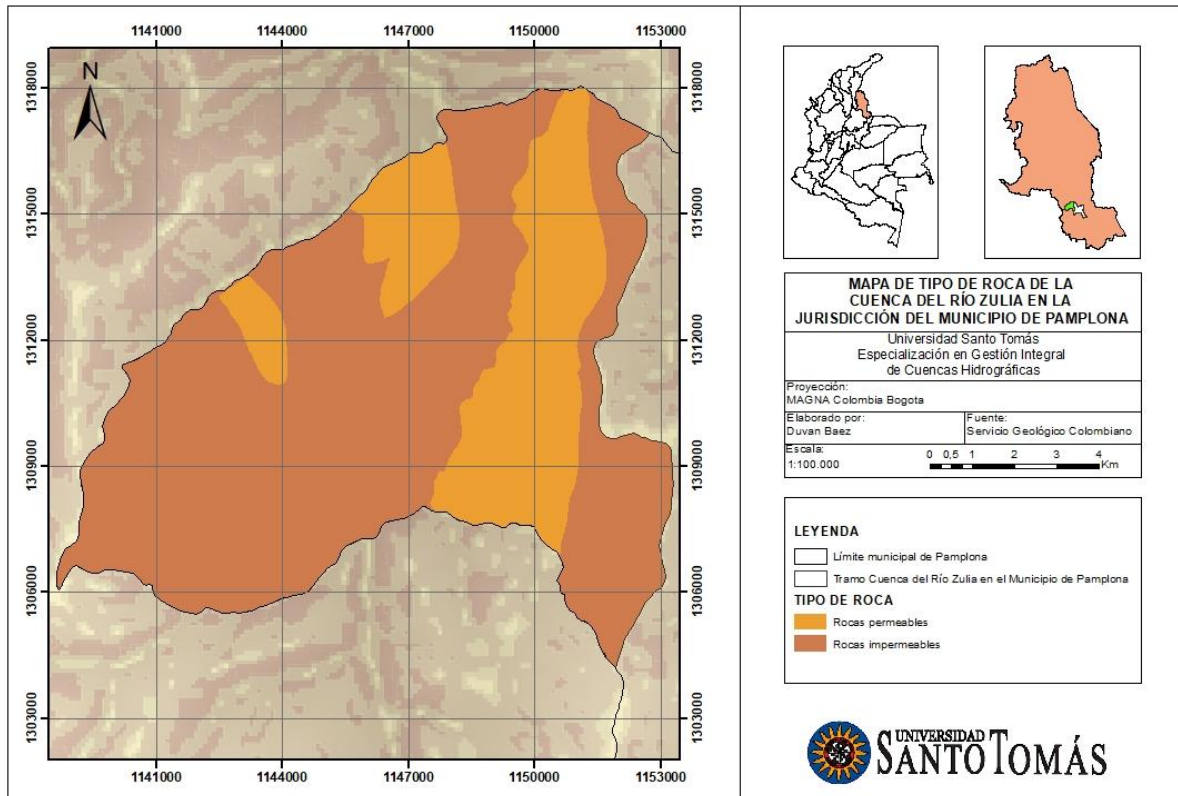
Tabla 14*Tipo de Rocas de la Cuenca del Río Zulia*

Rocas	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Arenitas feldespáticas con intercalaciones de calizas, shales, margas y arenitas glauconíticas.	Alta	3124,3	27,45
Shales, calizas, arenitas, cherts y fosforitas			
Granodioritas que varían de sienogranitos a tonalitas y de cuarzomonzonitas a cuarzomonzodioritas			
Limolitas con intercalaciones de arenitas, arcillolitas y calizas arenosas.			
Filitas, esquistos, cuarcitas, pizarras, metaconglomerados, metalimolitas y mármoles	Muy Baja	8256,32	72,55
Ortogneises graníticos a tonalíticos y paragneises de composición anfibolítica y textura migmatítica			
Granitos con moscovita			
Metalodolitas, metarenitas, metaconglomerados y mármoles.			

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.15, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 10

Mapa de Tipo de Roca de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Servicio Geológico Colombiano (SGC). Escala 1:100.000.

Tipo de Roca de la Cuenca del Río Chitagá.

La sección de la cuenca en estudio del río Chitagá al igual que la cuenca del río Pamplonita se caracteriza por contar con áreas de posibilidad de recarga muy alta, alta y muy baja, en el elemento biofísico tipo de roca, Tabla 15 y Figura 11. Esto permite establecer que el tramo de la cuenca presente en el municipio de Pamplona, posee un área de 433,12 hectáreas con presencia de rocas muy permeables, con posibilidad de recarga muy alta.

Otro componente son las áreas en las que se encuentran rocas permeables, estas permiten que la recarga sea alta en las zonas en donde se ubican y representan un gran porcentaje del área del tramo de la cuenca con un valor de 38,87%, estas zonas al presentar rocas suaves se favorecen la capacidad de recarga en la cuenca y esto se expresa como posibilidad de recarga alta.

Dado que se compone por rocas sedimentarias de ambiente continental transicional marino, sedimentarias de ambiente marino, sedimentaria de ambiente transicional marino y sedimentarias de ambiente continental, y que INGEOMINAS (2008) las categoriza como “rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas con disolución y/o fractura miento de alta a media permeabilidad”

Adicionalmente, en la zona de estudio se hallan rocas de carácter impermeable en un área de gran tamaño, lo que dificulta el proceso de recarga en la cuenca, por tanto, que esta tipología manifiesta una posibilidad de recarga hídrica muy bajo.

Debido a que se integra en mayor proporción por rocas ígneas plutónicas félsicas; metamórficas de bajo grado, de medio grado, y alto grado y sedimentarias de ambiente continental transicional marino y marino, que según INGEOMINAS (1989) corresponden a rocas plutónicas paleozoicas, rocas metamórficas paleozoicas y rocas sedimentarias paleozoicas, cuya característica principal es su impermeabilidad.

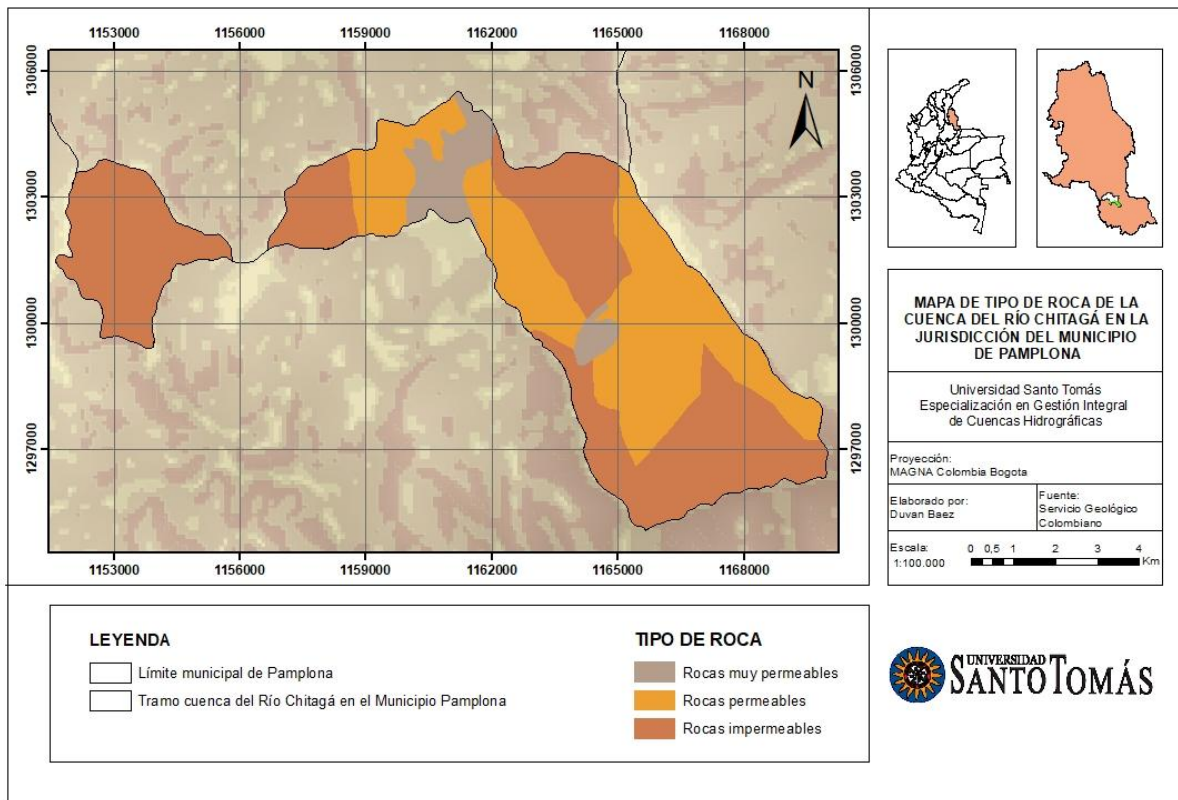
Tabla 15*Tipo de Rocas de la Cuenca del Río Chitagá*

Rocas	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Abanicos aluviales y depósitos coluviales	Muy Alta	433,12	7,14
Depósitos aluviales y de llanuras aluviales			
Conglomerados intercalados con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas carbonosas			
Cuarzoarenitas de grano fino a grueso; conglomerados y arenitas feldespáticas y líticas, e intercalaciones de lodolitas oscuras	Alta	2356,68	38,87
Calizas intercaladas con margas y lodolitas calcáreas y arenosas			
Shales, calizas, arenitas, cherts y fosforitas			
Capas rojas constituidas por arenitas, conglomerados y limolitas			
Filitas, esquistos, cuarcitas, pizarras, metaconglomerados, metalimolitas y mármoles	Muy Baja	3272,77	53,98
Granitos con moscovita			
Limolitas con intercalaciones de arenitas, arcillolitas y calizas arenosas			
Conglomerados; arenitas de grano fino a medio con intercalaciones de limolitas, y arcillolitas rojizas			
Gneises cuarzofeldespáticos, migmatitas, granulitas, anfibolitas, ortogneises, cuarcitas y mármoles			
Ortogneises graníticos a tonalíticos y paragneises de composición anfibolítica y textura migmatítica			

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.15, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 11

Mapa de Tipo de Roca de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Servicio Geológico Colombiano (SGC). Escala 1:100.000.

