



**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL
RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL
EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.**

**Christian David Guerrero Fajardo
Daniela Herrera Rodríguez**

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Abril de 2019

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL
RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL
EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.**

Christian David Guerrero Fajardo
Daniela Herrera Rodríguez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Edgar Orlando Ladino Moreno

Co-Director (a):
Gonzalo Forero Buitrago

Línea de Investigación:
Manejo integrado del recurso hídrico

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2019-1

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

(Dedicatoria)

A mis padres, por tanto amor, por todo su tiempo, esfuerzo, dedicación, sacrificio y paciencia, por permitirme tener esta gran oportunidad de estudiar y ser cada día mejor; a mis familiares, los cuales en algún momento de mi vida, me han ayudado y brindado su cariño; a cada uno de mis amigos y amigas, que me han apoyado en los momentos más difíciles, y con los cuales he compartido y aprendido muchas cosas; a Dios, al universo y a la vida.

A DIOS todopoderoso por su amor incondicional, a mamita María por su consuelo y abrigo en momentos de tribulación, a mis adorados padres por su apoyo, por su lucha constante por sacar adelante a nuestra familia, por esa motivación que día tras día me brindan, por la compañía constante, esfuerzo y motivación de mi gran amigo y compañero de tesis y finalmente a cada una de las personas que han dejado en mi vida experiencias inolvidables en este camino. Mil gracias, ha sido increíble.

Agradecimientos

Queremos agradecer a cada uno de los profesores que nos han compartido todos sus conocimientos y preparado como profesionales a lo largo de nuestra etapa universitaria; agradecemos al profesor Alfonso Avellaneda, por guiarnos en la selección del tema, lugar y problemática para la presente investigación. Agradecemos enormemente al profesor Francisco Ibla, por ayudarnos y enseñarnos a identificar el problema, esto nos hizo crecer como futuros profesionales, y lo más importante, como personas, queremos además dar las gracias por su apoyo, consejos y tiempo dedicado hacia nosotros. Agradecemos a una de las personas más importantes para el desarrollo de esta investigación, que fue nuestro director y posteriormente co-director, el ingeniero Gonzalo Forero, quien desde un principio nos ayudó y guio nuestra investigación con paciencia y rectitud como docente, nos enseñó las bases para la elaboración de esta, agradecemos en gran medida, su acompañamiento y entrega con nosotros.

Queremos agradecer al gestor del recurso hídrico de la vereda el Tunal, Carlos Elpidio Hurtado, por permitirnos conocer más sobre la comunidad, por brindarnos información oportuna para la investigación y darnos la confianza del manejo de esta.

Por último, queremos agradecer enormemente al profesor Hommy Copete, por su gran energía, motivación y constante apoyo a lo largo de la carrera universitaria y el desarrollo del proyecto. Nos tomamos el atrevimiento de darle grandes reconocimientos a su gran trabajo como docente y maravilloso ser humano.

TABLA DE CONTENIDO

1.	<i>RESUMEN</i>	15
2.	<i>ABSTRACT</i>	16
3.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	16
4.	<i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	18
4.1	<i>PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</i>	19
4.1.1	<i>General</i>	19
4.1.2	<i>Específicas</i>	19
5.	<i>JUSTIFICACIÓN</i>	19
6.	<i>OBJETIVOS</i>	20
6.1	<i>OBJETIVO GENERAL</i>	20
6.2	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	20
7.	<i>MARCO DE REFERENCIA</i>	21
7.1	<i>ESTADO DEL ARTE</i>	21
7.1.1	<i>Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua superficial</i>	21
7.1.2	<i>¿Qué es un mejoramiento?</i>	22
7.1.3	<i>Etapas para el mejoramiento de sistemas de distribución del recurso hídrico</i>	22
7.1.4	<i>Inventario de fuentes de abastecimiento de los sistemas de acueducto de las cabeceras municipales de Colombia</i>	22
7.1.5	<i>Historia de las energías renovables a nivel internacional</i>	23
7.1.6	<i>Historia de las energías renovables en Colombia</i>	24
7.1.7	<i>Historia de la energía solar fotovoltaica</i>	24
7.1.8	<i>Historia del primer sistema de energía solar para el suministro del recurso hídrico</i> ...25	
7.1.9	<i>Actualidad en energías renovables en Colombia</i>	26
7.1.10	<i>Generación de energía fotovoltaica en Colombia a gran escala</i>	27

7.1.11	<i>Artículo sobre el dimensionamiento de canales y embalses para conducir y almacenar agua lluvia para abastecer la población de Altos de Cazucá (Soacha-Colombia) utilizando D.E.M</i>	28
7.1.12	<i>Trabajo de grado sobre el diseño y dimensionamiento de un generador solar fotovoltaico y sus componentes, para la producción de energía eléctrica presentando como zona experimental el municipio de Tibasosa Boyacá</i>	28
7.1.13	<i>Trabajo de grado sobre el análisis de la demanda de la red de distribución de agua en el municipio de Aracataca, Colombia</i>	29
7.2	MARCO CONCEPTUAL	29
7.2.1	<i>Recurso hídrico</i>	29
7.2.2	<i>Precipitación</i>	29
7.2.3	<i>Cuenca Hidrográfica</i>	30
7.2.4	<i>Humedal</i>	30
7.2.5	<i>Estudio Hidrológico</i>	30
7.2.6	<i>Método Racional Hidrológico</i>	31
7.2.7	<i>Estación Meteorológica</i>	31
7.2.8	<i>Estructura Hidráulica</i>	31
7.2.9	<i>Sistema de captación del recurso hídrico</i>	31
7.2.10	<i>Sistema de abastecimiento del recurso hídrico o acueducto</i>	32
7.2.11	<i>Embalse</i>	32
7.2.12	<i>Aprovechamiento Sostenible</i>	33
7.2.13	<i>Energías renovables</i>	33
7.2.14	<i>Energía solar fotovoltaica</i>	33
7.2.15	<i>Radiación electromagnética</i>	33
7.2.16	<i>Brillo solar</i>	34
7.2.17	<i>Planificación del territorio</i>	34
7.2.18	<i>Sistema de información geográfica (SIG)</i>	35
7.2.19	<i>Modelos de elevación digital (DEM)</i>	35
7.2.20	<i>Calidad de vida</i>	35
7.3	MARCO TEÓRICO	36

7.3.1	<i>Gestión integral del Recurso Hídrico</i>	36
7.3.2	<i>Sistemas de información geográfica (SIG) y Modelos de elevación digital (DEM) aplicados a la gestión del territorio</i>	37
7.4	<i>MARCO NORMATIVO</i>	39
7.4.1	<i>Constitución Política De Colombia De 1991</i>	39
7.4.2	<i>Resolución 0330 de 2017 (RAS - 2017)</i>	39
7.4.3	<i>Norma técnica de servicio NS-085</i>	40
7.4.4	<i>Ley 1715 de 2014</i>	40
7.5	<i>MARCO GEOGRÁFICO</i>	43
7.5.1	<i>Ubicación geográfica y coordenadas</i>	43
7.5.2	<i>Municipio de Paipa</i>	45
7.5.3	<i>Distribución poblacional</i>	46
7.5.4	<i>Clima de Paipa, Boyacá:</i>	47
7.5.5	<i>Actividades Económicas de la Región:</i>	47
7.6	<i>MARCO INSTITUCIONAL</i>	48
8.	<i>METODOLOGÍA</i>	50
8.1	<i>ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN</i>	59
8.2	<i>ALCANCE(S)</i>	60
8.3	<i>MÉTODOS</i>	61
8.4	<i>TÉCNICAS</i>	61
8.5	<i>INSTRUMENTOS</i>	62
9.	<i>PLAN DE TRABAJO</i>	62
10.	<i>ASPECTOS ÉTICOS</i>	62
11.	<i>RESULTADOS</i>	63
11.1	<i>IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO Y LOS PUNTOS PRINCIPALES</i>	63
11.2	<i>IDENTIFICACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO</i>	66
11.2.1	<i>Bombas de presión del sistema</i>	66
11.2.2	<i>Tanques de almacenamiento del sistema</i>	68
11.3	<i>ANÁLISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO EN LA VEREDA EL TUNAL</i>	70

11.3.1	<i>Oferta</i>	70
11.3.2	<i>Demanda</i>	71
11.4	<i>PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN</i>	72
11.5	<i>ESTUDIO HIDROLÓGICO Y USO DE LOS SIG</i>	74
11.6	<i>COMPORTAMIENTO DE LAS PRECIPITACIONES</i>	79
11.7	<i>DISPONIBILIDAD Y CONSUMO DEL RECURSO HÍDRICO APLICANDO EL MÉTODO RACIONAL</i>	83
11.8	<i>CÁLCULO DE REQUERIMIENTOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO</i>	85
11.9	<i>MEJORAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE BOMBEO (MANTENIMIENTO)</i>	88
11.10	<i>CÁLCULO DE REQUERIMIENTOS PARA EL MEJORAMIENTO ENERGÉTICO</i>	90
11.10.1	<i>Análisis del brillo solar de la zona de estudio</i>	90
11.10.2	<i>Cálculo del número de celdas fotovoltaicas requeridas</i>	92
11.11	<i>ESTIMACIÓN DEL VALOR ECONÓMICO</i>	94
11.11.1	<i>Costos de la propuesta del embalse (mejora de almacenamiento)</i>	95
11.11.2	<i>Costos del mejoramiento hidráulico (mantenimiento)</i>	96
11.11.3	<i>Costos del mejoramiento energético mediante un sistema energético de celdas fotovoltaicas</i>	97
11.11.4	<i>Costos totales</i>	97
11.11.5	<i>Retorno de inversión del proyecto</i>	98
12.	<i>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</i>	99
13.	<i>CONCLUSIONES</i>	104
14.	<i>RECOMENDACIONES</i>	106
15.	<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	108
16.	<i>ANEXOS</i>	115
17.	<i>GLOSARIO DE TÉRMINOS</i>	127

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Cobertura Acueducto Tunal.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2. Artículos relacionados con la Constitución Política de Colombia de 1991.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 3. Normas expedidas a la fecha por el gobierno delegadas por la ley para su reglamentación.</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 4. Distribución poblacional veredal del municipio de Paipa. (Plan de desarrollo de Paipa 2008-2011).</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 5. Descripción detallada de las instituciones involucradas.</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 6. Censo municipio de Paipa, Boyacá, año 1993.</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 7. Censo municipio de Paipa, Boyacá, año 2005.</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 8. Valores de escorrentía según el tipo de superficie.</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 9. Subdivisión enfoque mixto.</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 10. Definición de alcances.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 11. Puntualización en métodos deductivo e inductivo.</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 12. Técnicas Utilizadas en la metodología.</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 13. Características principales bomba multietapa de hierro IHM.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 14. Dotación por habitante según nivel de complejidad del sistema.</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 15. Características y datos para la aplicación del método geométrico.</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 16. Resultados de la proyección de la población acueducto vereda el Tunal por el método geométrico.</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 17. Características de la Estación Tinguavita, Paipa Boyacá.</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 18. Datos precipitación (mm), estación Tinguavita IDEAM.</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 19. Cálculos de promedios anuales, valores máximos y mínimos, días de lluvia de precipitación, estación Tinguavita IDEAM.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 20. Promedio mensual de precipitaciones (mm).....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 21. Resultados obtenidos sobre el método racional.</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 22. Características de los resultados del diseño del embalse.</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 23. Resultados de la red, tuberías (líneas), EPANET:</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 24. Resultados de la red, puntos (nodos), EPANET:.....</i>	<i>89</i>

<i>Tabla 25. Datos de brillo solar (horas), estación Tunguavita IDEAM.</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 26. Cálculos de promedio anual, valor máximo y mínimo, promedios diarios del brillo solar, estación Tunguavita IDEAM.</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 27. Costos de la propuesta del embalse.</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 28. Costos de la propuesta del mejoramiento hidráulico (mantenimiento).</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 29. Costos de la propuesta del sistema energético.</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 30. Costos totales de la propuesta de mejoramiento del sistema de distribución del recurso hídrico.</i>	<i>97</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación del municipio de Paipa en Boyacá, Colombia.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 2. Ubicación de la vereda El Tunal en el municipio de Paipa.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3. Área y perímetro de la zona de estudio, vereda el Tunal, Paipa.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 4. Instituciones involucradas en la vereda el Tunal.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 5. Funciones en el despacho de la Alcaldía Municipal de Paipa.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 6. Metodología basada en los objetivos.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 7. Mapa de Irradiación Solar en Colombia.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 8. Mapa de Brillo Solar en Colombia.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 9. Estaciones de bombeo y estación de distribución en la vereda El Tunal, municipio de Paipa, Boyacá.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 10. Estaciones de bombeo 1 y 2 con su perfil de elevación.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 11. Estación de bombeo 2 y distribución 3 con su perfil de elevación.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 12. Curva de rendimiento de la bomba hidromac vvk1 40/6.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 13. Plano y curvas de rendimiento de la bomba multietapas de hierro IHM.</i>	<i>68</i>
<i>Figura 14. Esquema del sistema de distribución del recurso hídrico, con sus principales características.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 15. Modelo de elevación digital de la zona de estudio, USGS, 2000.</i>	<i>75</i>
<i>Figura 16. Utilización software SAGA GIS para obtener direcciones del flujo.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 17. Utilización software SAGA GIS para obtener subcuencas.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 18. Utilización software SAGA GIS para obtener los drenajes principales.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 19. Visualización de las subcuencas en la zona de estudio.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 20. Visualización de las subcuenca principal.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 21. Visualización de las subcuenca principal y sus drenajes.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 22. Visualización de la distancia de la estación meteorológica Tunguavita del IDEAM hasta la zona de estudio (vereda el Tunal).</i>	<i>81</i>
<i>Figura 23. Gráfico promedio precipitación (mm) anual vs tiempo (año).</i>	<i>83</i>
<i>Figura 24. Visualización del humedal y punto de captación “Ojo de Agua” (Bombeo 1), donde se muestra el área (borde amarillo con puntos rojos) para el método racional.</i>	<i>84</i>