Cobertura Vegetal

La Fundación AGRECOL Andes (2019) afirma que, “en cuanto a la cobertura vegetal, de manera práctica, a mayor porcentaje, de vegetación, mayor capacidad de infiltración del agua, y por consiguiente más recarga hídrica” (p. 6). En consecuencia, las zonas con potencial de recarga hídrica con carencia de cobertura vegetal, para Blanco (2011) “presentan una menor capacidad para almacenar humedad y su aporte se da debido a la percolación del agua, que en gran parte se presenta cuando ocurren las precipitaciones” (p.181). Esto, permite establecer que las zonas de recarga de agua que cuentan con una mayor cobertura vegetativa tienden a retener mayor humedad, de tal manera, que posibilita el flujo de agua tanto superficial como subterránea (Blanco, 2011). Además de favorecer la recarga hídrica, las áreas con presencia de cobertura vegetal multiestratificada protegen y preservan el suelo, debido a que aminora “la velocidad de escorrentía, la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la resequedad causada por los rayos del sol” (Bustamante *et al*, 2021, p. 56).

Para identificar la posibilidad de recarga del elemento biofísico de cobertura vegetal en los territorios de las cuencas de estudio en el municipio de Pamplona como lo estipula Matus *et al*. (2009), en las cinco categorías de posibilidad de recarga desde muy alta a muy baja, se acogió la metodología propuesta por el MinAmbiente *et al*. (s.f.). en la “Guía Metodológica para la Identificación de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos” en la cual establece los mismos valores para posibilidad de recarga y ponderación que en la “Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica” propuesta por Matus *et al*. (2009).

De esta forma, el proceso de determinación y de ponderación de la recarga hídrica se efectuó tomando como referencia el “mapa de cobertura de la tierra metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia en el periodo 2020 a escala 1:100.000” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2024), y se clasifica la posibilidad de recarga de acuerdo a la leyenda nacional de coberturas de nivel tres que presenta el territorio colombiano.

Conforme a lo anterior se evidencia la clasificación de las coberturas de la tierra presentes en los sectores de cuencas en la jurisdicción del municipio de Pamplona de la siguiente manera, río Pamplonita, Tabla 16 y Figura 12, río Zulia Tabla 17 y Figura 13 y río Chitagá Tabla 18 y Figura 14.

Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Pamplonita.

Considerando las disposiciones para la clasificación de la cobertura de la tierra enunciadas anteriormente, se realizó el análisis cartográfico del nivel tres de la cobertura de la metodología CORINE Land Cover que ostenta el segmento de la cuenca del río Pamplonita en el municipio de Pamplona y logro determinar cinco categorías de posibilidad de recarga, en donde se muestra la existencia de coberturas con capacidad de recarga alta en un área de 1112,33 hectáreas, comprendidas entre bosque denso y bosque fragmentado.

También se pueden identificar ocho clases de cobertura que corresponden a una alta capacidad de recarga, en donde se encuentran los pastos arbolados, pastos enmalezados, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, mosaico de pastos con espacios naturales, mosaico de cultivos con espacios naturales, plantación forestal, herbazal, arbustal y vegetación secundaria o en transición. Estas coberturas corresponden al área con mayor incidencia para la recarga hídrica, en vista de que cuentan con un área de 6851,83 hectáreas, que superan el 50% del territorio de estudio.

Las coberturas de nivel tres como pastos limpios, mosaico de cultivos y mosaico de pastos y cultivos, se establecen en áreas que suman 4060,71 hectáreas, en las cuales la recarga del agua es moderada. Basado en lo mencionado, se identificó que la superficie de la cuenca del río Pamplonita dentro del municipio expone una posibilidad de recarga que varía de muy alta a moderada en el 97,18% del total del área. Y solo el 2,82% del territorio posee baja a muy baja posibilidad de recarga debido a que en esta extensión se evidencian coberturas de nivel dos de la metodología CORINE Land Cover que no cuentan con cobertura vegetal como las zonas

urbanizadas, zonas verdes artificializadas no agrícolas y zonas industriales o comerciales y redes de comunicación.

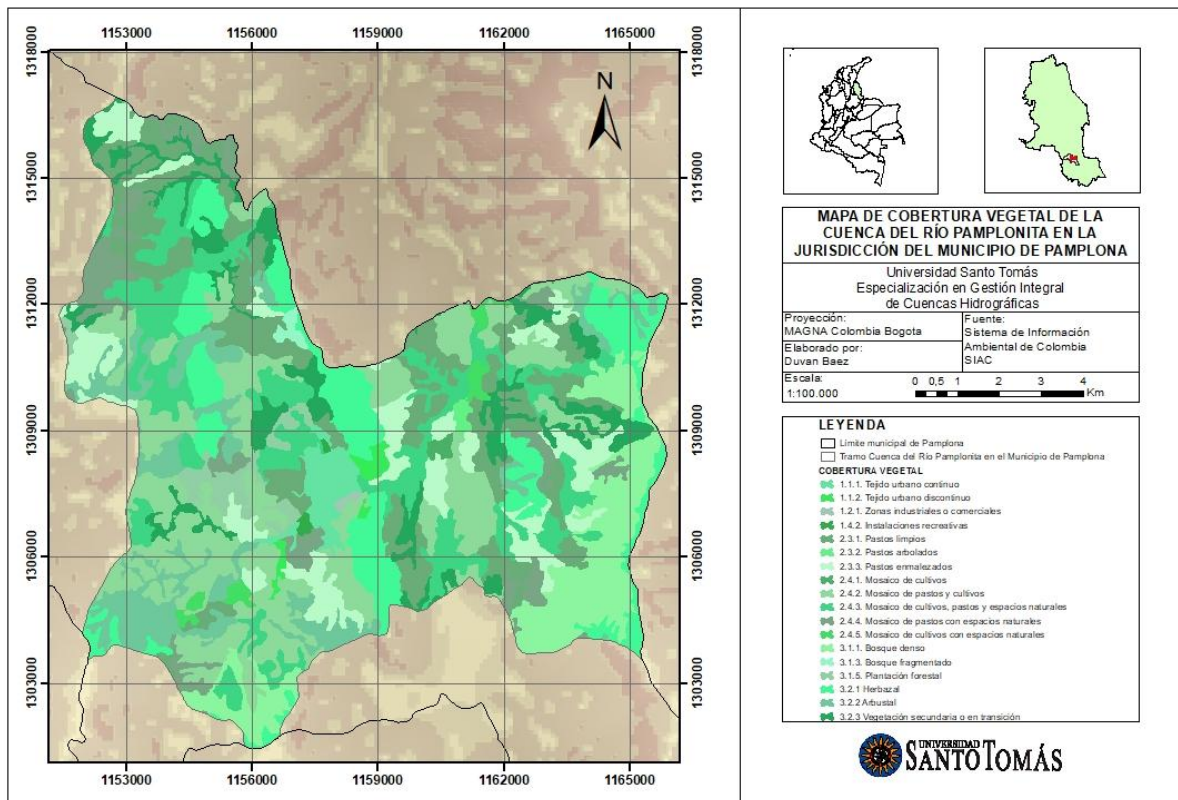
Tabla 16

Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Pamplonita

Cobertura (CLC)	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
3.1.1. Bosque denso	Muy Alta	1112,33	8,99
3.1.3. Bosque fragmentado			
2.3.2. Pastos arbolados	Alta	6851,83	55,37
2.3.3. Pastos enmalezados			
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales			
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales			
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales			
3.1.5. Plantación forestal	Moderada	4060,71	32,82
3.2.1. Herbazal			
3.2.2. Arbustal			
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición			
2.3.1. Pastos limpios			
2.4.1. Mosaico de cultivos			
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos			
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	Baja	97,67	0,79
1.4.2. Instalaciones recreativas			
1.1.1. Tejido urbano continuo	Muy Baja	251,57	2,03
1.2.1. Zonas industriales o comerciales			

Figura 12

Mapa de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Pamplonita en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). Escala 1:100.000.

Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Zulia.

La porción de área de la cuenca del río Zulia que pertenece al municipio, está integrada por coberturas de la tierra que se caracterizan por poseer de moderada a muy alta capacidad de recarga como resultado de que en estas zonas no existen superficies revestidas o con impermeabilización como las zonas urbanas.

En virtud de lo descrito anteriormente, en la Figura 13 se muestra el mapa de cobertura de la zona, en el cual se evidencian las 12 categorías de cobertura de la tierra de nivel tres representativas de la metodología CORINE Land Cover y en la Tabla 17 se observan la clasificación de estas coberturas conforme a su posibilidad de recarga.

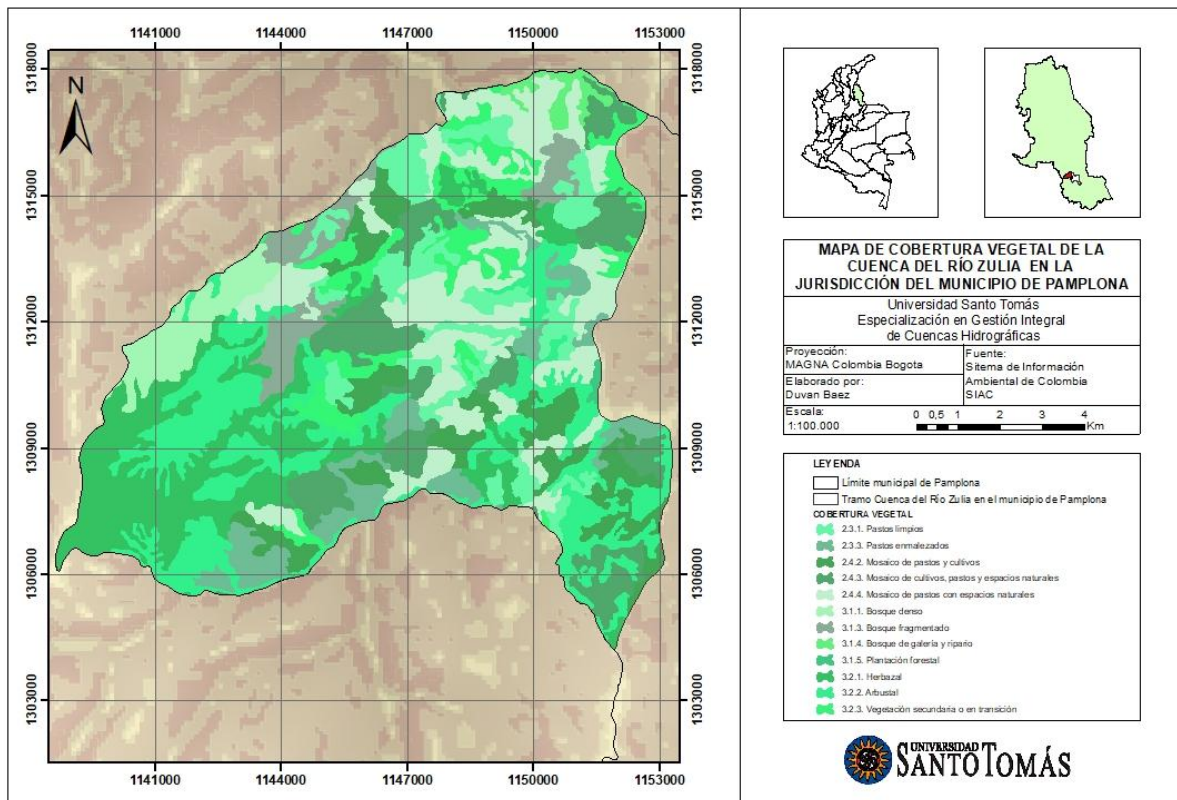
Tabla 17

Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Zulia

Cobertura (CLC)	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
3.1.1. Bosque denso	Muy Alta	1028,18	9,03
3.1.3. Bosque fragmentado			
3.1.4. Bosque de galería y ripario			
2.3.3. Pastos enmalezados			
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Alta	8275,28	72,71
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales			
3.1.5. Plantación forestal			
3.2.1. Herbazal			
3.2.2. Arbustal	Moderada	2077,16	18,25
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición			
2.3.1. Pastos limpios			
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos			

Figura 13

Mapa de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). Escala 1:100.000.

Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Chitagá.

La cobertura vegetal del municipio de Pamplona, posee coberturas como bosque denso, bosque fragmentado y ríos, que para MinAmbiente *et al.* (s.f.). poseen muy alta probabilidad de recarga hídrica y se extienden en una pequeña área del tramo de la cuenca en el municipio, que corresponde al 4,18% del área total, también se encuentra la posibilidad de recarga alta, que se da por la presencia de áreas con vegetación natural y forestal con áreas productivas, en un

68,13% del sector evaluado, adicionalmente presenta en el 27,69% del área posibilidad de recarga moderada por las intervención antropogénica de las áreas y la falta de espacios con presencia de vegetación densa.

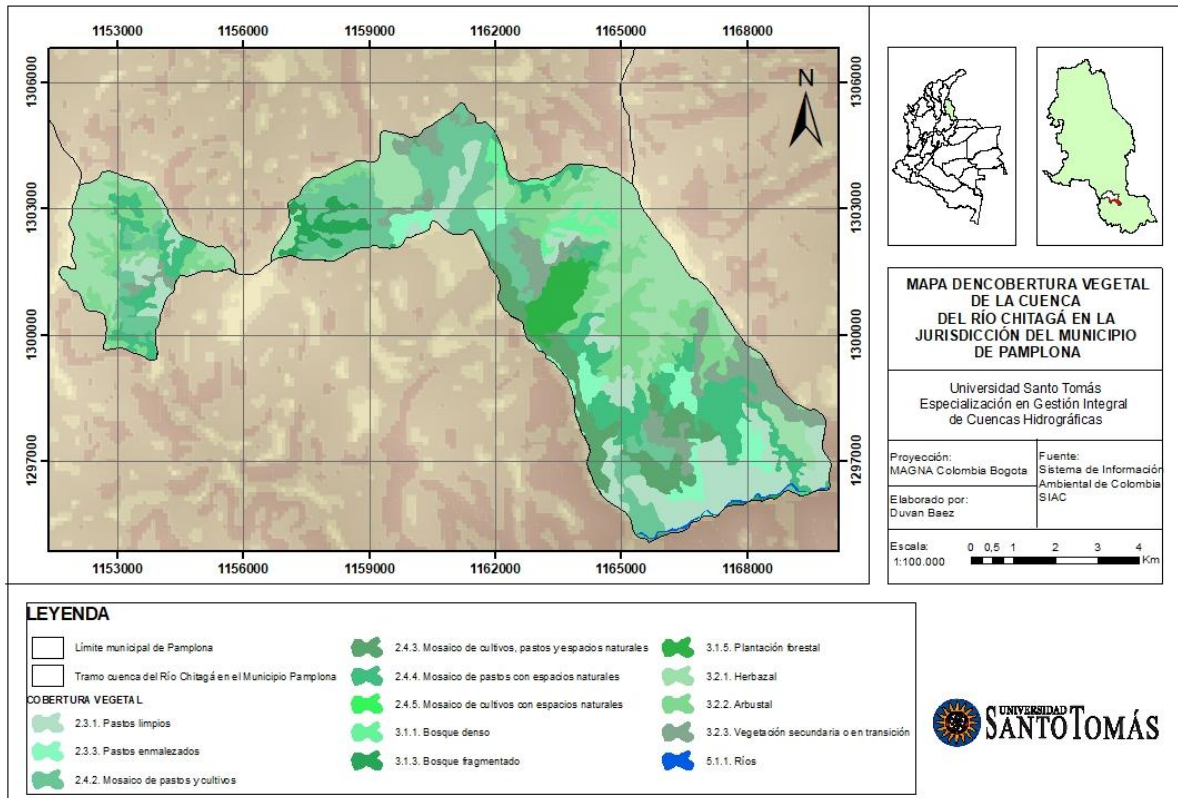
Tabla 18

Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Chitagá

Cobertura (CLC)	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
3.1.1. Bosque denso	Muy alta	253,67	4,18
3.1.3. Bosque fragmentado			
5.1.1. Ríos			
2.3.3. Pastos enmalezados	Alta	4130,22	68,13
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales			
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales			
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales			
3.1.5. Plantación forestal			
3.2.1. Herbazal			
3.2.2. Arbustal	Moderada	1678,69	27,69
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición			
2.3.1. Pastos limpios			
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos			

Figura 14

Mapa de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). Escala 1:100.000.

Uso del Suelo

El uso del suelo del municipio de Pamplona se identificó partiendo del “mapa de clasificación de las tierras por su vocación de uso a escala 1:100.000” (IGAC, 2013), esta información vectorial tipo polígono se analizó espacialmente y se establecieron las áreas que componen los principales usos del suelo en los tramos de las cuencas que conforman el perímetro municipal de Pamplona, como se expone en las Figuras 15, 16 y 17, en donde se logran identificar las áreas que corresponden a cada una de las categorías de posibilidad de recarga hídrica establecidas en la Tabla 5.

De manera que se estableció que en las áreas de las tres cuencas la posibilidad de recarga muy alta se exhibe en áreas representada por usos del suelo asociados a actividades de protección forestal y conservación de recursos hidrobiológicos, estos usos se encuentran representados en la cuenca del río Pamplonita por 24,13%, en la cuenca del río Zulia por 46,59% y en la cuenca del río Chitagá esta zonas sobresalen, debido a que están contenidas en áreas que representan el 54,24%, la existencia de estas áreas en los territorios son de gran importancia debido a que estas tierras son fundamentales para los procesos de protección y conservación de los servicios ecosistémicos porque se encuentran constituidas por espacios de “alta biodiversidad, zonas de infiltración, zonas de nacimientos de ríos y quebradas y ecosistemas estratégicos” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] Y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [CORPOICA], 2002).

Por otra parte, los terrenos de uso agrosilvopastoril con cultivos permanentes determinan la posibilidad de recarga alta en la cuenca de los ríos Pamplonita y Chitagá, como se observa en la Tabla 19, en donde se muestra que este tipo de uso del suelo se expresa en áreas del 2,32% en la cuenca del río Pamplonita y en la Tabla 21, esta categoría hace alusión al 3,7% del área total del tramo de la cuenca en el municipio.

La presencia de los usos del suelo descritos anteriormente, al contar con “coberturas vegetales con estructuras complejas, como los bosques nativos y los sistemas agroforestales, favorecen una percolación profunda, en contraste con los paisajes deteriorados” Cutipa *et al.* (2025). Lo cual permite que “la escorrentía superficial sea mínima y la recarga del agua del subsuelo sea más eficiente” Brüscheiler *et al.* (2004).

Por otra parte, el uso del suelo de Protección – producción se caracteriza por contar con “altas pendientes, grado de erosión moderado y pedregosidad” (IGAC y CORPOICA, 2002, p.36), estas áreas se establecen en las cuencas de los ríos Pamplonita y Zulia como zonas predominantes para la determinación del potencial de recarga, mientras que en la cuenca del río Chitagá corresponde al 34,9% de la superficie en estudio.

Estos espacios contienen zonas con vegetación heterogénea que protegen el suelo y a la vez consta de sectores para el aprovechamiento productivo, lo anterior, puede generar áreas descubiertas que afectan los procesos de infiltración. En este sentido Cutipa *et al.* (2025) afirma que “la pérdida de cobertura vegetal, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas, disminuye la recarga efectiva”, por lo que, a estas áreas se le atribuye un grado moderado de recarga.

La recarga muy baja ostenta territorios pequeños en las tres zonas de estudio y no representa más del 3,9% del área total de cada tramo de las cuencas, en usos de suelo para cultivos transitorios intensivos de clima frío en la cuenca del río Chitagá y en cultivos permanentes intensivos de clima medio en la cuenca del río, por otra parte, en la Tabla 19, se evidencia que el segmento de la cuenca del río Pamplonita en esta categoría no cuenta con terrenos agropecuarios con manejo intensivo, pero si se estableció el uso del suelo urbano como posibilidad de recarga muy baja, por lo que esta categoría se encuentra dotada áreas artificiales con diversas infraestructuras que contempla el tejido urbano y que le atribuye esta categoría por suelo impermeable.

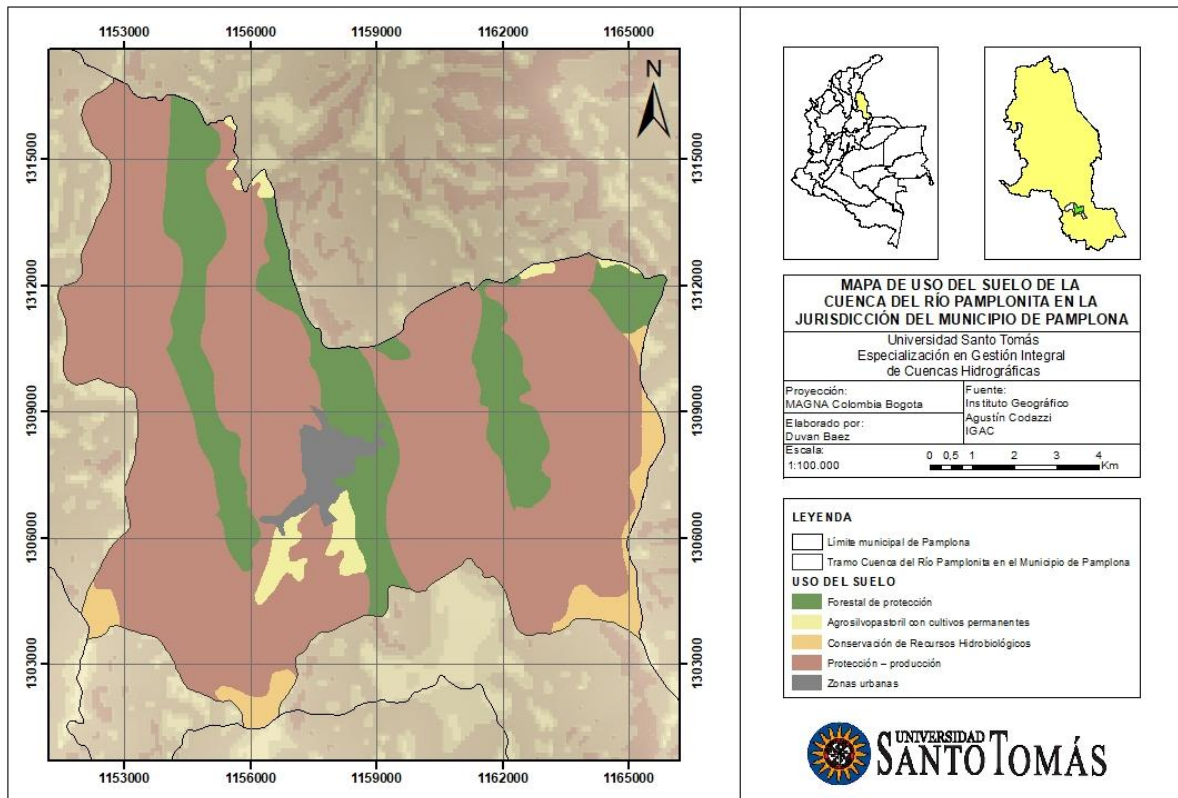
Tabla 19*Uso del Suelo de la Cuenca del Río Pamplonita*

Uso del Suelo	Uso Principal del Suelo	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso.	Forestal de protección Conservación de Recursos Hidrobiológicos	Muy Alta	2.985,34	24,13
Sistemas agroforestales o silvopastoriles.	Agrosilvopastoril con cultivos permanentes	Alta	286,66	2,32
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua.	Protección – producción	Moderada	8816,77	71,25
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Zonas urbanas	Muy Baja	285,33	2,31

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.16, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 15

Mapa de Uso del Suelo de la Cuenca del Río Pamplonita en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Escala 1:100.000.

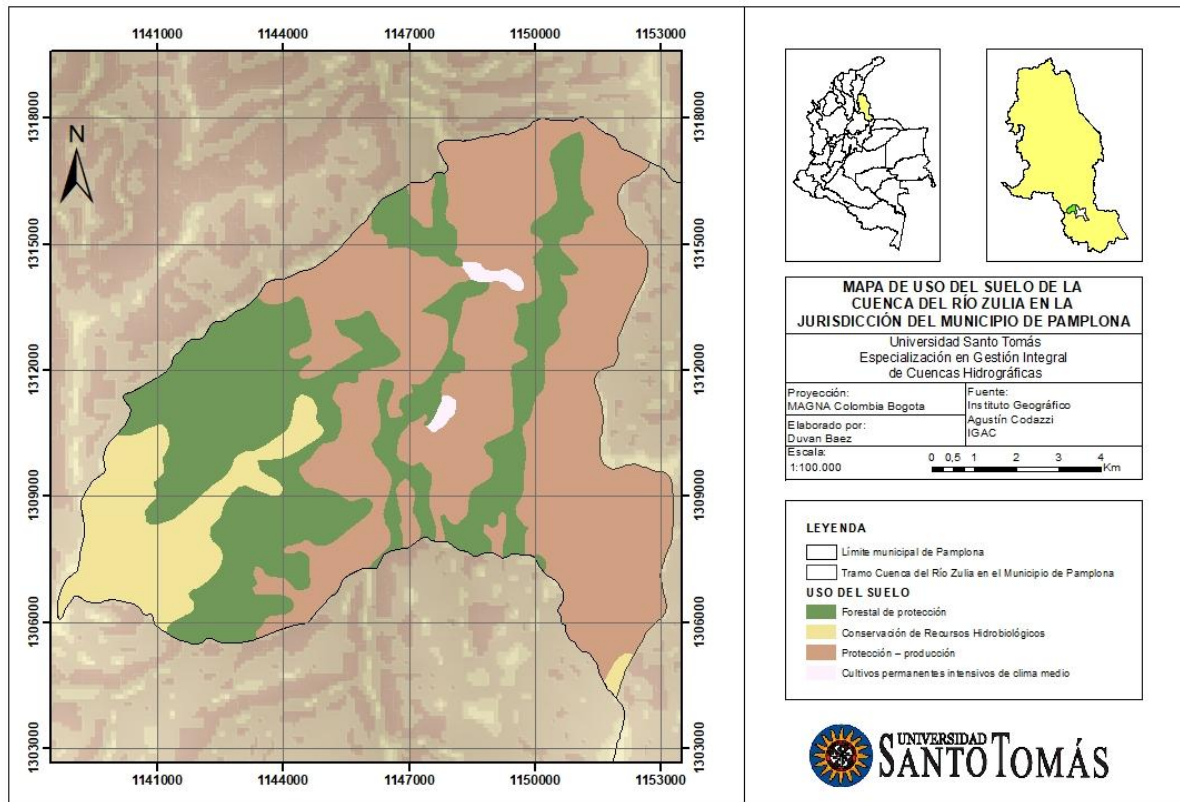
Tabla 20*Uso del Suelo de la Cuenca del Río Zulia*

Uso del Suelo	Uso Principal del Suelo Pamplona	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso.	Forestal de protección Conservación de Recursos Hidrobiológicos	Muy Alta	5302,5	46,59
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua.	Protección –producción	Moderada	5998,47	52,71
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Cultivos permanentes intensivos de clima medio	Muy Baja	79,65	0,7

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.16, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 16

Mapa de Uso del Suelo de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Escala 1:100.000.

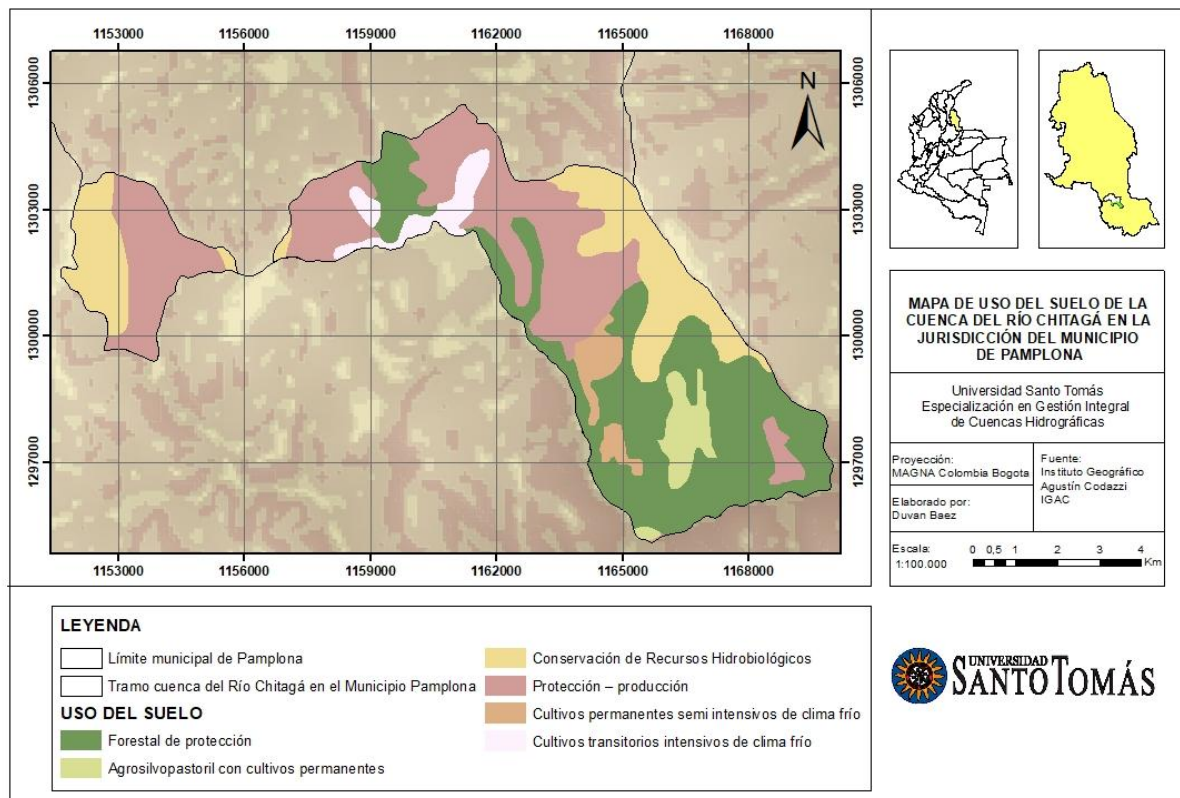
Tabla 21*Uso del Suelo de la Cuenca del Río Chitagá*

Uso del Suelo	Uso Principal del Suelo Pamplona	Posibilidad de Recarga	Área (ha)	Área (%)
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso.	Forestal de protección Conservación de Recursos Hidrobiológicos	Muy Alta	3288,21	54,24
Sistemas agroforestales o silvopastoriles.	Agrosilvopastoril con cultivos permanentes	Alta	224,61	3,7
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua.	Protección –producción	Moderada	2115,91	34,9
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua.	Cultivos permanentes semi intensivos de clima frío	Baja	200,34	3,3
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Cultivos transitorios intensivos de clima frío	Muy Baja	233,51	3,85

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.16, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 17

Mapa de Uso del Suelo de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
Escala 1:100.000.

Determinación y Caracterización del Potencial de Recarga de las Zonas Evaluadas

Determinación del Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Pamplonita

En el área de la cuenca del río Pamplonita dentro del municipio de Pamplona se muestran 5 categorías de potencial de recarga hídrica, en donde el potencial ideal de recarga expresado de color verde oscuro en la Figura 18, se presenta en 95,31 hectáreas y conforma apenas el 0,77% del área, de color verde claro se observa la posibilidad de recarga alta que se ubica en

2055,93 hectáreas, lo que corresponde al 16,62% del terreno, el área con mayor relevancia la clase moderada de posibilidad de recarga representa las áreas de color amarillo, que exhibe un área de 9435,16 hectáreas, en otros términos, representan el 76,3% del área total, por otra parte, de color naranja se observa que la posibilidad de recarga baja en un área de 756,77 hectáreas para un total de 6,12% de presencia en la zona y con color rojo en una pequeña porción del terreno de 23,44 hectáreas, se expone la posibilidad de recarga muy baja en el 0,19 % del área de estudio.