<i>Figura 25. Esquema del embalse con sus características y materiales.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 26. Proyección de la ubicación del embalse cerca de la estación Distribución 3.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 27. Esquema del embalse con el tiempo aproximado para que se vacíe.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 28. Sistema de distribución del recurso hídrico actual de la vereda, software EPANET.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 29. Gráfico promedio brillo solar (horas) anual vs tiempo (año).</i>	<i>92</i>
<i>Figura 30. Gráfico retorno de la inversión del proyecto.....</i>	<i>99</i>

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

1. Resumen

Uno de los países más ricos y diversos en recursos hídricos es Colombia, sin embargo la disponibilidad en muchos casos es escasa, ya que gran parte de la población y algunas actividades económicas del país están ubicadas en cuencas hidrográficas con déficit natural de agua, dentro de estas cuencas en las últimas décadas la población ha incrementado considerablemente, presentando diferentes alteraciones antrópicas que han reducido la disponibilidad del recurso. Un caso puntual se ve reflejado en la vereda el Tunal en el municipio de Paipa, Boyacá, donde se presenta una escasez del recurso hídrico en diferentes épocas del año debido a la deforestación por actividades como la ganadería, minería, agricultura, entre otras; obligando a la población del sector a usar un sistema de abastecimiento alternativo, con bombas de presión, tanques de almacenamiento y un consumo elevado de energía eléctrica en vista de que existe una mínima intervención por parte del estado para brindar ayuda. En el siguiente trabajo de grado se utilizarán los sistemas de información geográfica y la oferta-demanda del recurso hídrico para plantear y comparar posibles mejoras hidráulicas, energéticas y de almacenamiento para que el sistema de suministro del recurso sea sostenible y tenga una eficiente distribución para la comunidad. Con el desarrollo de la presente investigación, se pudo proponer un embalse como una mejora del sistema de almacenamiento, un mantenimiento preventivo para el mejoramiento hidráulico y un sistema de celdas fotovoltaicas para el mejoramiento energético, con un periodo de diseño de 30 años para su futura implementación. Se pudo llegar a la conclusión, que la propuesta es muy viable, analizando los costos económicos, con una inversión aproximada de 242 millones de pesos (COP) y un periodo de retorno de 5 años y 10 meses.

Palabras clave: Sistema de Suministro de Agua, Estudio hidrológico, Sistemas de Información Geográfica, Mejoramiento.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

2. Abstract

One of the richest and most diverse countries in water resources is Colombia, however the availability in many cases is scarce, since a large part of the population and some economic activities of the country are located in watersheds with natural water deficit, within these basins, in the last decades the population has increased considerably, coming up with different anthropic alterations that have reduced the availability of the resource. A specific case is evidenced in the Vereda el Tunal in the municipality of Paipa, Boyacá, where there is a shortage of hydric resource at different times of the year due to deforestation as a result of activities such as livestock, mining, agriculture, among others; forcing the population of the sector to use an alternative supply system, with pumps, storage tanks and a high consumption of electric power due to the fact that there is a minimal intervention by the state to provide assistance. In the following degree work, the geographic information systems and the supply-demand of the hydric resource will be used to propose and compare possible hydraulic, energy and storage improvements so that the supply system is sustainable and has an efficient distribution for the community. With the development of the present investigation, it was possible to propose a reservoir as an improvement of the storage system, a preventive maintenance for the hydraulic enhancement and a system of photovoltaic cells for energetic improvement, with a design period of 30 years for its future implementation. It was possible to reach the conclusion that the proposal is very viable, analyzing the economic costs, with an approximate investment of 242 million Colombian pesos (COP) and a return period of 5 years and 10 months.

Keywords: *Water supply network, Hydrological study, Geographic information system, Improvement.*

3. Introducción

Aunque gran parte de Colombia tenga una buena disposición del recurso hídrico es alarmante su escasez en ciertas zonas, ya que no se satisfacen equitativamente las necesidades de consumo de las personas. Una gran cantidad de habitantes del sector urbano y sobre todo rural no tienen acceso

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

seguro al agua potable, lo que genera problemas de salud, una afectación a la agricultura y la ganadería, que conllevan a una reducción económica e incluso a la migración, impidiendo el desarrollo. Paipa, un municipio de Boyacá ubicado en la zona central oriental del país, se destaca por sus aguas termales, su lago de Sochagota y algunas reservas naturales; lo que hace pensar que este municipio cuente con una buena disposición del recurso hídrico, sin embargo en algunas veredas se ve afectado principalmente en épocas de sequía, donde el agua escasea.

En Paipa Boyacá, existen 32 acueductos en la zona rural; todas estas organizaciones han aparecido por la necesidad de disponer de un servicio básico de suministro de agua potable para las comunidades. En la Vereda Tunal, que está localizada al sur del casco urbano de Paipa, existe un acueducto en funcionamiento, por lo que la mayoría de personas cuentan con agua potable. En la siguiente tabla se puede apreciar la cobertura del acueducto de la vereda Tunal. (Alcaldía Municipal de Paipa Boyacá, 2010)

Tabla 1. Cobertura Acueducto Tunal.

No.	Nombre del Acueducto	Usuarios	Conexiones	Viviendas	Población	Veredas Cubiertas
13	Acueducto El Tunal	100	100	85	255	1

Fuente: Alcaldía Municipal de Paipa Boyacá, 2010.

Hay que tener en cuenta que la mayor dependencia de abastecimiento de agua en la zona rural del municipio es por fuentes superficiales de agua, es decir utilizando agua proveniente de quebradas, que en muchos casos disminuyen su caudal en épocas de verano intenso y que tiene su nacimiento en zonas frágiles y expuestas a procesos de deforestación. Existen algunos acueductos con que han iniciado procesos de compra de terreros con el objetivo de proteger y conservar las rondas de estos caudales, entre estos se encuentra la vereda el Tunal.

Otros riesgos de disminución de caudales de abastecimiento están relacionados con el deterioro de las cuencas y subcuencas, como los nacimientos y las quebradas; el proceso continuo de desaparición de los bosques en las partes altas, el avance de la frontera agrícola y el uso descuidado de pesticidas y fungicidas, no solo aseguran la disminución del recurso, sino la contaminación del recurso hídrico. (Alcaldía Municipal de Paipa Boyacá, 2010)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

4. Planteamiento del Problema

En la parte sur del municipio de Paipa, Boyacá, puntualmente en la vereda Tunal, existe una escasez de fuentes hídricas ya que la oferta del recurso hídrico promedio es de 60 480 litros al día y la demanda de 88 560 litros al día. Esto se debe a su ubicación geográfica y a la deforestación por actividades antrópicas, como son la ganadería y minería; por esta razón, los habitantes del sector se ven obligados a utilizar el servicio hídrico que brindan las aguas lluvias, pequeñas quebradas, y un humedal presente en la zona, empleando redes de bombeo.

Los habitantes de esta vereda han intentado pedir ayuda al estado y a las autoridades gubernamentales competentes, más la ayuda recibida no ha sido suficiente, debido a esto la comunidad decidió asignar un “presidente del agua” y autogestionarse. En épocas de sequía la principal fuente del recurso hídrico (un nacimiento de agua dulce) disminuye, por lo tanto no alcanza a cubrir la demanda de la vereda, de modo que la comunidad se las arregló para captar agua de un humedal cercano, la cual se distribuye por una red con dos bombas, tres tanques de almacenamiento y energía eléctrica en demasía.

Lo ideal para la comunidad sería tener una red de distribución eficiente que cubra las necesidades de las personas, para que en las épocas de sequía del año no se vean afectados por problemas de escasez del recurso hídrico, recurriendo así con menor frecuencia a bombas que funcionan a partir de energías no renovables que generan un impacto al ambiente. Por lo tanto se construirá un estudio de la oferta y demanda del recurso hídrico para poder analizar la hidrología y los impactos que se tienen en la estructura al implementar un sistema de energía fotovoltaico, un embalse y una mejora hidráulica.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

4.1 Preguntas de investigación

4.1.1 General

¿Es viable una propuesta de mejoramiento del sistema de suministro del recurso hídrico para satisfacer las necesidades de la población de la vereda el Tunal en el municipio de Paipa, Boyacá?

4.1.2 Específicas

- ¿Es factible evaluar el abastecimiento del recurso hídrico del acueducto el Tunal mediante un análisis oferta-demanda?
- ¿Pueden los sistemas de información geográfica (SIG) y modelos de elevación digital (DEM) ayudar a hacer un estudio hidrológico sostenible para identificar el aprovechamiento del recurso hídrico?
- ¿Sería ideal analizar la viabilidad técnica de optimización del sistema de suministro del acueducto de la vereda el Tunal?

5. Justificación

Considerando la magnitud de los problemas que puede ocasionar la escasez del recurso hídrico, se desarrolla una propuesta de mejoramiento del sistema de suministro del recurso hídrico desde una perspectiva hidráulica y energética, donde se analizará la viabilidad de algunas mejoras en comparación con el sistema actual, para que tenga un eficiente funcionamiento y poder contribuir y ayudar a pequeñas comunidades necesitadas.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Aspecto Social: Se propone dar una solución a la problemática mediante varias alternativas, las cuales satisfacen la demanda del recurso hídrico para las personas que habitan en la vereda, mejorando su calidad de vida.

Aspecto Económico: Se busca reducir los elevados costos de energía que generan las bombas del sistema de suministro del recurso hídrico de la vereda con mejoras hidráulicas y energéticas.

Aspecto Ecológico: Para la utilización del recurso hídrico se incentiva a la preservación, conservación y restauración del ecosistema; asimismo la reducción del consumo de energía disminuye indirectamente la contaminación.

6. Objetivos

6.1 Objetivo General

Realizar una propuesta de mejoramiento del sistema de suministro del recurso hídrico para el acueducto en la vereda el Tunal en el municipio de Paipa, Boyacá.

6.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el abastecimiento del recurso hídrico del acueducto el Tunal mediante un análisis oferta-demanda y los sistemas de bombeo actualmente utilizados.
- Hallar el caudal máximo del recurso hídrico mediante el método racional hidrológico con los sistemas de información geográfica (SIG) y modelos de elevación digital (DEM) para identificar el aprovechamiento sostenible de una subcuenca en la vereda el Tunal en Paipa, Boyacá.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

- Analizar la viabilidad técnica de mejoramiento del sistema de suministro del acueducto El Tunal comparando los procesos usado con este sistema actual.

7. Marco de Referencia

7.1 Estado del Arte

7.1.1 Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua superficial

A través de los tiempos, el hombre ha utilizado el recurso hídrico de la superficie como la principal fuente de abastecimiento, consumo y hasta vía de transporte, por esta razón los ríos, lagos y lagunas han sido los principales lugares donde se establecieron las primeras civilizaciones. El hombre aprendió a acumular y aprovechar el agua lluvia, aunque sin depender de esta, gracias a la permanente presencia del agua en la superficie. Cuando algunas civilizaciones crecieron demográficamente y se establecieron en zonas con menos disposición del agua, el humano comenzó a desarrollar formas más complejas para poder captar las aguas lluvias para su supervivencia.

Estas tecnologías se han utilizado desde hace mucho tiempo, y se puede determinar que las técnicas de captación de agua tienen un papel fundamental en el sector agrícola y pecuario para el desarrollo del ser humano. Estos sistemas son el resultado de la demanda, es decir, las necesidades, los recursos naturales disponibles, y las condiciones meteorológicas y ambientales de cada territorio.

(Ballén, Galarza, & Ortiz, 2007)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.1.2 ¿Qué es un mejoramiento?

El mejoramiento se considera como la acción de modificar o cambiar un componente o una variable de un sistema para que sus características sean mejores, es decir, que su rendimiento sea más eficiente u óptimo. Hay que tener en cuenta que los términos mejora y optimización son muy cercanos pero, no hay que confundirlos ya que son diferentes. Por su parte, la optimización se refiere al proceso en que las partes o componentes de un sistema trabajan de la mejor manera, en sincronía con el máximo rendimiento posible para que el producto o servicio sea el superior.