Lo anterior permite establecer tramo de la cuenca del río Pamplonita en jurisdicción del municipio de Pamplona tiene buen potencial de recarga, dado que exhibe una posibilidad de recarga de moderada a muy alta de acuerdo que los elementos biofísicos en el 93,69% del área total, como se evidencia en la Tabla 22.

Tabla 22

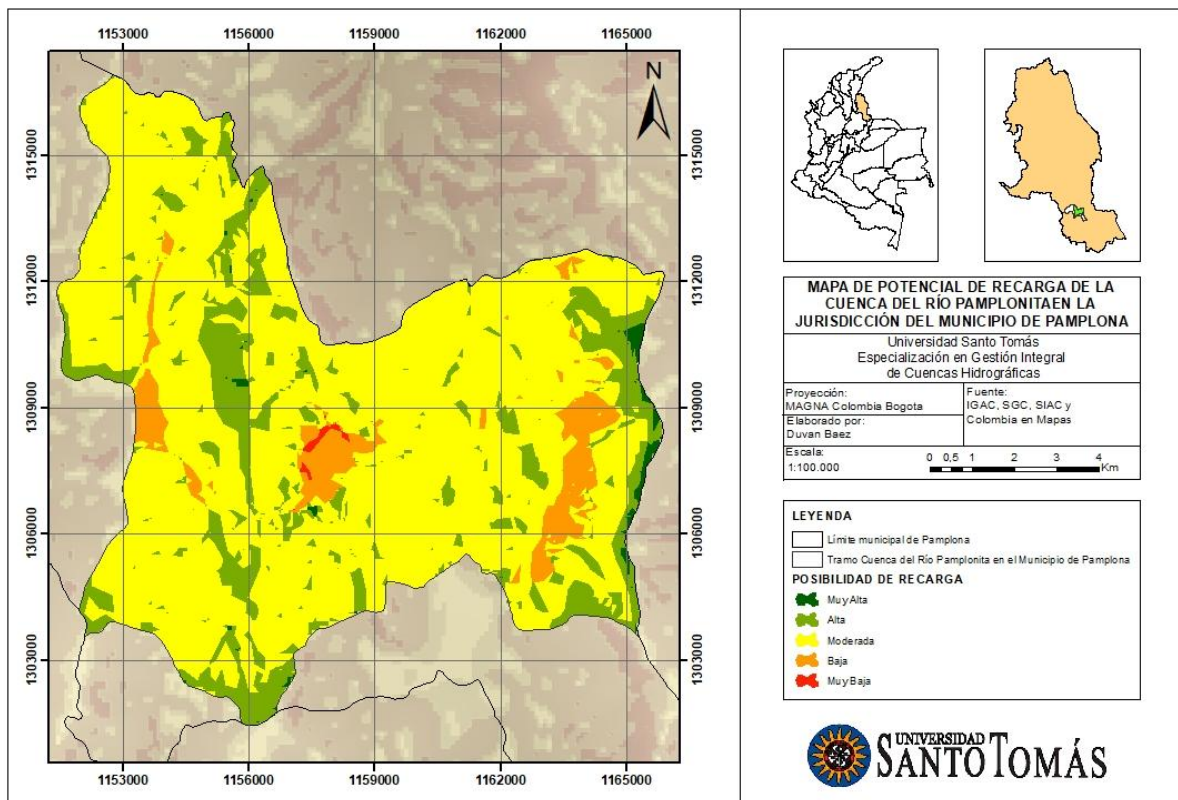
Potencial de la Recarga Hídrica Cuenca del Río Pamplonita

Posibilidad de Recarga	Rango	Área (Ha)	Área (%)
Muy Alta	4,1 – 5	95,31	0,77
Alta	3,5 - 4,09	2055,93	16,62
Moderada	2,6 – 3,49	9435,16	76,3
Baja	2 - 2,59	756,77	6,12
Muy Baja	1 – 1,99	23,44	0,19

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.17, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 18

Mapa de Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Pamplonita en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Servicio Geológico Colombiano (SGC), Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) y Colombia en Mapas. Escala 1:100.000.

Determinación del Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Zulia

En la parte de la cuenca del río Zulia que hace presencia en el municipio de Pamplona, se estableció de acuerdo a metodología aplicada que existen cuatro clases de recarga, en virtud de las propiedades de los elementos biofísicos del área, puesto que, estos propician áreas que en su mayoría tiene una posibilidad de recarga moderada que influye en el 59,39% de la zona,

además se tienen áreas con posibilidad de recarga muy alta en 1,79% y con posibilidad de recarga alta en el 32,28% del área total.

Lo anterior, indica que la posibilidad de recarga en esta área que integra el municipio de Pamplona presenta una tendencia de probabilidad recarga hídrica de moderada a alta en el 93,46% del área total en estudio y el resto del área se compone de áreas con posibilidad de recarga baja. La Figura 18, describe las categorías en colores, en donde la categoría muy alta corresponde al color verde oscuro, la clase alta a verde claro, la moderada al amarillo y la baja al color naranja y en la Tabla 23, se describen las correspondientes áreas en hectáreas y en porcentaje con respecto al área total.

Tabla 23

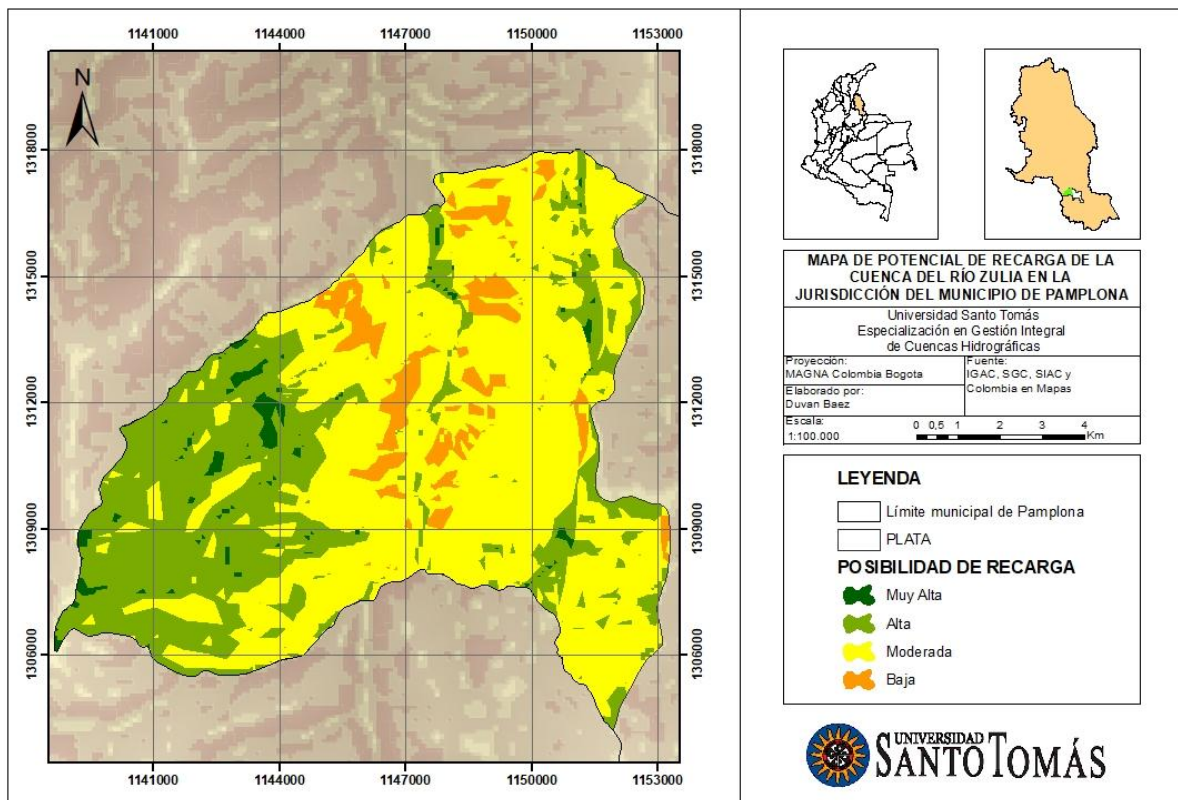
Potencial de la Recarga Hídrica Cuenca del Río Zulia

Posibilidad de Recarga	Rango	Área (Ha)	Área (%)
Muy Alta	4,1 – 5	203,7	1,79
Alta	3,5 - 4,09	3672,82	32,28
Moderada	2,6 – 3,49	6757,38	59,39
Baja	2 - 2,59	744,072	6,54

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.17, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 19

Mapa de Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Zulia en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)., Servicio Geológico Colombiano (SGC)., Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) y Colombia en Mapas. Escala 1:100.000.

Determinación del Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Chitagá.

Esta zona de la cuenca del río Chitagá, está compuesta por cinco tipos de potencial de recarga hídrica que describen que las capacidades de recarga baja y muy baja que se muestran en la Figura 20, de color naranja y rojo respectivamente, comprenden un área conjunta del 7,12% del territorio, en donde la posibilidad de recarga muy baja se encuentra en el 0,04% del área total.

Por otra parte, se determinaron áreas con potencial de recarga moderada a muy alta en el 92,88% del área total, en donde la posibilidad de recarga moderada prevalece en el 58,39% del área total de la zona, seguido de la posibilidad de recarga alta que representa el 32,86 de la superficie y en una mínima porción de 1,63% del tramo se ubica la posibilidad de recarga muy alta. La Tabla 24, reseña las áreas determinadas en el sector de la cuenca del río Chitagá.