7.1.3 Etapas para el mejoramiento de sistemas de distribución del recurso hídrico

Para que haya un mejoramiento en un sistema de distribución del recurso hídrico, se deben llevar a cabo una serie de actividades para prevenir el futuro daño, y realizar un mantenimiento de los mismos, buscando en sí una optimización en el sistema. Para un funcionamiento correcto de las diferentes mejoras, es importante que se tomen en cuenta varias etapas, como las de revisión, donde se tiene en cuenta la población, proyección de esta, características meteorológicas y algunas condiciones del mantenimiento, otra etapa es la verificación, donde se comprueba que las mejoras estén cumpliendo con los requerimientos establecidos por las leyes o normas, y la última etapa, la validación, que consiste en comprobar que el proyecto supla con las necesidades de los habitantes que se benefician del sistema. (Camacho & Bello, 2016)

7.1.4 Inventario de fuentes de abastecimiento de los sistemas de acueducto de las cabeceras municipales de Colombia

Se decidió incluir esta tesis dentro del estado del arte, ya que presenta un estudio sobre los inventarios de fuentes de abastecimiento del recurso hídrico, reconociendo los sistemas de acueducto que presentan deficiencias en condiciones comunes de operación y en épocas de sequía, que requieren de otras fuentes. Estos inventarios estudiados, relacionan los caudales captados y los suministrados, con el fin de verificar si las empresas prestadoras del servicio de acueducto, están

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

adquiriendo mayores o menores caudales de las fuentes hídricas a los permitidos. En sus resultados se evidencia que en Colombia, la prestación del servicio de acueducto en los municipios se encuentra a cargo de mil ciento setenta y seis (1176) empresas que atienden mil noventa y dos (1092) municipios, de los cuales en cuatrocientos setenta y un (471) fuentes hídricas superficiales se capta un caudal inferior al caudal medio, lo que afirma que Colombia, a pesar de ser un país con una alta disposición del recurso hídrico, tiene municipios que pueden sufrir un desabastecimiento de este importante recurso. (Bernate Suárez, 2017)

7.1.5 Historia de las energías renovables a nivel internacional

A principios del siglo XIX el 95% de la energía primaria que se consumía en el mundo procedía de fuentes renovables. Un siglo después era del 38%, y a principios del presente siglo era sólo del 16% (Fouquet, 2009). Sin embargo, estos porcentajes han venido cambiando, puesto que en muchos países industrializados la cantidad de energías renovables ha crecido de manera considerable en las dos últimas décadas. La inversión total en el mundo en energías renovables, que en el año 2004 fue de 22.000 millones de dólares USA, ha aumentado de manera significativa, pasando a 130 en 2008, 160 en 2009 y 211 en 2010. Aproximadamente la mitad de los 194 GW estimados de nueva capacidad eléctrica añadidos en el mundo en 2010 corresponde a energías renovables. A principios de 2011 al menos 118 países tenían políticas de apoyo a las energías renovables o algún tipo de objetivo o cuota a nivel nacional, muy por encima de los 55 países que los tenían en 2005 (REN21, 2011).

Las energías renovables han sustituido parcialmente a los combustibles fósiles y a la energía nuclear en cuatro mercados distintos: generación de electricidad, aplicaciones térmicas (calor para procesos industriales, calefacción, refrigeración y producción de agua caliente en el sector doméstico), carburantes para transporte y servicios energéticos sin conexión a red en el ámbito rural en los países en vías de desarrollo. (André, Castro, & Cerdá, 2009)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.1.6 Historia de las energías renovables en Colombia

El interés por la energía solar en Colombia se remonta en la década de los setenta para el año 1970 en la crisis energética. Estas iniciativas se dieron como propósito de mejorar la calidad de vida de la población rural, aumentar el desarrollo agrícola, disminuir las migraciones a las ciudades, reducir el consumo de leña, etc. Para mediados de los 80 se aumentó la compra masiva de calentadores solares para urbanizaciones en Medellín, Villa Valle de Aburrá y Bogotá, unidades residenciales construidas en sectores de Ciudad Salitre y Ciudad Tunal; fabricados por el Centro Las Gaviotas. (Rodríguez H., 2009)

Para el año 1992, el antiguo HIMAT (Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras), el (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) IDEAM y el INEA (instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas) realizaron el primer atlas de radiación solar de Colombia, tomando series anuales durante el periodo de 1980 a 1990, de 203 estaciones. El país cuenta con un alto potencial solar y su radiación solar es uniforme durante todo el año. (Rodríguez H., 2009)

El desarrollo alcanzado hasta 1996 indicaba que se habían instalado 48 901 m² de calentadores solares, principalmente en Medellín y Bogotá, y en barrios con financiación del Banco Central Hipotecario. La mayoría de los sistemas funcionaban bien pero algunos usuarios esperaban más de los sistemas, lo cual se ha entendido como que la demanda era superior a la capacidad de los mismos. (Rodríguez H., 2009)

7.1.7 Historia de la energía solar fotovoltaica

Alexandre Edmond Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico a en el año de 1839, que consistente en la transformación directa de la luz en electricidad utilizando un semiconductor, algunos años más tarde, en 1877, el inglés William Grylls Adams profesor en King College de Londres, junto con su alumno Richard Evans Day, crearon la primera célula fotovoltaica de selenio. Si bien es cierto, en

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

todos estos descubrimientos la cantidad de electricidad que se obtenía era muy reducida y quedaba descartada cualquier aplicación práctica, ya que se demostraba la posibilidad de transformar la luz solar en electricidad por medio de elementos sólidos sin partes móviles. (Oviedo, Badii, Guillen, & Lugo, 2015)

En el año de 1953 que Gerald Pearson de Laboratorios Bell patentó la primera célula fotovoltaica, fabricándola casi accidentalmente; en 1954 a partir de ese descubrimiento, otros dos científicos de los Laboratorios Bell, Daryl Chaplin y Calvin Fuller perfeccionaron este invento y produjeron células solares de silicio capaces de proporcionar suficiente energía eléctrica como para que pudiesen obtener aplicaciones prácticas. A partir de ese momento la eficiencia de las células no ha dejado de crecer, mientras que su campo de aplicaciones se ha extendido enormemente y actualmente la tecnología fotovoltaica está basada en el silicio cristalino, sin embargo hay investigaciones en otros materiales. (Oviedo, Badii, Guillen, & Lugo, 2015)

7.1.8 Historia del primer sistema de energía solar para el suministro del recurso hídrico

A mitades de los años 70's, Dominique Campana, una francesa apasionada por los problemas medioambientales, contribuyó al desarrollo del primer sistema de energía solar fotovoltaico para el bombeo de agua como parte de su tesis doctoral; ella tomó la decisión de enfocarse en la energía solar luego de atender una conferencia sobre energías renovables, en concreto la cumbre solar, que afortunadamente para ella, se realizó en París en 1973. Los intereses por el medio ambiente de Dominique, la llevaron a examinar la dificultad de obtener agua para algunas poblaciones en lugares aislados. Fue así que aprendió cómo usar la energía solar de la mejor manera para resolver problemas de abastecimiento de agua. (Perlin, 2002)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.1.9 Actualidad en energías renovables en Colombia

En la actualidad, Colombia busca suplir la demanda de energía eléctrica de manera eficiente en todas las regiones del país puesto que se tienen dependencias de fuentes de energía que demandan el uso de recursos naturales, como: petróleo, carbón y agua (hidráulica). Estas fuentes contaminan gravemente al medio ambiente; por eso la energía solar FV es una excelente solución a esta situación, puesto que es de, fácil instalación y operación (Zonas aisladas), su fuente de generación es inagotable (Sol), se cuenta con buen recurso solar y es amigable con el medio ambiente, además, los sistemas fotovoltaicos tienden a reducir en costos y su implementación no es de gran dificultad, es decir: necesitan poco mantenimiento, presentan larga vida útil y el costo de las celdas solares cada vez es menor. (Gómez, Murcia, & Cabeza, 2017)

Para el año 2014, la capacidad instalada de generación de energía solar fotovoltaica en el mundo fue de 177 GW, en el año 2015 se incrementaron 50 GW respecto al año anterior, logrando un valor histórico de 227 GW y un crecimiento del 25% de esta fuente renovable. Así mismo para el año 2015 las energías renovables representaron el 23,7% de la capacidad de generación de energía del mundo, dentro de estas, la fotovoltaica representaba el 1,2%; Los países cabecillas en generación eléctrica fotovoltaica son: China, Alemania, Japón, Estados Unidos, Italia, Reino Unido, Francia, España, India y Australia. Se toma como consideración que la energía solar fotovoltaica ha generado alrededor de 2.772 empleos en el mundo y su mercado se acerca a los USD 300 millones anuales. (Gómez, Murcia, & Cabeza, 2017)

Colombia es un país que goza de una matriz energética relativamente rica tanto en combustibles fósiles como en recursos renovables. Actualmente la matriz eléctrica, genera aproximadamente un 17% de la energía final consumida en el país, y la principal fuente proviene de las hidroeléctricas, que representa entre el 70% y 80% de la generación, por otro lado energías renovables como son la eólica y la solar, comienzan a cobrar sentido para ser incorporadas en la matriz energética nacional. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Los recursos disponibles a nivel nacional, como son una irradiación solar promedio de 194 W/m² para el territorio nacional, vientos localizados de velocidades medias en el orden de 9 m/s, representan potenciales atractivos para su aprovechamiento. Esto hace que las bases de la práctica energética de Colombia figuren en la utilización, despliegue y desarrollo de tecnologías con FNCER (Fuentes no convencionales de energías renovables). (Hoyos, 2018)

7.1.10 Generación de energía fotovoltaica en Colombia a gran escala

Continuando con la actualidad de las energías renovables en Colombia, hubo un gran avance para la energía fotovoltaica, puesto que, la *Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)* aprobó en Marzo del 2019 una licencia para la generación de energía a gran escala con paneles solares fotovoltaicos, con un área máxima de 105,62 hectáreas, conformado por aproximadamente 284 310 módulos fotovoltaicos, sumando en corriente alterna un total de hasta 100 megavatios, con una producción estimada de 41 667 MWh/año, durante 30 años de operación. Este proyecto se encuentra en el corregimiento Azúcar Buena-La Mesa, ubicado en el municipio de Valledupar, Cesar. La empresa encargada es Celsia, invirtiendo aproximadamente \$ 70 millones de dólares. Este proyecto, según el *ANLA*, reduciría 150 000 toneladas de dióxido de carbono al año (CO₂) y entre otras medidas manejo, posee información, participación y educación de la población vinculada a este proyecto e inclusiones de protección, compensación y manejo forestal.

Por el momento, 66% de la energía eléctrica de Colombia proviene de fuentes hidroeléctricas, que cada vez generan más inconformidades por sus enormes impactos sociales y daños ambientales. Gracias a este proyecto de energía solar fotovoltaica, fortalece la política de uso de energías limpias, promoviendo el uso de las energías renovables sujeto a los principios del desarrollo sostenible. (El Espectador, Redacción Vivir, 2019)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.1.11 Artículo sobre el dimensionamiento de canales y embalses para conducir y almacenar agua lluvia para abastecer la población de Altos de Cazucá (Soacha-Colombia) utilizando D.E.M

Dentro de este artículo, se analiza y se modela el flujo de agua lluvia con las causas de los procesos de inundación en los Altos de Cazucá y se genera una alternativa para eliminar inconvenientes, además de hacer del problema, una oportunidad para el aprovechamiento de agua lluvia, mediante diferentes estructuras hidráulicas que permiten una conducción y almacenamiento por medio de la energía gravitacional, a estructuras de almacenamiento, como los embalses, con el fin de proveer el recurso hídrico a la población de Altos de Cazucá, sin acceso a este, siempre y cuando se realicen estudios posteriores, proyectos para la correcta separación de aguas residuales domésticas de la misma población que no cuenta con un sistema de evacuación de agua residual y se le haga un tratamiento a la medida al agua lluvia recolectada para asegurar su potabilidad y su posterior cálculo para suministro. (Forero Buitrago, 2017)

7.1.12 Trabajo de grado sobre el diseño y dimensionamiento de un generador solar fotovoltaico y sus componentes, para la producción de energía eléctrica presentando como zona experimental el municipio de Tibasosa Boyacá

En esta investigación, se propone y se dimensiona un generador solar fotovoltaico con sus componentes, para producir energía con el propósito de hacer funcionar unas bombas de succión del acueducto de Tibasosa, Boyacá, teniendo en cuenta las eficiencias de cada componente con el fin de minimizar al máximo las pérdidas de energía. Se evidencia en los resultados la viabilidad económica y ambiental del proyecto, demostrando que es muy importante incluir un análisis de brillo solar para cada zona en la que se tenga la intención de realizar un proyecto fotovoltaico y ajustar de esta forma, los valores de eficiencia sugeridos por cada fabricante, puesto que las condiciones para las cuales, los fabricantes realizaron sus pruebas de diseño, variando con respecto a la realidad de cada ubicación y por lo general, no concuerdan los criterios y eficiencias con las que se nos sugiere trabajar por parte de los fabricantes. (López Rivera & Páez Alarcón, 2017)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.1.13 Trabajo de grado sobre el análisis de la demanda de la red de distribución de agua en el municipio de Aracataca, Colombia

En el siguiente trabajo de grado, se lleva a cabo un proyecto sobre una optimización hidráulica para el sistema de distribución de agua potable en el municipio de Aracataca, Magdalena, con el apoyo de la empresa de *Aguas del Magdalena S.A E.S.P.*, que estuvo implementando el desarrollo de un programa de mejoramiento de los servicios de acueducto y alcantarillado en el departamento del Magdalena, con el objeto de incrementar las coberturas reales urbanas de acueducto y alcantarillado y de esta forma garantizar el mejoramiento permanente y sostenible de los servicios. Esta investigación se llevó a cabo sobre un análisis estadístico de presiones y modelos hidráulicos desarrollados en el software *EPANET*, para mejorar el sistema actual del municipio, que consiste en la toma del recurso hídrico de un canal y de un río. (Beltrán Niño & Abril Galindo, 2014)