Tabla 24

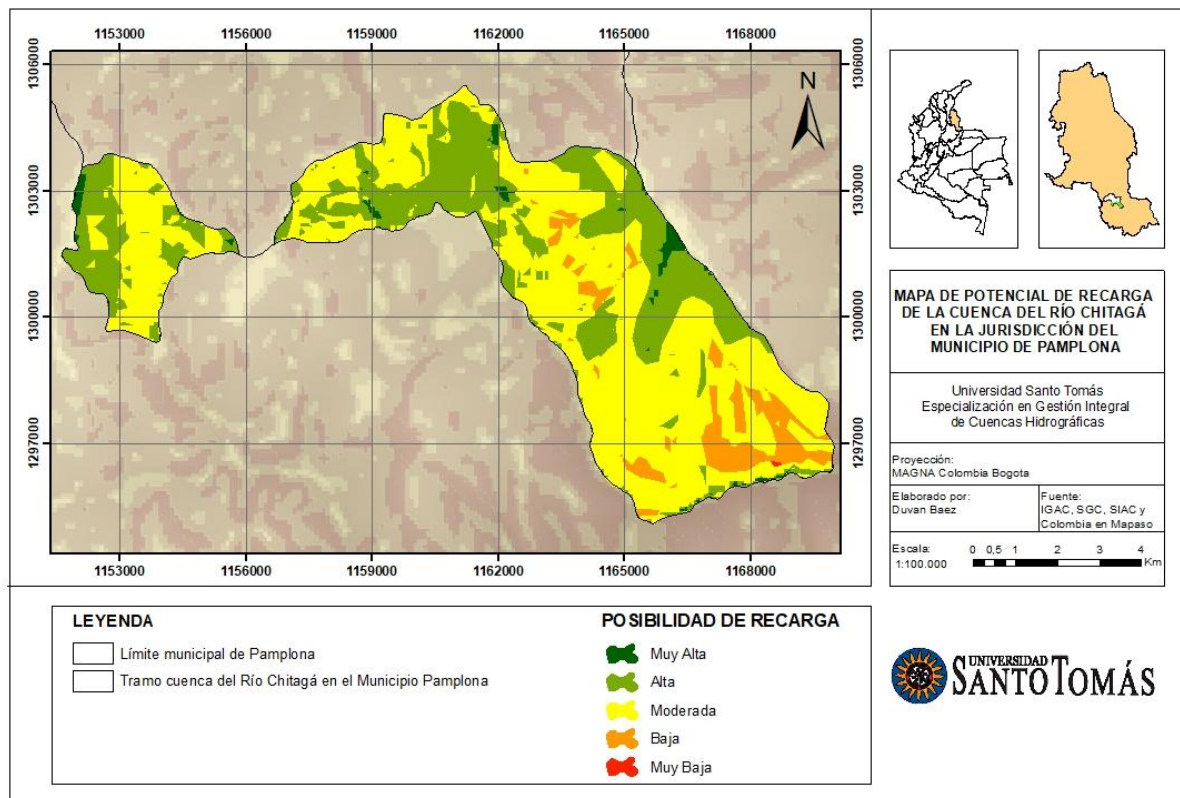
Potencial de la Recarga Hídrica Cuenca del Río Chitagá

Potencial de Recarga	Rango	Área (Ha)	Área (%)
Muy Alta	4,1 – 5	98,59	1,63
Alta	3,5 - 4,09	1992,06	32,86
Moderada	2,6 – 3,49	3539,32	58,39
Baja	2 - 2,59	429,62	7,08
Muy Baja	1 – 1,99	2,34	0,04

Nota. Adaptado de *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*, 38, por O. Matus, J. Faustino y F. Jiménez. 2009, p.17, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>

Figura 20

Mapa de Potencial de Recarga de la Cuenca del Río Chitagá en la Jurisdicción del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)., Servicio Geológico Colombiano (SGC)., Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) y Colombia en Mapas. Escala 1:100.000.

Caracterización del Potencial de Recarga de las Zonas Evaluadas

En los tres tramos de las cuencas presentes en el municipio de Pamplona, se evidencia que la posibilidad de recarga hídrica oscila entre moderado y muy alto en más del 90% del área total de cada una, en virtud de las cualidades de los elementos biofísicos que contiene el municipio en las zonas de estudio, debido a que estas reúnen todas las características esenciales

para que el proceso de infiltración del agua en el suelo se efectué, dado que, contemplan topografías que permiten que el agua no escurra superficialmente y esta pueda ser captada al permanecer en la superficie del terreno por más tiempo (Matus *et al.*, 2009), sumado a esto se presentan factores físicos que favorecen la recarga hídrica puesto que, están dotados con propiedades adecuadas de permeabilidad y otros como la cobertura vegetal y el uso del suelo que propician que las, “las gotas de lluvia pueden ser capturadas por la vegetación antes de alcanzar el suelo, reduciendo la intensidad de impacto” (MinAmbiente *et al.*, s.f.), garantizando la protección del suelo de los procesos de erosión y compactación.

El resto del área de las cuencas de los ríos Pamplonita y Chitagá en el municipio se componen por potenciales de recarga bajo y muy bajo, que en el caso de la cuenca del río Pamplonita están ligados a la presencia de terrenos sin coberturas vegetales y usos del suelo de carácter impermeable por la presencia de tejido urbano discontinuo, instalaciones recreativas, tejido urbano continuo y zonas industriales o comerciales, que provocan en las áreas procesos de “escorrentía superficial sin infiltración significativa” (MinAmbiente *et al.*, s.f.). y en la cuenca del río Chitagá se ven influenciadas estas categorías de potencial de recarga hídrica por la presencia de elementos biofísicos como suelos arcillosos, rocas impermeables y topografías fuertemente escarpadas, estas características afectan de negativamente el proceso de recarga por lo que ocasionan que el agua se escurra rápidamente por ende se ralentice el proceso de infiltración del agua en el suelo.

Por otra parte, la cuenca del río Zulia el potencial de recarga bajo esta se ocasiona en función del uso intensivo del suelo, las altas pendientes con relieves escarpados y texturas del suelo compactas, que ocasiona que la infiltración del agua sea lenta y se generen pérdidas del agua presente en la superficie por evaporación y escorrentía superficial del agua.

Caracterización de los Conflictos que Afectan la Recarga y la Calidad del Agua para el Consumo

Los conflictos en las zonas potenciales de recarga en las cuencas del municipio de Pamplona, se identificaron a partir del análisis espacial del “mapa de conflictos de uso del territorio colombiano a escala 1:100.000” (IGAC, 2013), que se cruzó con las capas vectoriales de las cuencas del municipio y se logró establecer que las cuencas tienen conflictos por sobreutilización, en la Tabla 25, se muestra que los conflictos del 1 al 5 en las cuencas de los ríos Pamplonita y Chitagá y del 1 al 4 en cuenca del río Zulia pertenecen esta categoría, también evidencia que del numeral 7 al 9 pertenecen a la categoría de subutilización.

De acuerdo a lo anterior, los conflictos por sobreutilización están definidos por el IGAC (2012) como los conflictos que “se presenta en las tierras en las cuales los agro-ecosistemas predominantes hacen un aprovechamiento intenso de la base natural de recursos, sobrepasando su capacidad natural productiva; ello lo hace incompatible con la vocación de uso principal” (p.184), esto permite establecer las áreas de las tres cuencas hidrográficas del municipio de Pamplona en donde se presentan estos conflictos corresponden a más del 50% como se observa en la Figura 21, estas áreas se pueden ver afectadas a nivel ambiental, social y económico, dado que estas pueden reducir la prestación de los servicios ecosistémicos como resultado de la alta demanda ejercida sobre los recursos naturales renovables por los usos inadecuados e intensivos que se practican en esta zonas.

Adicionalmente, los conflictos por subutilización que se establecieron en las áreas de las cuencas corresponden al 1,66% del área del municipio y estos tienen menos impacto sobre los ecosistemas existentes, debido a que “la demanda ambiental es menos intensa en comparación con la mayor capacidad productiva de ellas” (IGAC, 2012), pero de igual manera afectan

directamente a las zonas potenciales de recarga hídrica, dado que ejercen presión sobre los recursos derivado de los diversos usos del suelo que se practican en estas zonas.

Los tipos de conflictos mencionados, se relacionan directamente con las actividades antropogénicas que realizan en las cuencas, como la ampliación del suelo urbano hacia usos del suelo con diferente vocación, la deforestación por la tala ilegal excesiva y el uso del bosque como combustible en el sector rural, actividades agropecuarias en nacientes sin barreras de protección, uso irracional del agua, manejo inadecuado de los residuos de plaguicidas cerca de las fuentes de agua y cultivos intensivos (Alcaldía de Pamplona, 2015), son los principales conflictos que afectan tanto la calidad del agua como la cantidad y que influyen directamente en la pérdida de propiedades físicas del área de recarga hídrica y con ello su potencial de recarga se reduce como resultado de la baja capacidad de infiltración del agua en el suelo por la sobreutilización de los recursos renovables.

Otro problema que se presenta en las cuencas de los ríos Pamplonita y Chitagá obedece a los conflictos en áreas de cuerpos de agua. Esto se debe a que el río Pamplonita atraviesa la zona urbana del municipio y se encuentra expuesto a condiciones desfavorables como la contaminación del agua por residuos sólidos y vertimientos, sumado esto, la Alcaldía de Pamplona (2015) afirma que “la falta de acueductos rurales y de minidistritos de riego acentúa más el problema por uso del agua tanto para consumo humano como para riego, ya que cada usuario se conecta individualmente a los nacederos incrementado el desperdicio del agua” (p. 197). Generando así, la sobrepresión de las fuentes hídricas por el alto número de concesiones que se otorgan, lo que ocasionan que se capten caudales acumulados muy altos en las veredas Fontibón y Negavita, que se abastecen principalmente de los ríos pamplona y Chitagá (Alcaldía de Pamplona, 2015).

Por otra parte, las cuencas presentan áreas sin conflictos principalmente en las áreas de uso del suelo destinadas para la protección forestal en las cuencas, Y en el tramo de la subzona

hidrográfica del río Pamplonita en el municipio se presentan conflictos por la presencia de otras coberturas artificializadas ya que en esta se sitúa la zona urbana del municipio, como se evidencia en la Figura 22.