7.2 Marco Conceptual

7.2.1 Recurso hídrico

El agua es un recurso finito, se recicla permanentemente en lo que se denomina el ciclo hidrológico o ciclo del agua. Esta constante renovación que realiza el ciclo hidrológico conduce a dos supuestos que a la larga se han mostrado negativos. Por una parte el agua ha sido frecuentemente considerada un bien público o libre, o de acceso libre; por otra, hasta fechas recientes se ha tomado conciencia de su escasez, a tal punto que hoy es uno de los factores limitantes en ciertas actividades económicas fundamentales para el desarrollo, en particular para la agricultura. (Red EuroSur, 2002)

7.2.2 Precipitación

Se conoce como precipitación a la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo). La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua. (García. J, 2004)

7.2.3 Cuenca Hidrográfica

Las cuencas hidrográficas son territorios definidos naturalmente donde todos los procesos socio-ecológicos están profundamente ligados entre sí. En ellas, el manejo se entiende como un proceso de planeación, implementación y evaluación de acciones mediante la participación organizada e informada de la población. (Ríos, González, Cotler, Pineda, & Galindo, 2013)

7.2.4 Humedal

Según la Convención Internacional de RAMSAR: “Ecosistemas tanto naturales como artificiales que se hallan permanentemente o temporalmente inundados, ya sea por aguas dulces, salobres o salinas, estancadas o corrientes y, que incluyen regiones ribereñas, que no excedan los seis metros de profundidad”. Un humedal, es un área de tierra cuyo suelo está saturado por la humedad, permanente o temporalmente dependiendo de las condiciones climatológicas. (UACJ, Instituto de Ciencias Biomédicas, 2013)

7.2.5 Estudio Hidrológico

El diseño o estudio hidrológico se define como la evaluación del impacto de los procesos hidrológicos y la estimación de valores de las variables relevantes para modificarlo. (Camaño & Dasso, 2003) El diseño o estudio hidrológico tiene como objetivo la recolección de datos, su análisis y procesamiento posterior, por medios matemáticos o estadísticos, para convertir los datos en información confiable que permita obtener la solución a problemas de ingeniería. (Fattorelli & Fernández, 2011)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.2.6 Método Racional Hidrológico

El método racional permite definir el caudal pico máximo de aguas lluvias con relación a la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escurrimiento. (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2009)

7.2.7 Estación Meteorológica

Una estación meteorológica tiene como función la recolección de información meteorológica, mediante radares, mediciones locales, radio-sondeos, pronósticos del tiempo con los cuales se llega a la generación de un valor del estado y análisis de datos. (Campetella, Cerne, & Salio, 2011)

7.2.8 Estructura Hidráulica

Una estructura hidráulica, infraestructura hidráulica u obra hidráulica es una construcción, en el campo de diferentes ingenierías, principalmente la ingeniería civil y la ingeniería hidráulica, donde el elemento principal tiene que ver con la mecánica de fluidos y el recurso hídrico. Las estructuras hidráulicas constituyen un conjunto de construcciones y obras con el propósito de controlar el recurso hídrico, con diferentes fines, como el de su almacenamiento, aprovechamiento o de defensa. (Universidad Nacional del Santa, 2008)

Uno de los aspectos que generalmente merece especial atención en el diseño de obras hidráulicas de montaña, es decir, con diferencias de altitudes, es la disipación de la energía cinética que obtiene un chorro líquido por el incremento de la velocidad de flujo. (Universidad Nacional del Santa, 2008)

7.2.9 Sistema de captación del recurso hídrico

Es una técnica de recolección y almacenamiento de agua pluvial en tanques o en embalses naturales o de infiltración de aguas superficiales en yacimientos acuíferos antes de que se pierda en escurrimiento superficial. Esto permite abastecer a un hogar con agua potable de alta calidad y provee

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

almacenamiento durante todo el año. El agua se puede disponer para varios usos como, ganado, irrigación, huertos, etc. (Salgado, 2015)

El sistema de captación del recurso hídrico es recomendable en zonas con limitaciones de disponibilidad de agua superficial. La captación de aguas lluvias es viable en zonas hidrológicamente secas, también es una alternativa factible para zonas húmedas como quiera que es común encontrar en el campo factores tales como corrientes de agua en depresiones profundas, fuentes situadas a gran distancia, problemas de límites, carencia de energía eléctrica, alto costo y seguridad de los elementos y equipos alternos como bombas de agua y arietes hidráulicos, calidad del agua disponible y otros inconvenientes que conlleva al aprovechamiento de las aguas lluvias. (Correa, 2014)

7.2.10 Sistema de abastecimiento del recurso hídrico o acueducto

Para el *Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS*, en el título A, se entiende por Sistemas de Acueducto, el conjunto de instalaciones que conducen el agua desde su captación en la fuente de abastecimiento hasta la acometida domiciliaria en el punto de empate con la instalación interna del predio a suministrar el servicio de agua potable.

El sistema de abastecimiento busca asegurar la cantidad y calidad del recurso hídrico suministrado a la población que se ve afectada asegurando que se reciba el agua necesaria para subsistir en primera instancia. (Salvador, Realp, Basteiro, Oliete, & Pérez, 2005)

7.2.11 Embalse

Los embalses son cuerpos de agua formados o modificados por la actividad humana para propósitos específicos, con el fin de proporcionar un recurso confiable y controlable. Se encuentran principalmente en áreas de escasez o exceso del recurso hídrico, y también donde hay razones agrícolas, pecuarias o tecnológicas para tener una fuente fija.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Cuando el recurso hídrico es escaso, los embalses se utilizan principalmente para conservar el agua disponible para su uso durante los períodos de sequía, donde más se necesita para el suministro de agua potable o el riego. Cuando el problema es por el exceso, se puede usar un embalse para prevenir inundaciones. Las actividades particulares como la generación de energía, el cultivo de peces, el manejo de campos de arroz o la formación general de tierras húmedas, por ejemplo, también se realizan mediante la construcción de embalses. (Chapman, Thornton, & Rast, 1996)

7.2.12 Aprovechamiento Sostenible

Aprovechamiento de los componentes de la diversidad biológica de forma que no ocasione una disminución a largo plazo de la diversidad biológica de ninguno de sus componentes, manteniendo su potencial para satisfacer las necesidades y pretensiones de las generaciones presentes y futuras. (FAO, 1999)

7.2.13 Energías renovables

La energía renovable podría definirse como aquella que no consume recursos y además no contamina (como comúnmente se denominaría), es decir, que se trata de unas fuentes de suministro que pueden hacer de la energía un elemento sostenible. (Castells, 2012)

7.2.14 Energía solar fotovoltaica

La energía solar es aquella que aprovecha la radiación de las partículas de luz de sol para producir energía. Se trata de una fuente de energía totalmente limpia, que no necesita del uso de reacciones químicas ni provoca ningún tipo de residuos. (ERENOVABLE, 2018)

7.2.15 Radiación electromagnética

Puede definirse como aquel proceso en el que se emite energía bajo la forma de ondas o partículas materiales y puede extenderse tanto a través de un medio material como en el vacío. Se diferencian

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

unas de otras en el valor de su frecuencia. Cuanto mayor es la frecuencia de una radiación, mayor es su energía. (Castellano, 2014)

7.2.16 Brillo solar

También conocido como duración media de brillo solar, horas de sol, e incluso heliofanía en horas (debido al instrumento con que se puede medir este fenómeno), representa el tiempo durante el cual incide la luz del sol (radiación solar) sobre alguna zona en específico, entre el amanecer y el atardecer. Este elemento meteorológico es uno de los factores principales que determinan el clima de un lugar, y hasta las formas de vida y actividad humana. El entendimiento sobre el brillo solar permite, hacer estimaciones cuantitativas para saber la disponibilidad de luz, o radiación solar, para el aprovechamiento de la energía solar. (ETESA, Hidromet, 2009)

Cuando el brillo solar está en su punto máximo, usualmente a medio día y sin nubes, puede generar una energía aproximadamente de 1000 Watts por metro cuadrado de radiación solar directamente sobre la superficie terrestre. (Alternative Energy Tutorials, 2010)

7.2.17 Planificación del territorio

“La planificación es un término que puede ser definido como la acción de llevar a cabo un objetivo determinado (en este caso, de ordenación territorial) con la previsión, en un plan, de todos o los principales factores considerados importantes para la consecución de aquél.”

Cualquier territorio, de la escala que sea, experimenta problemas y conflictividad, dado que en él se asienta una determinada población y se desarrollan diversas actividades. Mitigar en lo posible los conflictos entre usos, lograr un desarrollo socioeconómico equilibrado, proteger el medio y preservar sus recursos, y mejorar la calidad de vida son objetivos que sólo pueden lograrse, eficaz y racionalmente, a través de la planificación territorial. (Rodríguez J. C., 2008)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.2.18 Sistema de información geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una colección organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial, y despliegue de todo tipo de información geográficamente referenciada. Los SIG son herramientas que permiten procesar geoinformación (cuya condición básica es su referencia espacial a un determinado sistema de coordenadas geográficas). Por esta razón, se han convertido en herramientas imprescindibles para la gestión y planificación del territorio. (Burgos & Salcedo, 2014)

7.2.19 Modelos de elevación digital (DEM)

Se denomina Modelo de elevación digital (DEM) a un modelo simbólico, de estructura numérica y digital que busca representar la distribución espacial de la elevación del terreno, siendo la altura una variable escalar (sobre un nivel de referencia) que se distribuye en un espacio bi-dimensional. (Felicísimo, 1994) Los modelos de datos para la representación de los DEM pueden ser vectoriales o raster (grillados). No todos los DEM son igualmente útiles: se diferencian entre sí por la resolución y por la exactitud, y diferentes aplicaciones plantearán diferentes requisitos. (Burgos & Salcedo, 2014)

7.2.20 Calidad de vida

La calidad de vida ha sido la aspiración humana de todos los tiempos, unas veces revestida del inmemorial sueño por la felicidad, otras veces propuesta como la tarea preceptiva del “Estado de Bienestar. Desde este panorama la calidad de vida es un determinante que se ve influenciado por las aspiraciones, de las expectativas, de las referencias vividas conocidas y así mismo de las necesidades (Moreno & Ximénez, 1996).

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.3 Marco Teórico

7.3.1 Gestión integral del Recurso Hídrico

El presente proyecto toma como fuente principal el recurso hídrico puesto que a partir de este, la población de la vereda El Tunal, se ve beneficiada y puede aprovechar el recurso mediante estrategias de gestión que no comprometen el desarrollo del medio ambiente para el uso de los recursos naturales en generaciones futuras.

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, La Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) busca conducir el desarrollo de políticas públicas en materia de recurso hídrico, a través de una combinación de desarrollo económico, social y la protección de los ecosistemas. La GIRH se define como *“un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.”* (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como elemento de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente son algunas de las técnicas que se pueden tener en cuenta como estrategias para el desarrollo de la vereda en diversos factores. Esto se lleva a cabo con el fin de armonizar los aspectos sociales, económicos y ambientales; y el desarrollo de los respectivos instrumentos económicos y normativos, sin dejar de lado la mejorar la calidad de vida, disminuir la contaminación, cuantificar y optimizar la demanda y fortalecer la gobernabilidad del recurso. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.3.2 Sistemas de información geográfica (SIG) y Modelos de elevación digital (DEM) aplicados a la gestión del territorio

El actual proyecto de grado está orientado hacia los Sistemas de información geográfica y modelos de elevación digital para favorecer su desarrollo. El autor Juan Peña en su libro “*Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio*” hace una introducción y muestra la relación que tienen los SIG con la gestión del territorio:

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta que permite y facilita la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos. Por lo tanto, cualquier actividad relacionada con el espacio geográfico, puede respaldarse del trabajo con SIG.

Sus principales aplicaciones son:

- Científicas:** Ciencias ambientales y relacionadas con el espacio, modelización cartográfica, modelos dinámicos, desarrollo de modelos empíricos y teledetección.
- Gestión:** Planificación física, ordenación territorial, planificación urbana, cartografía automática, catastro, información pública, estudios de impacto ambiental, evaluación de recursos y seguimiento de actuaciones.
- Empresarial:** Estrategias de distribución, planificación de transportes, localización óptima y marketing.

(Peña, 2010)

Aunque, todas estas aplicaciones utilizan los SIG para resolver diferentes temáticas, todas realizan y ejecutan tareas comunes, como:

- Organización de datos:** Almacenar datos con el fin de sustituir mapas físicos en papel por mapas en el ordenador, ventajas obvias, entre las cuales pueden ser mencionadas una reducción casi total

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

en el espacio físico, el fin del deterioro de la cartografía en papel, la rápida asequibilidad y recuperación de los datos, la posibilidad de elaborar copias sin pérdida de calidad, entre otras.

•**Visualización de datos:** La posibilidad de elegir los rangos de información deseados; permite juntar varios mapas temáticos elegidos superando cualquier cartografía en papel. La capacidad de análisis del ojo humano, comparada a un acercamiento por software, a pesar de estar subestimada, es esencial en un estudio que implica gran cantidad de información espacial.

•**Elaboración de mapas:** Los SIG en general, poseen herramientas para la elaboración de mapas, siendo bastante simple la implementación de grillas de coordenadas, escala numérica y gráfica, leyenda, rosa de vientos y textos, siendo mucho más apropiados para la cartografía que los simples sistemas CAD (Computer-Aided Design).

•**Consulta espacial:** Una de las funciones más importantes de los SIG es la posibilidad de preguntar en qué lugares existen ciertas características, o saber cuáles son las características de un determinado objeto. La relación entre el usuario y los datos espaciales se transforman en dinámicos y extremadamente poderosos.

•**Análisis espacial:** Consiste en el uso de un grupo de técnicas de combinación o unión, entre los rangos de información (layers o capas), con el fin de evidenciar características o establecer relaciones en los datos que el usuario no podía observar. Es una manera de deducir significado a partir de la unión de los datos.

•**Predicción:** Uno de los objetivos de los SIG es la verificación de escenarios, modificando las características para evaluar y predecir cómo los eventos naturales o antrópicos, ocurrirían si las condiciones fuesen diferentes, obteniendo un conocimiento más amplio del área de estudio o de los objetos.

•**Creación de modelos:** Los SIG se convierten en plataformas ideales para la creación y la aplicación de modelos geográficos distribuidos espacialmente, ya que tienen una capacidad de

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

almacenamiento, recuperación y análisis de datos superiores, para tener una mayor exactitud de escenarios hipotéticos.

(Peña, 2010)

7.4 Marco Normativo

7.4.1 Constitución Política De Colombia De 1991

Tabla 2. Artículos relacionados con la Constitución Política de Colombia de 1991.

Artículo 79.	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.
Artículo 80.	El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Fuente: Elaboración propia; Constitución Política de Colombia, 1991.

7.4.2 Resolución 0330 de 2017 (RAS - 2017)

Esta resolución es una de las más importantes para el presente proyecto de grado, ya que reglamenta todos los requisitos técnicos que se deben cumplir en las diferentes etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. En este proyecto de grado se propone una mejora al sistema de distribución del recurso hídrico o acueducto,

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

esta hace parte de la fase de mantenimiento y rehabilitación, por consiguiente se debe garantizar el cumplimiento del reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS dentro de este estudio de pre-factibilidad.

7.4.3 Norma técnica de servicio NS-085

Esta norma técnica proveniente de la *Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB*, basada en el RAS del año 2000. Resulta muy útil en la presente investigación, porque brinda una herramienta matemática conocida como “método racional”, la cual se usa para definir el caudal máximo de aguas lluvias con base en varios datos de precipitación y el tipo de suelo de la zona. Con esto los caudales de diseño van a estar de acuerdo a las condiciones meteorológicas y a las características del suelo, dando como resultado estimaciones de caudales más cercanas a la realidad y menos desaciertos.

7.4.4 Ley 1715 de 2014

En el año 2014, fue aprobada por el Congreso de la República de Colombia la Ley 1715 de 2014, "Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional", Ley por medio de la cual se expide el marco normativo colombiano para la promoción y desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable en Colombia.

La Ley 1715 está muy enfocada en estimular el uso, aprovechamiento y la implementación de las energías alternativas en Colombia. Su iniciativa fue generada en el Congreso de la República, con el apoyo de algunas entidades involucradas como la UPME, CREG, organizaciones y agremiaciones. Como antecedente se basó en la ley 697 de 2001 y su plan de acción, el estudio de competitividad de la industria realizado por el Programa de Transformación Productiva, conocido por su sigla PTP y los gremios del sector eléctrico. El enfoque fue estructurar las bases para la evolución y el

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

desarrollo del sector energético hacia las nuevas tecnologías renovables, conforme a la base institucional actual y el caso específico del país. El objetivo y finalidad de la ley 1715 se centra en promover el desarrollo y aprovechamiento de las energías no convencionales, al mismo tiempo que se busca la gestión eficiente de la energía pensando en la eficiencia energética y una respuesta más acorde a la demanda. Sin dejar de lado la reducción de los gases de efecto invernadero.

Tabla 3. Normas expedidas a la fecha por el gobierno delegadas por la ley para su reglamentación.

<i>Decreto 2492 de 2014</i>	"Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda".
<i>Decreto 2469 de 2014</i>	"Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración"
<i>Decreto 2143 de 2015</i>	"Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014."
<i>Resolución UPME 0281 de 2015</i>	"Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala"
<i>Resolución CREG 024 de 2015</i>	"Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)".

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

<p><i>Decreto 1623 de 2015</i></p>	<p>"Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas"</p>
<p><i>Resolución Ministerio de Ambiente 1283 de 8 agosto de 2016</i></p>	<p>"Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones"</p>
<p><i>Decreto 348 de 2017</i></p>	<p>"Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala".</p>
<p><i>Decreto 1543 de 2017</i></p>	<p>"Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, FENOGE"</p>
<p><i>Decreto 570 de 2018</i></p>	<p>"Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de</p>

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

	Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones"
<i>Resolución CREG 030 de 2018</i>	"Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional"
<i>Resolución CREG 038 de 2018</i>	"Por la cual se regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las zonas no interconectadas"

Fuente: Juanita Hernandez Vidal, 2017.

7.5 Marco Geográfico

7.5.1 Ubicación geográfica y coordenadas

El actual proyecto de grado se ubica en Colombia, dentro del departamento de Boyacá, en el municipio de Paipa, en la vereda El Tunal, ubicada al sur del casco urbano del municipio.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.



Figura 1. Ubicación del municipio de Paipa en Boyacá, Colombia.

Fuente: Alcaldía Municipal de Paipa Boyacá, 2010.

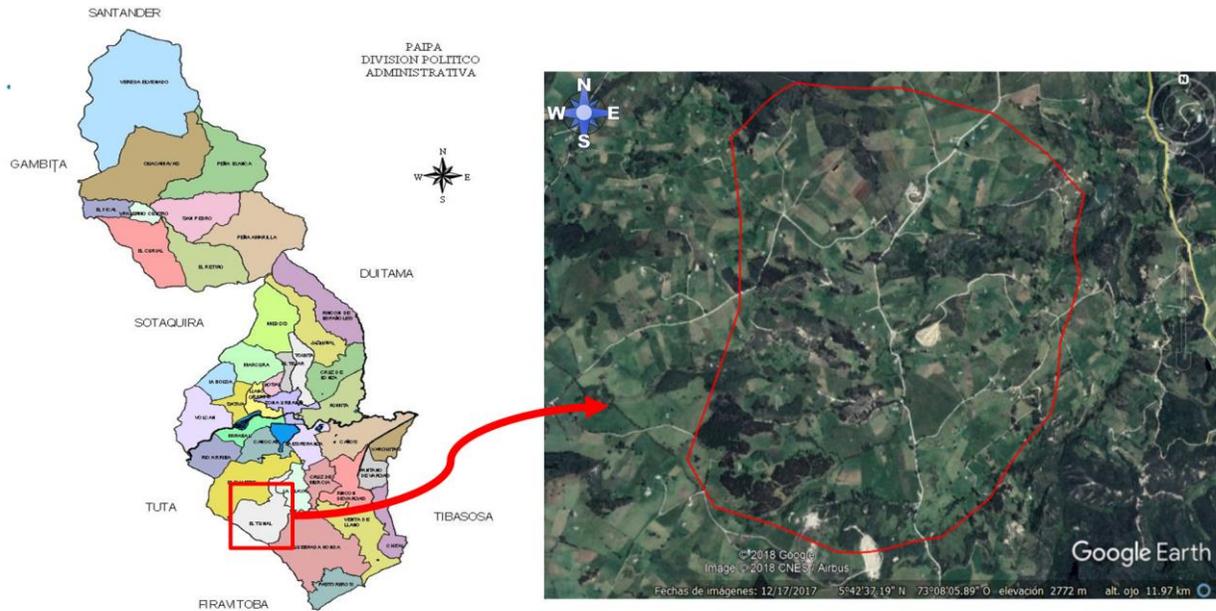


Figura 2. Ubicación de la vereda El Tunal en el municipio de Paipa.

Fuente: Alcaldía Municipal de Paipa Boyacá, 2010; Google Earth Pro, 2018.

La zona de estudio será exactamente en la vereda el Tunal, con coordenadas: Latitud norte $5^{\circ}42'37''$ N, Longitud Oeste $73^{\circ}07'46''$, y con una elevación desde los 2642 m.s.n.m hasta los 2843 m.s.n.m, y con un área aproximada de 310,28 hectáreas como se puede evidenciar en la posterior figura usando como herramienta de medición el *Google Earth Pro*:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.



Figura 3. Área y perímetro de la zona de estudio, vereda el Tunal, Paipa.

Fuente: Elaboración propia; Google Earth Pro, 2019.

7.5.2 Municipio de Paipa

El municipio de Paipa se encuentra ubicado en el departamento de Boyacá, limita por el Norte con los municipios de Duitama (Boyacá) y Gámbita (Santander), al sur con los municipios de Firavitova y Tuta (Boyacá), por el Oriente con los municipios de Duitama Y Tibasosa (Boyacá), al Occidente con los municipios de Sotaquirá (Boyacá) y Gámbita (Santander). Paipa tiene un área de 395 km² y una población de 27 766 habitantes (censo 2005), su densidad poblacional es de 70 habitantes por km², su altitud promedio es de 2525 m.s.n.m, la temperatura media es de 15 ° Celsius, mientras que la precipitación media anual está entre 840 mm a 950 mm; sus coordenadas son: Latitud Norte: 5° 47' 04", Longitud Oeste: 73° 07' 17". (Boyacá Cultural; Buitrago Víctor, 2018)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.5.3 Distribución poblacional

Según el Plan de desarrollo de Paipa 2008-2011 se encontraban 570 personas para ese entonces en la vereda Tunal, en el municipio de Paipa, Boyacá.

Tabla 4. Distribución poblacional veredal del municipio de Paipa. (Plan de desarrollo de Paipa 2008-2011).

NOMBRE	SISBEN	NOMBRE	SISBEN
Quebrada honda	248	Bolsa	278
La playa	204	Marcura	326
Tunal	570	Llano grande	560
Salitre	1074	Tejar	575
Rio arriba	412	Sativa	431
Mirabal	238	Rosal	291
Canocas	301	Medios	402
La esperanza	327	Rincón de españoles	294
Caños	433	Toibita	523
Cruz de murcia	280	Romita	983
Rincón de Vargas	211	Bonza	899
Varguitas	205	Fical	128
Pantano de Vargas	331	Guacamayas	160
Chital	197	El venado	243
Venta de llano	284	Peña blanca	133
Pastoreros	172	Peña amarilla	206
Centro poblado Palermo	204	El retiro	132
Volcán	789	El curial	192
Centro	355	San Pedro	274
El bosque	1329	Los rosales	1180
Villa jardín	210	Sausalito	321
Pablo solano	524	Fátima	1031
Villa Vianney	1133	La pradera	274
San Felipe	598	Las delicias	192
Corinto	546	Centro	1856
Cartagena	106	San miguel	1152

Fuente: Herrera Jorge; Alcaldía de Paipa, 2008.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.5.4 Clima de Paipa, Boyacá:

El clima de Paipa es frío y seco, durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas. Los meses de diciembre, enero, febrero, julio y agosto son predominantemente secos. Las temporadas de lluvia se extienden desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta noviembre. En los meses secos de principios de año, llueve de 4 a 6 días/mes; sin embargo, en los meses secos de mitad de año llueve en promedio 17 días/mes; en los meses de mayores lluvias puede llover entre 18 y 20 días/mes.

La temperatura promedio es de 13.7 °C, al medio día la temperatura máxima media oscila entre 20 y 22 °C, en la madrugada la temperatura mínima está entre 6 y 8 °C, aunque en la temporada seca de inicio de año, las temperaturas pueden bajar a menos de 5°C en las madrugadas. El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos de principios de año, la insolación llega a 6 horas diarias/día. La humedad relativa del aire es cercana al 70% en la época seca de principio de año y en épocas de lluvias alcanza el 78%. (IDEAM, 2012)

7.5.5 Actividades Económicas de la Región:

En el sector primario se maneja la agricultura, la ganadería y la minería, dentro de la agricultura se cultivan avena, cebada, maíz, trigo, papa y legumbres, en la ganadería se obtienen productos como la leche y la carne. Y también se cultivan frutales. En el sector secundario sobresalen algunas industrias de textiles, químicos, fabricación de productos en madera, productos alimenticios y de construcción. En el sector terciario se destaca principalmente el turismo el cual es una de las principales actividades económicas que presenta el municipio. (Alcaldía de Paipa - Boyacá, 2016)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

7.6 Marco Institucional

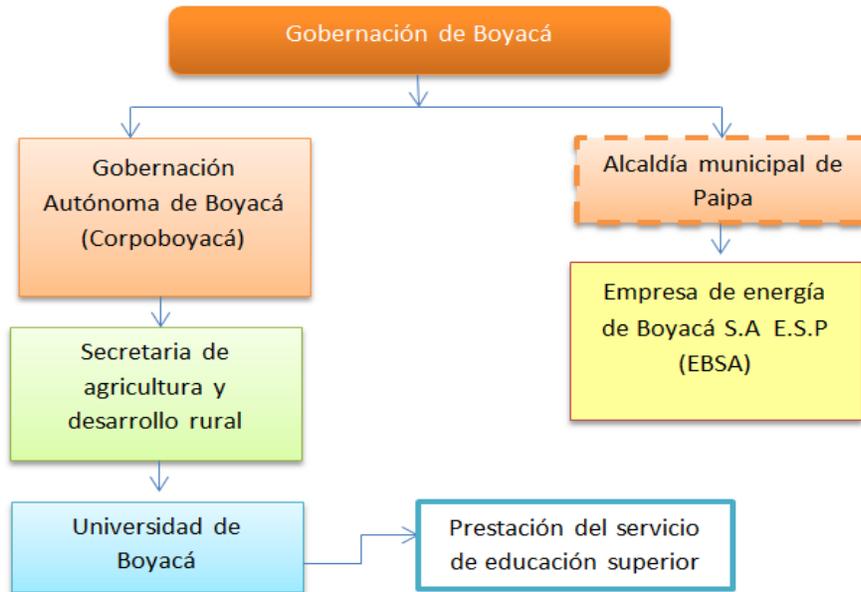


Figura 4. Instituciones involucradas en la vereda el Tunal.