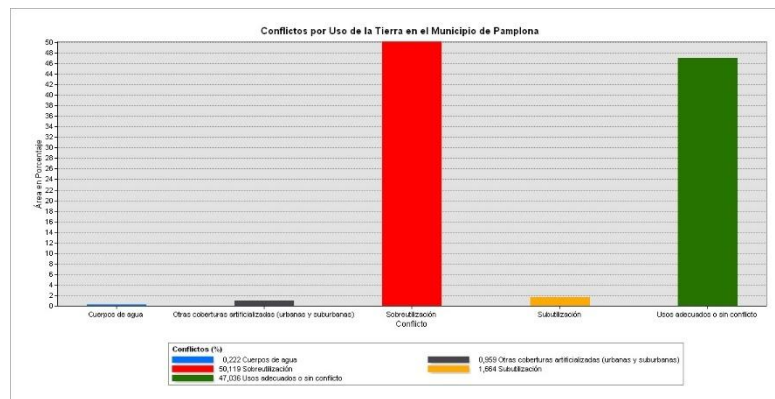
Tabla 25

Conflictos en las Cuencas del Municipio de Pamplona

Numero	Tipo de Conflicto Cuenca Río Pamplonita	Tipo de Conflicto Cuenca del Río Zulia	Tipo de Conflicto Cuenca del Río Chitagá
1	Conflictos en áreas pantanosas con cultivos permanentes	Conflictos en áreas pantanosas con cultivos permanentes	Conflictos en áreas pantanosas con cultivos permanentes
2	Sobreutilización severa	Sobreutilización severa	Sobreutilización severa
3	Conflictos en áreas pantanosas con pastos	Conflictos en áreas pantanosas con pastos	Conflictos en áreas pantanosas con pastos
4	Usos inadecuados en zonas quemadas	Usos inadecuados en zonas quemadas	Usos inadecuados en zonas quemadas
5	Conflictos urbanos		Sobreutilización moderada
6	Conflictos en áreas de cuerpos de agua		Conflictos en áreas de cuerpos de agua
7	Subutilización moderada	Subutilización moderada	Subutilización moderada
8		Subutilización severa	Subutilización severa
9		Subutilización ligera	
10	Otras coberturas artificializadas (urbanas y suburbanas)		

Figura 21

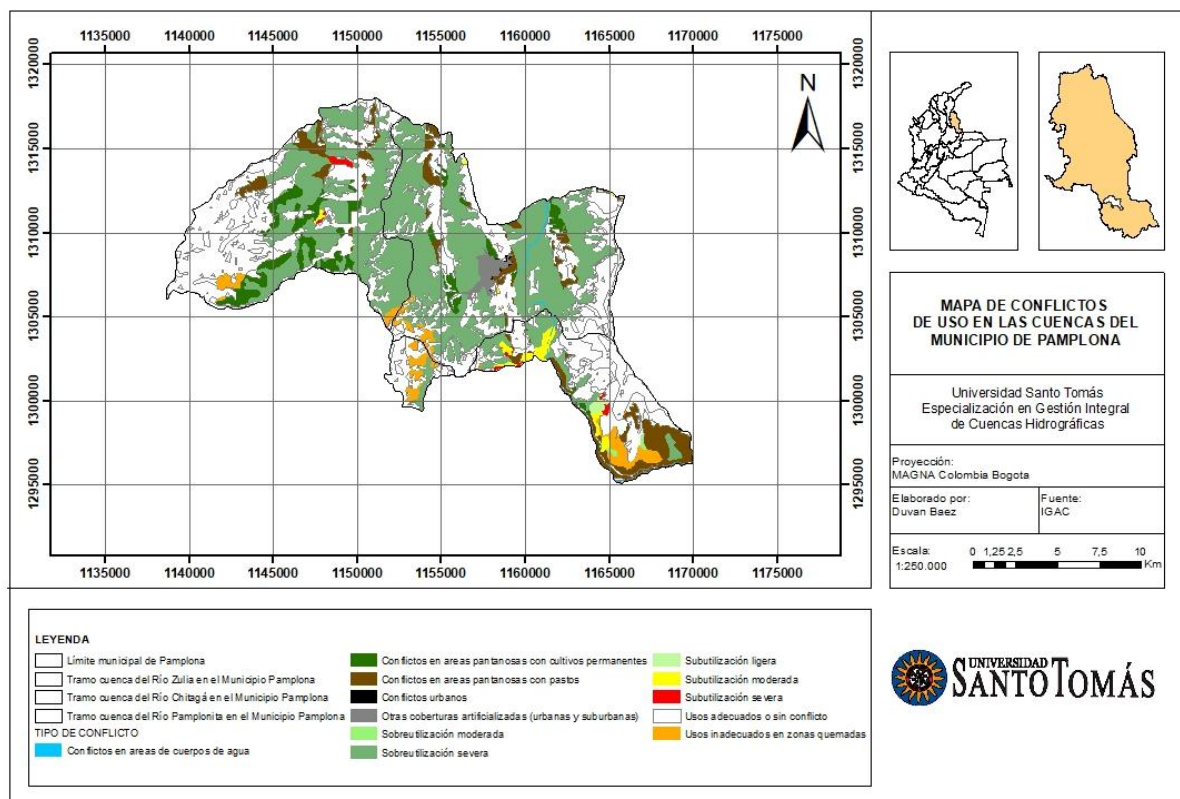
Porcentaje de las Áreas de Conflicto en el Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Figura 22

Mapa de Conflictos en las Cuencas del Municipio de Pamplona



Nota. Elaborado a partir de datos vectoriales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y del PBOT del municipio de Pamplona. Escala 1:100.000

Estrategias para el Ordenamiento y Manejo de las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica

Partiendo de los conflictos identificados en los tramos de las tres subzonas hidrográficas que integran el municipio de Pamplona del departamento Norte de Santander y sabiendo que en su gran mayoría se presentan por sobreutilización y subutilización de los servicios ecosistémicos derivados de las actividades antrópicas que se llevan a cabo en la zona. Y que adicionalmente, se presenta conflictos en cuerpos de agua y conflictos por la artificialización de las coberturas de la tierra.

Se deben implementar herramientas normativas en el municipio por parte de la autoridad ambiental competente, debido a que la Alcaldía de Pamplona (2015) afirma que las principales causas que ocasionan afectaciones a los ecosistemas estratégicos del municipio están centradas en la “falta exploración para reconocimiento de la riqueza biológica, insuficiente control en las diferentes zonas ambientales, bajo control y vigilancia de las empresas que explotan los recursos y la ausencia de autoridad administrativa municipal y ambiental regional” (p. 309), por tal razón, las acciones que se adopten para salvaguardar los ecosistemas estratégicos deben acatar las disposiciones emitidas en el (Decreto 1076, 2015, artículo 2.2.3.3.1.6), en donde se reglamentan los aspectos mínimos para el ordenamiento de los cuerpos de agua y acuíferos y se determina la inclusión de las zonas de recarga hídrica que los integran, en lo concerniente a la ejecución de estudios y permisos que concedan la sostenibilidad del recurso hídrico.

Además, para la recuperación, conservación, preservación y vigilancia de las zonas potenciales de recarga hídrica es de carácter fundamental la inversión de recursos financieros que faciliten la búsqueda de la mitigación de los impactos ambientales provocados por las actividades humanas de sobreutilización en estas áreas. Por tal motivo, el (Decreto 1076, 2015,

artículo 2.2.9.3.1.4.) establece que se deben destinar recursos de 1% referentes a los proyectos que se efectúen en la zona y que contemplen el requerimiento de la licencia ambiental y se surtan de agua para la ejecución de sus actividades directamente de las fuentes naturales. Esto, con la intención de propender por la sostenibilidad de la cuenca hidrográfica a través de la generación de estudios ambientales, la realización de actividades y obras y la compra de predios que permitan la restauración, conservación y preservación de los servicios ecosistémicos.

Sumado a esto, es indispensable la presencia de las autoridades ambientales competentes en las zonas rurales de los tramos de las subzonas hidrográficas en el municipio, en lo concerniente a la revisión de los permisos de concesiones de agua como resultado del uso excesivo del agua y las conexiones sin autorización por parte de particulares a las nacientes y a los cuerpos de agua, como también, es importante revisar y optimizar los sistemas de abastecimiento de agua comunitarios del recurso hídrico para actividades de consumo y riego y los y los sistemas de disposición de aguas residuales provenientes de los predios, dado que la gran mayoría de estas son vertidas a campo abierto y fuentes hídricas (Alcaldía de Pamplona, 2015). Asimismo, hacer control sobre los aprovechamientos de los servicios ecosistémicos de abastecimiento forestal con el fin de reducir la sobreutilización y afectación de los bosques y los suelos, con la finalidad de alcanzar la sostenibilidad ambiental, social y económica de las zonas. En concordancia con lo establecido por el Decreto 1076 del 2015 en los artículos 2.2.1.1.18.1-2.2.1.1.18.7, en los cuales indica que los dueños de los predios tienen la obligación de proteger y conservar los cuerpos de agua, los bosques, los suelos, la cobertura forestal y la fauna presente en estos territorios y también los obliga a facilitar a las autoridades ambientales competentes la intervención en los predios para la verificación del cumplimiento de las obligaciones estipuladas.

Conclusiones

El uso de la de la “Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica” propuesta por Matus *et al.*, permitió identificar a través de la evaluación y análisis espacial de las características de los elementos biofísicos como pendiente y microrrelieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo, las áreas óptimas para la posibilidad de recarga hídrica de alta a muy alta, dado que tienen las características físicas esenciales para captar e infiltrar el agua necesaria para la preservación del ciclo hidrobiológico en el municipio de Pamplona y estas representan el 27,22% del área total del municipio. En virtud de la importancia ambiental que poseen estas áreas y en conformidad con lo dispuesto en el (Decreto 1076, 2015, artículo 2.2.2.1.3.8), se debe trabajar en estrategias de manejo y conservación, con el objetivo de designar estas zonas potenciales de recarga hídrica como áreas protegidas (p.132).

Las áreas con mayor influencia en el municipio de Pamplona ostentan posibilidad de recarga hídrica moderado en el 66,18% del área total del municipio, estas áreas son de gran importancia puesto tienen el potencial para modificarse y elevar su grado de posibilidad de recarga hídrica. Por esta razón, se deben implementar acciones que contribuyan al mejoramiento de los elementos físicos del territorio para que su capacidad de recarga hídrica se vea favorecida al disminuir los conflictos de sobreutilización ejercidos en la cobertura vegetal y el uso del suelo, que en conformidad con lo enunciado por Matus (2007) estos factores pueden cambiar sus propiedades a razón de intervenciones antropogénicas en el territorio en donde se ubican (p.129).

Los conflictos que se presentan en el municipio de Pamplona y que pueden afectar las zonas con posibilidad de recarga hídrica, son en mayor medida los conflictos por sobreutilización con base en los elementos naturales propios de la zona en un 50,1% del territorio del municipio, esto además repercute en los potenciales de recarga del municipio, en mayor medida este

conflicto se presenta en las zonas con posibilidad de recarga moderada en el 38,5% del área total del municipio, seguido del 7,22% en áreas con alta de posibilidad de recarga, igualmente afecta a los territorios con posibilidad de recarga baja en un 4,14% del área total, mientras que en los tramos de posibilidad de recarga muy alta y muy baja exhibe valores del 0,23% y 0,01% del total del área de estudio. Estos resultados reafirman que las áreas que mayor intervención humana presentan son las que tienen posibilidad de recarga hídrica moderada y, por ende, se pueden mejorar las condiciones físicas con intervención antrópica del territorio.

En comparación el tramo de la cuenca con mayor área de posibilidad de recarga muy alta comprende 203,7 hectáreas en la cuenca del río Zulia, seguida de cuenca del río Chitagá en donde esta categoría se expone en 98,59 hectáreas, y, por último, con 95,31 hectáreas la cuenca del río Pamplonita. Esta posibilidad de recarga se caracteriza por poseer usos adecuados o sin conflicto en el 81,89% del área total de la posibilidad de recarga muy alta en el municipio, lo cual se debe principalmente a que los usos no están superando la oferta ambiental que proveen estas áreas, teniendo en cuenta que el uso principal es de protección y conservación de los recursos forestales e hidrobiológicos.

Recomendaciones

Teniendo en cuenta la importancia que tienen las cuencas hidrográficas en estudio para el municipio de Pamplona de Norte de Santander, debido a que proveen de diversos servicios ecosistémicos a la población urbana y rural, es de vital importancia implementar acciones que permitan que los territorios que ocupan estas cuencas se preserven y conserven para mantener en el tiempo la prestación de servicios ecosistémicos vitales para el desarrollo de la vida como lo es el abastecimiento del recurso hídrico para el consumo humano.

Para alcanzar la mayor exactitud en la identificación de las zonas potenciales para la recarga hídrica, es fundamental realizar trabajo de campo e integrar a la comunidad local, debido a que estos cuentan con conocimiento e información relevante sobre el territorio, tanto de aptitudes del terreno que favorecen la capacidad de infiltración del agua, como de los conflictos por los usos principales del suelo que son determinantes a la hora de la identificación del potencial de recarga hídrica.

Se recomienda a las entidades territoriales incentivar, promover y sensibilizar a partir de procesos de educación ambiental a las poblaciones que conviven los territorios con posibilidad de recarga hídrica, en temas relacionados al uso racional del agua, manejo de aguas residuales y excretas en los sectores veredales, puesto que no están dotados de sistemas de alcantarillado y generan vertimientos que contaminan el suelo y el agua.

Así mismo, brindar la asistencia técnica necesaria al sector agropecuario, para que tecnifiquen la producción y no ocasionen sobreutilización y subutilización de los servicios ecosistémicos que proporcionan las áreas de recarga hídrica.

Referencias

- Alcaldía de Pamplona. (2015). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de Pamplona*.
<https://www.pamplona-nortedesantander.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/DIAGN%C3%93STICO%20PBOT%20PAMPLONA.pdf>
- Bardales, W. (2010). Metodología para la identificación de zonas de recarga hídrica naturales en las cuencas de Guatemala. *Sistema de Integración centroamericana*.
https://www.sica.int/documentos/metodologia-para-la-identificacion-de-zonas-de-recarga-hidrica-naturales-en-las-cuencas-de-guatemala_1_47127.html
- Blanco Rojas, H. (2011). Áreas de recarga hídrica en las partes altas de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica. *Revista de Investigación UNED*, 2 (2), 181–204. <https://doi.org/10.22458/urj.v2i2.157>
- Brüschweiler, S., Höggel, U., y Kläy, A. (2004). Los bosques y el agua: interrelaciones y su manejo. *Informes de Desarrollo y Medio Ambiente*, (19), (1-50).
- Bustamante, S., Urriola, D., & Díaz, L. (2022). ZONAS DE RECARGA HIDRÍCA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO GÜERA. *Ciencia Agropecuaria*, (34), 48-63. Recuperado a partir de <http://200.46.165.126/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/585>
- Casado, A., Gentili, J., Campo, A, y Peiry, J. (2010). Evaluación de la calidad de modelos digitales de elevación derivados de curvas de nivel para aplicaciones hidrológicas. *Tecnologías de la Información Geográfica del sur argentino*. 102-116.
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental. (2010). *Plan De Ordenación*
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental. (2010). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Del Río Pamplonita*.

https://www.corponor.gov.co/images/file/Resumen%20Ejecutivo%20POMCH%20Pamplonita_ajustado.pdf

Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental. (2018). *Ajuste Y/O Actualización Del POMCA Del Río Zulia – Norte De Santander*. InformeFinalAprestamientoZulia_CORPONOR.pdf

Decreto 1076 de 2015. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por Medio del Cual se Expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. 26 de mayo del 2015.

Departamento Nacional de Planeación. (1983). *Mapa Hidrogeológico General de Colombia*. Estudio Nacional de Aguas. Image To PDF Conversion Tools

Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Presidencia de la República de Colombia. <https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/agua-limpia-y-saneamiento>

Díaz Ibáñez, E.D., Hernández Ordoñez, C. S., Polanco Méndez, H., Califa, L. J. (2021). Identificación participativa de zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca Cune, Cundinamarca – Colombia. *Gestión y Ambiente*, 24(1), 95696. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n1.95696>

Esri. (s.f.). Qué es ArcGIS. <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

Fundación AGRECOL Andes. (2019). *Protegiendo Nuestras Áreas de Recarga Hídrica y Fuentes de Agua*. <https://www.agrecolandes.org/wp-content/uploads/2020/01/boletin-recargah%C3%ADdrica-misereor-y-solidagro.pdf>

Garzón Santander, J. (2022). Análisis de los conflictos por el agua y regímenes de gobernanza en la Cuenca del Río Pamplonita. Universidad de los Andes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/58166>

Grupo Banco Mundial. (5 de octubre de 2022). *Abastecimiento de agua*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/watersupply>

IBM. (s.f.). *Qué son los datos geoespaciales*. <https://www.ibm.com/mx-es/topics/geospatial-data#:~:text=geoespaciales%20y%20ejemplos-,Tipos%20de%20datos%20geoespaciales,fotograf%C3%ADas%20e%20im%C3%A1genes%20de%20sat%C3%A9lite>.

Instituto Colombiano de Geología Y Minería. (2008). *Mapa De Permeabilidades De Colombia*. Ministerio de Minas y Energía. 2105180951300001.pdf

Instituto Colombiano de Geología Y Minería. (2010). *Memoria Técnica Plancha 5-07 Mapa de Permeabilidades de Colombia en Escala 1:500.000*. Ministerio de Minas y Energía. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B10/22005050018095/documento/pdf/2105180951101000.pdf>

Instituto Colombiano de Geología Y Minería. (2011). *Memoria Técnica Plancha 5-04 Mapa de Permeabilidades de Colombia en Escala 1:500.000*. Ministerio de Minas y Energía. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B9/22004050024562/documento/pdf/2105245621101000.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2022). *Estudio Nacional del Agua 2022*. https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-27/estudio_nacional_del_agua_2022.pdf

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (s.f.). *Metodología Corine Land Cover*. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2012). *Estudio de los Conflictos del Uso del Territorio Colombiano Escala 1:100.000*. CONFLICTOS_USO_TERRITORIO_COLOMBIANO.pdf
- Instituto Nacional de Investigaciones Geológicas Mineras. (1987). *Memoria del Mapa Hidrogeológico de Colombia Edición 1987*. Ministerio de Minas y Energía. 0101019771101000.pdf
- Instituto Nacional de Investigaciones Geológicas Mineras. (1989). *Mapa Hidrogeológico de Colombia*. Ministerio de Minas y Energía. 0101019771300002.pdf
- Keck, A. (2021). Evapotranspiración: cuidando el uso del agua. *National Aeronautics and Space Administration*. <https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/evapotranspiracion-como-vigilar-el-uso-del-agua/>
- Layten, C. N. y Santi, L. L. (2021). *Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/27700>
- Matus 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*. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3299>
- Matus, O., Faustino, J., & Jiménez Otárola, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica: aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. Programa FOCUENCAS II*.

Matus, O., Faustino, J., y Jiménez Otárola, F. (2008). Metodología para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. Validación en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente* Número 55 (diciembre 2008), páginas 74-82.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y Servicio Geológico Colombiano. (s.f.). *Guía Metodológica para la Identificación de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos*. <https://www.andi.com.co/Uploads/Guia%20Metodologia%20para%20recarga%20de%20acuiferos..pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y el Servicio Geológico Colombiano. (s.f.). *Guía Metodológica para la Identificación de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos*. *Guia Metodologia para recarga de acuiferos..pdf*

Mongil, J. y Navarro, J. (2013). Infiltración y grupos hidrológicos del suelo en las laderas de los páramos calizos (Valladolid, España). *Cuadernos de investigación geográfica*, 38(1), 131–153. <https://doi.org/10.18172/cig.1279>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2024). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2024. Agua para la prosperidad y la paz*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388948>

Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). *Desafíos Globales Población*. <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20mundial%20es%20m%C3%A1s,y%202000%20millones%20desde%201998>.

- Ramírez Reyes, L. R. (2023). *Identificación de zonas de recarga hídrica mediante un balance hídrico de suelos en la microcuenca del río Teocinte, municipio de San José Pinula, Guatemala* [Tesis de Doctorado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad de San Carlos de Guatemala
- Rodríguez-Levy, I.E., Centellas Levy, M.A., Ferreira, W.J., Mustafá, S.M.T., Rivera Rodríguez, L., Gonzales Amaya, A., & Huysmans, M. (2023). Desarrollo y aplicación de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga de aguas subterráneas: un estudio de caso en la microcuenca de Virvini, Tiraque, Bolivia. *Agua*, 15 (7), 1268. <https://doi.org/10.3390/w15071268>
- Ruiz, S. y Vera, B. (2019). Velocidad de infiltración del agua entre tipos de suelos con diferentes texturas y composición vegetal. *Revista Nothofagus*, 4(1), 77-89.
- Servicio Geológico Colombiano. (2023). *Atlas Geológico de Colombia 2023*. Dirección de Geociencias Básicas. Plancha 5–06 del Atlas Geológico de Colombia 2023 a escala 1:500 000
- Suarez Cortes, S. L. (2021). *Las Zonas Con Potencial De Recarga Hídrica En El Municipio De Silvania, Cundinamarca: Una Propuesta Para El Manejo Ambiental*. Universidad de Cundinamarca. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/3796>
- Villalobos, B., & Cubillos, J. (2020). *Determinación de las zonas de interés hídrico en Pasca Cundinamarca*. Universidad de Cundinamarca. <https://hdl.handle.net/20.500.12558/4155>
- Villota Huertas, M. S. (2022). *Determinación de las zonas de recarga hídrica en áreas semiáridas de la cuenca del Río Chota* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12337>