Fuente: Elaboración propia.

ORGANIGRAMA ALCALDÍA DE PAIPA

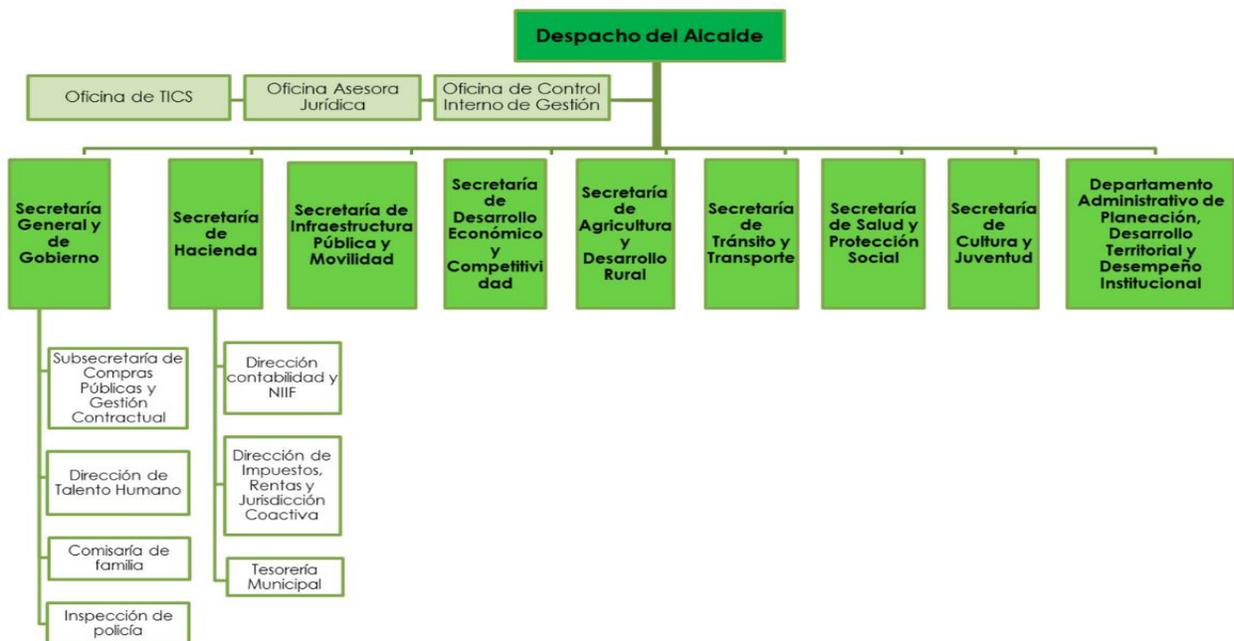


Figura 5. Funciones en el despacho de la Alcaldía Municipal de Paipa.

Fuente: Alcaldía de Paipa, 2019.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Tabla 5. Descripción detallada de las instituciones involucradas.

<p><i>Universidad de Boyacá</i></p>	<p>La Universidad de Boyacá es privada y de índole nacional fundada en 1979 esta cuenta con acreditación internacional, con sede principal en la ciudad de Tunja. Es la primera universidad del país en recibir acreditación internacional, recordando que no cuenta con acreditación de alta calidad en Colombia. (Universidad de Boyacá, 2018)</p>
<p><i>Corporación Autónoma de Boyacá (Corpoboyacá)</i></p>	<p>Lideran el desarrollo sostenible a través del ejercicio de autoridad ambiental, la administración y protección de los recursos naturales renovables y el ambiente, y la formación de cultura ambiental, de manera planificada y participativa. (UNGRD, 2017)</p>
<p><i>Alcaldía Municipal de Paipa</i></p>	<p>Asegura un desarrollo sostenible, equitativo y democrático con procesos translúcidos adaptables que resguarda los derechos humanos, a través de procesos de atención y ejecución enfocados principalmente hacia las necesidades de la comunidad, direccionando actividades a los diferentes grupos poblacionales, transformando así nuestra cultura para el logro del bienestar y mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes del municipio y sus visitantes. (Alcaldía de Paipa, 2016)</p>
<p><i>Gobernación de Boyacá</i></p>	<p>Prestan un servicio público de calidad, con la implementación de sólidos fundamentos de desarrollo sostenible, humano y ambiental, mediante técnicas de participación, liderazgo público y gestión estratégica; apropiación de valores y articulación de políticas, tendencias a mejorar las condiciones de vida de la población. (Gobernación de Boyacá, 2017)</p>
<p><i>Secretaría de agricultura y desarrollo rural</i></p>	<p>Fomentar y gestionar planes, programas y proyectos que aporten al desarrollo del sector agropecuario en el municipio, esperando mejorar las condiciones de vida de la población</p>

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

	que habita en el sector rural de Paipa, mediante la realización de asistencia técnica, transferencia tecnológica, organización cooperativa de los campesinos y gestión para la obtención de recursos financieros, de tal manera que se logre apoyar y promover la producción agropecuaria. (Alcaldía de Paipa, 2016)
<i>Empresa de energía de Boyacá S.A E.S.P (EBSA)</i>	Presta el servicio público domiciliario de energía eléctrica con base en el desarrollo de las actividades de generación, trasmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica y los servicios conexos y relacionados con estas actividades. (EBSA, 2017)
<i>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)</i>	Es un establecimiento público de carácter nacional, único adscrito al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Es fuente oficial de información científica y autoridad máxima nacional en las áreas de Hidrología y Meteorología. (IDEAM, 2014)

Fuente: Elaboración propia.

8. Metodología

La determinación de la viabilidad de una propuesta para el mejoramiento tanto energético como hidráulico de un sistema de suministro del recurso hídrico para el acueducto de la vereda el Tunal en el municipio de Paipa, Boyacá, se realizó mediante investigaciones y visitas a la comunidad, obteniendo información e identificando los puntos claves de la investigación, donde se busca mejorar la calidad de vida de las personas. Este consistió en el desarrollo de los tres objetivos específicos, donde se involucra el territorio, las características de este, la población tanto actual como la futura, y por último el análisis de la viabilidad que tiene sobre el actual sistema de distribución del recurso hídrico.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

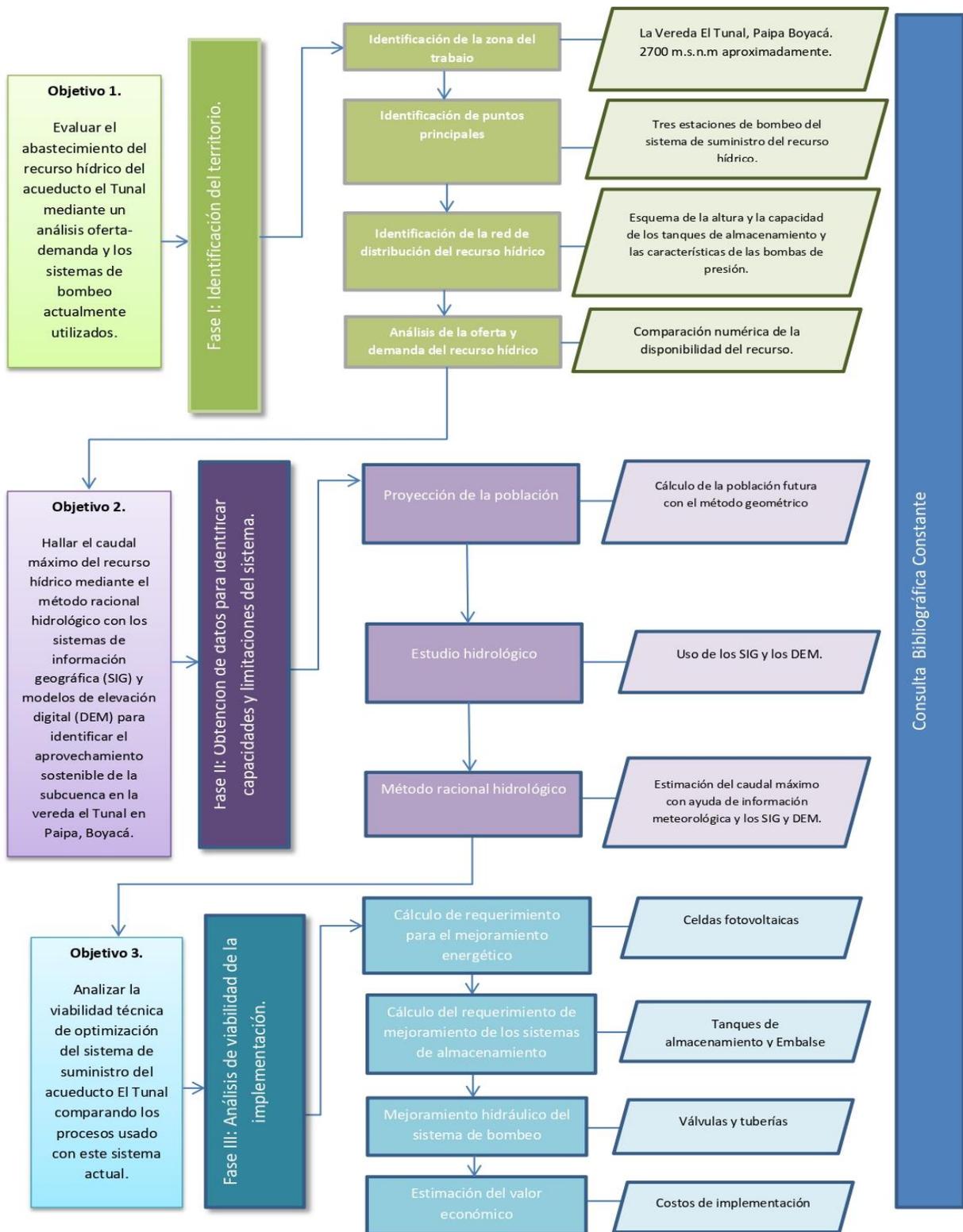


Figura 6. Metodología basada en los objetivos.

Fuente: Elaboración propia.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Metodología primer objetivo específico

Para poder evaluar el abastecimiento del recurso hídrico del acueducto de la vereda el Tunal, en el municipio de Paipa, Boyacá; se empezó por la Fase I, donde se procede a hacer la identificación del territorio o del contexto en el cual se va a proyectar la propuesta. Para poder identificar la zona de trabajo, se realizaron varias visitas técnicas en agosto y septiembre del año 2018, con la ayuda de un *GPS (Global Positioning System)* se tomaron las coordenadas y altitudes de los puntos más estratégicos, que en este caso son tres estaciones del sistema de suministro del recurso hídrico, con la capacidad de los tanques de almacenamiento y las bombas de presión que se encuentran localizadas.

También se identificó la red de distribución del recurso hídrico o acueducto, revisando el *Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Paipa (2000-2010)*, evidenciando las principales características, como las formas de captación, caudales de abastecimiento, sistemas de almacenamiento, obras existentes y demás. También se reconocieron las características principales de las bombas de presión del sistema, buscando sus manuales, planos y curvas de rendimiento, para conocer las capacidades de estas.

Para el cumplimiento del primer objetivo se procedió a realizar un análisis de la oferta y demanda del recurso hídrico de la vereda, para estos cálculos se buscó el número de habitantes que hacen uso de este acueducto, dentro del *Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Paipa (2000-2010)*, se encontraron 422 habitantes; se consultó con la comunidad el comportamiento de la población en los últimos años y resultó que la población creció y actualmente (2019) hay alrededor de 984 habitantes. Para el cálculo de la demanda del recurso hídrico, se utilizó el *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS; Título B Aspectos generales de los sistemas de acueducto del 2010*, guiándonos del capítulo “2,5,2) Dotación neta por habitante”, donde se muestra el nivel de complejidad del sistema, y la dotación neta de climas cálidos y templado-frío, mostrando los litros por día que una persona utiliza. Este dato se usa para multiplicarlo por los habitantes, hallando así la demanda de recurso hídrico para la vereda el Tunal. Para el cálculo de la oferta del recurso hídrico, se recurrió al *Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Paipa (2000-2010)*, donde se obtuvieron los valores de los caudales de abastecimiento

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

para el año 2010. Al ser este valor de hace nueve años o más, se consultó con la comunidad los caudales de abastecimiento para el presente año (2019), y se pudo observar cambios significativos en la reducción del caudal de abastecimiento, hallando con la oferta y demanda que existe un desabastecimiento principalmente en épocas de sequía.

Metodología segundo objetivo específico

Para la Fase II de la metodología, se procede a realizar los cálculos pertinentes frente a la obtención de datos de las capacidades o limitaciones que tiene el sistema y la población. Estos datos ofrecen una proyección más profunda frente a las necesidades y oportunidades de mejora del mismo. Para empezar se realizó una proyección de la población para poder hallar la demanda futura de los caudales de diseño, se empleó el capítulo “2,4,3,4) *Métodos de cálculo de la proyección de la población*” del *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*, utilizando el método geométrico con sus ecuaciones que se muestran a continuación:

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

(Ecuación 1)

Dónde:

r = Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

P_f = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

P_{uc} = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

P_{ci} = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

T_{uc} = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

T_{ci} = Año correspondiente al censo inicial.

T_f = Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1$$

(Ecuación 2)

Se decidió hacer un horizonte de diseño de 30 años (2019-2049), ya que es un periodo apto para la implementación de la propuesta del presente proyecto de grado.

La población, al ser muy específica, no se encuentra en los datos del *DANE*, sin embargo el dato de habitantes que se beneficia del sistema de distribución del recurso hídrico o acueducto, fueron obtenidos del *Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Paipa (2000-2010)* y de la encuesta dirigida a los gestores de la comunidad (ver Anexo 4), mientras que la tasa de crecimiento se calculó a partir de los censos del *DANE* de 1993 y 2005, del área rural del municipio de Paipa, Boyacá:

Tabla 6. Censo municipio de Paipa, Boyacá, año 1993.

Nombre de municipio o corregimiento departamental	Población CENSADA COMPENSADA 2005		
	Urbano (Cabecera)	Rural (Resto)	Total
Paipa	10.391	11.688	22.079

Fuente: DANE, 1993.

Tabla 7. Censo municipio de Paipa, Boyacá, año 2005.

Nombre de municipio o corregimiento departamental	Población CENSADA COMPENSADA 2005		
	Urbano (Cabecera)	Rural (Resto)	Total
Paipa	15.246	12.028	27.274

Fuente: DANE, 2005.

Con esta metodología se proyectó y halló la población que se beneficia del sistema de distribución del recurso hídrico o acueducto, hasta el año 2049.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

En la siguiente parte de la Fase II, se encuentra el estudio hidrológico de la zona (vereda el Tunal, municipio de Paipa), que se llevó a cabo mediante el estudio de un *modelo de elevación digital* (DEM) obtenido de la base de datos del *Servicio Geológico de los Estados Unidos*. Posteriormente se utilizó un software llamado *SAGA Gis* para ser procesado y con esto hallar las capas de direcciones del agua, cuencas, subcuencas, flujos y principales drenajes. Luego con otro software llamado *QGis*, se recortaron y ordenaron las capas para tener un detalle más amplio de la zona de interés, estas capas resultantes se adicionaron al software *Google Earth Pro*, para unir las con las coordenadas de las estaciones del sistema presentadas en la Fase I, para tener una mejor y más acertada aproximación al terreno y sus condiciones reales.

Continuando con la parte hidrológica del proyecto, se realizó un caudal de diseño, para ello se investigó y se encontró la estación meteorológica *IDEAM* más cercana a la zona de estudio, con nombre “*Estación meteorológica Tunguavita*”, ubicada aproximadamente a 4,3 Km de la zona de estudio (vereda el Tunal). Se obtuvieron las características principales de la estación y se pidieron datos de precipitación y brillo solar en la base de datos de la página web oficial del *IDEAM*, con ello se organizaron los datos de precipitación de la zona desde el año 1968 hasta el 2015. Con estos datos se calculó el promedio anual, promedio diario, valor máximo, valor mínimo y los días de lluvia al año.

Con la información anterior se procedió a hallar el caudal de diseño; se utilizó el “método racional” de la Norma Técnica de Servicio NS-085 de la EAAB, la cual consta de la siguiente ecuación:

$$Q = C * I * A$$

(Ecuación 3)

Dónde:

Q: Descarga estimada en un sitio determinado (L/s).

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional).

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

I : Intensidad de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y para el período de retorno determinado (L/s/Ha).

A : Área de drenaje (Ha)

(EAAB, 2009)

Para el área (A) se tomó el lugar que hace referencia al humedal y punto de captación del recurso hídrico llamado “Ojo de Agua”, y con la herramienta *Google Earth Pro*, se calcularon las hectáreas y su pendiente, que luego se relacionó con la siguiente tabla dentro de la norma técnica NS-085 para asignar un valor al coeficiente de escorrentía (C):

Tabla 8. Valores de escorrentía según el tipo de superficie.

Tipo de superficie	C
ZONAS URBANIZADAS (Áreas residenciales, comerciales, industriales, vías, andenes, etc...)	
Cubiertas	0,85
Superficies en asfalto	0,80
Superficies en concreto	0,85
Superficies en adoquinadas	0,75
Vías no pavimentadas t superficies con suelos compactados	0,60
ZONAS VERDES (Jardines, parques, etc...)	
Terreno plano (Pendiente menor al 2%)	0,25
Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
Terreno de alta pendiente (Pendiente superior al 7%)	0,40

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2009.

Para el valor de intensidad de la lluvia (I) se decidió tomar los valores promedio de cada mes de la “Estación meteorológica Tunguavita”, analizando el caudal de diseño (Q) de una manera más detallada y ordenada.

Habiendo obtenido el valor del caudal máximo aprovechable de cada mes, se tomó la población futura obtenida en la sección de proyección de la población, y su dotación neta, en este caso más elevada, debido a que es el consumo futuro máximo que la población pueda presentar, para hallar los excedentes, con valores positivos para la cantidad del recurso hídrico que sobra y valores negativos para la cantidad del recurso que hace falta en cada mes.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Metodología tercer objetivo específico

En la Fase III, se utiliza la información de las fases anteriores, para hallar los requerimientos para el mejoramiento energético e hidráulico del sistema, analizando la viabilidad de implementación técnica para el sistema de suministro del recurso hídrico o acueducto de la vereda el Tunal.

Se empezó a calcular los requerimientos para la mejora de los sistemas de almacenamiento analizando la cantidad del recurso hídrico sobrante o faltante en promedio de cada mes, con esto se decidió proponer un embalse para almacenar el recurso hídrico excedente de los meses con más lluvia y así poder distribuirlos en los meses de temporadas secas, ayudando a corregir en parte la problemática del desabastecimiento de la vereda. Con la ayuda del software *PipeFlow*, se calcularon las dimensiones necesarias para el eficiente almacenamiento del recurso hídrico, luego se evaluaron los diferentes tipos de materiales para el embalse y se utilizó el software *Google Earth Pro* para definir su ubicación geográfica.

Para el requerimiento del mejoramiento hidráulico se toman en cuenta las condiciones actuales de las tuberías del acueducto de la vereda y dependiendo de su estado se evalúa un posible cambio. Para representar el sistema hidráulico se utiliza el software *EPANET* en donde se visualizan las principales características del sistema de distribución del recurso hídrico o acueducto. Con este software se podrá simular el trayecto principal, hacer ediciones y modificaciones para encontrar una mejora en el rendimiento de este sistema.

En la sección del mejoramiento energético del sistema, se quiere contribuir a la comunidad reduciendo los gastos de consumo eléctrico de las bombas, contribuir al ambiente y de alentar a pequeñas comunidades a conocer y utilizar energías renovables, proponiendo un sistema simple de celdas fotovoltaicas, las cuales proporcionarán energía parcial o total para el funcionamiento del sistema en los periodos de sequía. Para estimar la cantidad de celdas fotovoltaicas necesarias, se recurrió a los datos de caudal requerido para satisfacer las necesidades de la comunidad, y la energía que consumen las dos bombas, esto para conocer el promedio del consumo energético diario. Se debe hacer un análisis sobre las horas pico de luz solar, más conocido como brillo solar, debido a

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

que la cantidad de energía que puede producir un panel solar fotovoltaico depende de la incidencia directa de la radiación solar, para esto se estudiaron los valores obtenidos de la base de datos del IDEAM, de la “Estación meteorológica Tunguavita”, obteniendo el promedio anual, valor máximo y mínimo del brillo solar, en la zona de estudio. Luego de esto se tomó un panel solar como referencia de sus características y capacidades, con esto se obtuvo el valor de potencia, y se realizó el cálculo del número de las celdas fotovoltaicas que la comunidad necesita, recurriendo a una metodología de “Coastal Solar - Energy Solutions”. Se utilizó un atlas solar de la Universidad EIA, del centro de investigaciones ENERGEIA, para tener un acercamiento geográfico más exacto a la zona de estudio, donde se observan mapas de irradiación y brillo solar para toda Colombia.

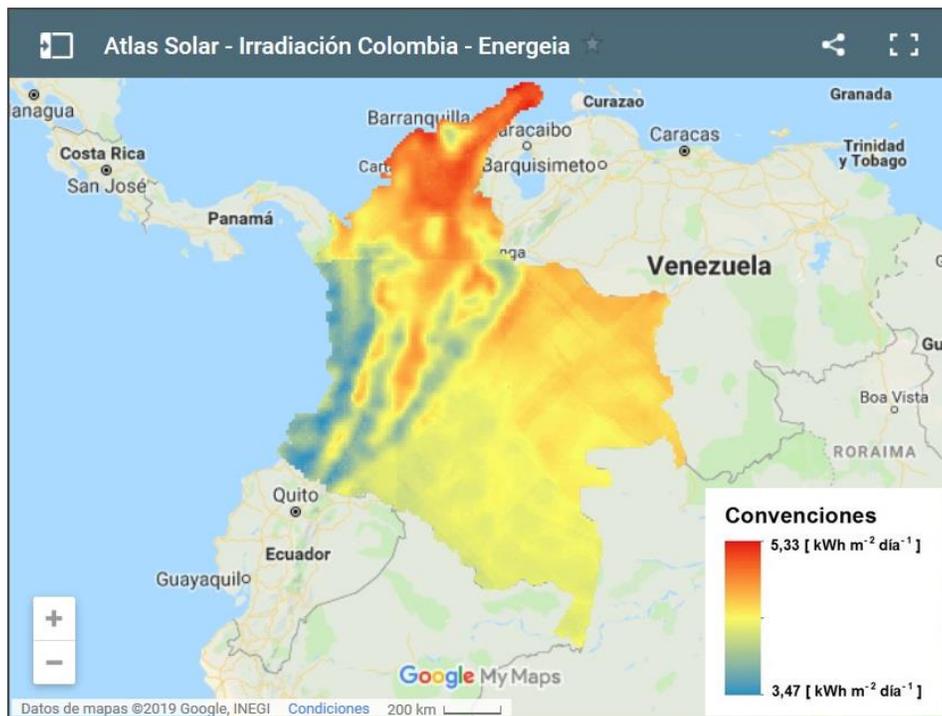


Figura 7. Mapa de Irradiación Solar en Colombia.

Fuente: ENERGEIA, 2018.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

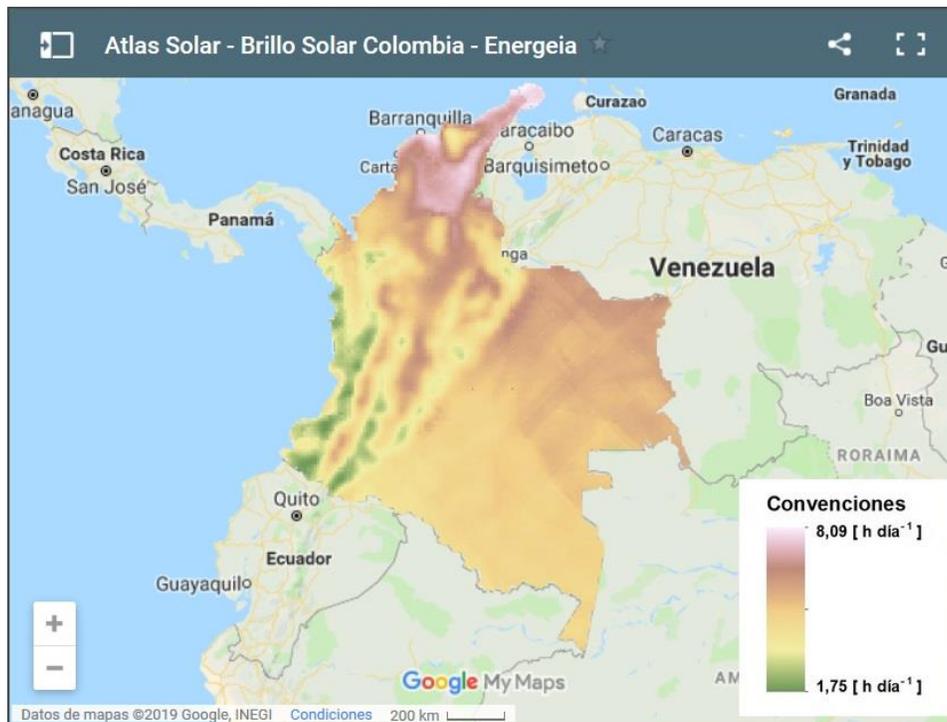


Figura 8. Mapa de Brillo Solar en Colombia.

Fuente: ENERGEIA, 2018.

Para la estimación del valor económico, se realiza una aproximación del valor de lo que se requiere para una posible implementación de un embalse para el almacenamiento, la instalación de las celdas fotovoltaicas para el aprovechamiento de la energía solar como alternativa y el mejoramiento hidráulico de las tuberías y las válvulas, de esta manera se mide la viabilidad económica del presente proyecto.

8.1 Enfoque de Investigación

El enfoque del presente proyecto es mixto debido a las actividades que se contemplan en él se usan para cumplir los objetivos, en este caso los niveles de complejidad que proporciona implica el uso de diversas herramientas con las cuales se llega a una comprobación de las teorías propuestas durante el tiempo de realización del mismo. A continuación se ilustra la subdivisión del enfoque mixto y su aplicación:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Tabla 9. Subdivisión enfoque mixto.

<i>Enfoque Mixto</i>	
<i>Cuantitativo</i>	<i>Cualitativo</i>
Se usan magnitudes numéricas que serán tratadas mediante herramientas del campo de la estadística.	Se utilizan una gran recopilación de datos que dan validez a la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

8.2 Alcance(s)

El alcance se produce a través de la utilización de un conjunto de métodos determinados, que se complementan entre sí, y que se ponen en práctica, por medio del empleo de herramientas específicas, para generar el alcance del proyecto. En este caso el alcance se divide en dos:

Tabla 10. Definición de alcances.

<i>Exploratorio</i>	Algunos acueductos veredales y municipales no se han mejorado y se han vuelto obsoletos con el paso del tiempo, por otro lado, las energías renovables han sido poco consideradas en Colombia y más a nivel rural, por lo que se quiere obtener gran cantidad de información para la investigación.
<i>Descriptivo</i>	Al realizar un estudio se deben identificar variables y datos importantes, para ver si es viable la aplicación de la propuesta y la metodología.

Fuente: Elaboración propia.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

8.3 Métodos

Tabla 11. Puntualización en métodos deductivo e inductivo.

<i>DEDUCTIVO</i>	<i>INDUCTIVO</i>
Se prueban y confirman las teorías propuestas dando resultado a la investigación.	Mediante la recolección de los datos del objeto de estudio se da respuesta a las teorías propuestas generando así una conclusión final.

Fuente: Elaboración propia.

8.4 Técnicas

Las técnicas usadas nos llevan a la aproximación de la objetividad de la investigación, mediante herramientas como encuestas, entrevistas, observaciones, etc. con las cuales se podrán guiar los métodos de la propuesta. A continuación se ilustran las técnicas utilizadas en la construcción del proyecto de grado:

Tabla 12. Técnicas Utilizadas en la metodología.

TÉCNICAS DE METODOLOGÍA	
Sistemas de información geográfica	Estudio Hidrológico
Método Geométrico	Método Racional
Estadística	Comparación
Diseño hidráulico	Diseño energético

Fuente: Elaboración propia.

Estas técnicas proporcionan un soporte de información donde se extraen la mayor cantidad de datos que serán usados para la consolidación de resultados y análisis de los mismos.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

8.5 Instrumentos

El primer instrumento es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), este se usó con el fin de obtener las coordenadas del lugar de estudio; se hizo una petición al IDEAM de datos de una estación meteorológica localizada dentro de la vereda El Tunal, llamada Tinguavita, con estos datos se pretende identificar y caracterizar las condiciones climatológicas del lugar en el tiempo, utilizando la estadística para la realización y el análisis del modelo hidrológico, el cual va a poseer un componente cartográfico, por lo tanto se analizará con los SIG, como por ejemplo ArcGis, Qgis, SAGA Gis, Google Earth Pro. También se pretende analizar la zona de estudio realizando una encuesta a los gestores del recurso hídrico de la vereda, para saber exactamente cuántas personas usan este sistema de suministro, y las condiciones actuales sobre la calidad de vida y necesidades de estos.

9. Plan de Trabajo

Mediante la matriz DOFA (ver Anexo 3) se logra enfocar los objetivos de manera concisa y detallada, donde predominan las características más importantes para la línea base del proyecto seguido de los pilares que lo mantienen en línea.

10. Aspectos Éticos

Mediante una carta de consentimiento informado elaborada por los autores, se lleva el registro de aprobación del uso y manejo de la información recolectada durante las salidas técnicas realizadas durante el periodo de elaboración del proyecto de las cuales se derivan diversas actividades propuestas respectivamente. Está carta se encuentra firmada y aprobada por la administración veredal la cual está a cargo del presidente de la junta de la vereda el Tunal (1. Carlos Elpidio Hurtado C.C 74'131.141) el día 25 de Marzo del año 2019 y el co-director del presente proyecto (GONZALO FORERO C.C 1'020.721.882). (ver Anexo 5)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

11. Resultados

11.1 Identificación de la zona de trabajo y los puntos principales

Se realizó una salida técnica en el mes de septiembre del año 2018; con un *GPS (Global Positioning System)* se identificaron dos estaciones de bombeo y una estación de suministro del recurso hídrico para el abastecimiento de aproximadamente 984 habitantes obtenidos de la encuesta dirigida hacia los gestores del recurso hídrico de la vereda el Tunal (ver Anexo 5). Los datos se introdujeron en el software *Google Earth Pro* para su análisis e identificación.

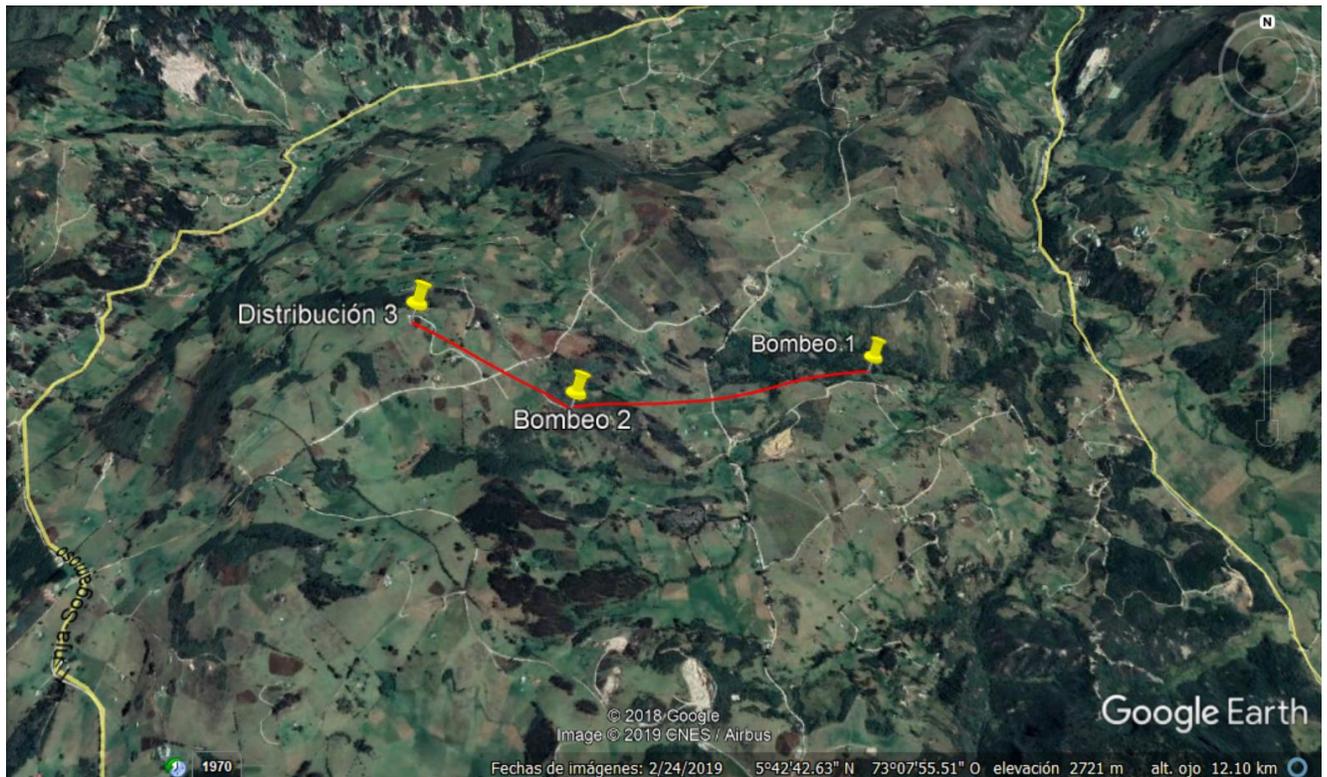


Figura 9. Estaciones de bombeo y estación de distribución en la vereda El Tunal, municipio de Paipa, Boyacá.

Fuente: Elaboración propia; *Google Earth Pro*, 2019.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

La primera estación de bombeo (*Bombeo 1*) se encuentra más al oriente con coordenadas $5^{\circ}42'49.20''N$; $73^{\circ} 7'28.09''O$, cuenta con un tanque de almacenamiento de aproximadamente 72 m^3 con una altitud menor al promedio de la zona de 2642 m.s.n.m , con una bomba Hidromac VVKL 40/6, se bombea el agua hacia arriba aproximadamente unos 133 metros , hasta llegar a la segunda estación de bombeo (*Bombeo 2*) con coordenadas $5^{\circ}42'37.57''N$; $73^{\circ} 8'6.64''O$, que está a 2775 m.s.n.m , en esta estación hay dos tanques de almacenamiento de 36 m^3 y 72 m^3 , que abastecen a 29 puntos. En la siguiente figura se pueden observar las estaciones de bombeo 1 y 2 y el perfil de elevación del terreno:

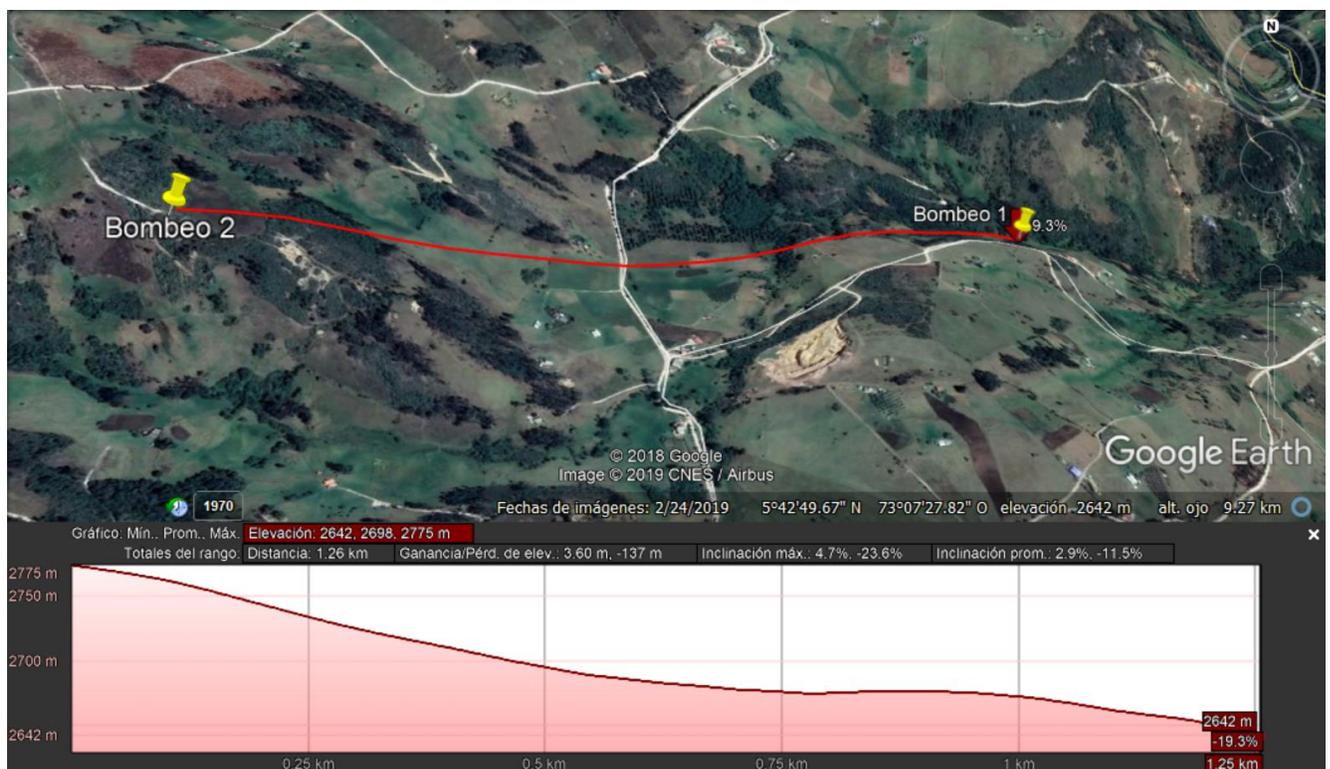


Figura 10. Estaciones de bombeo 1 y 2 con su perfil de elevación.

Fuente: Elaboración propia; Google Earth Pro, 2019.

A continuación en la segunda estación de bombeo (*Bombeo 2*) el agua es impulsada por una bomba multietapa de hierro IHM, la cual mueve el agua unos 68 metros de altura debido a que la tercera estación (*Distribución 3*) se encuentra a una altitud de 2843 m.s.n.m , con coordenadas $5^{\circ}42'45.69''N$; $73^{\circ} 8'25.17''O$, el cual posee un tanque de almacenamiento, con una 146 m^3 de

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

capacidad, el cual abastece alrededor de 200 puntos por medio de tuberías por gravedad. A continuación se puede evidenciar el tramo de la estación de bombeo 2 y 3 con su respectivo perfil de elevación.

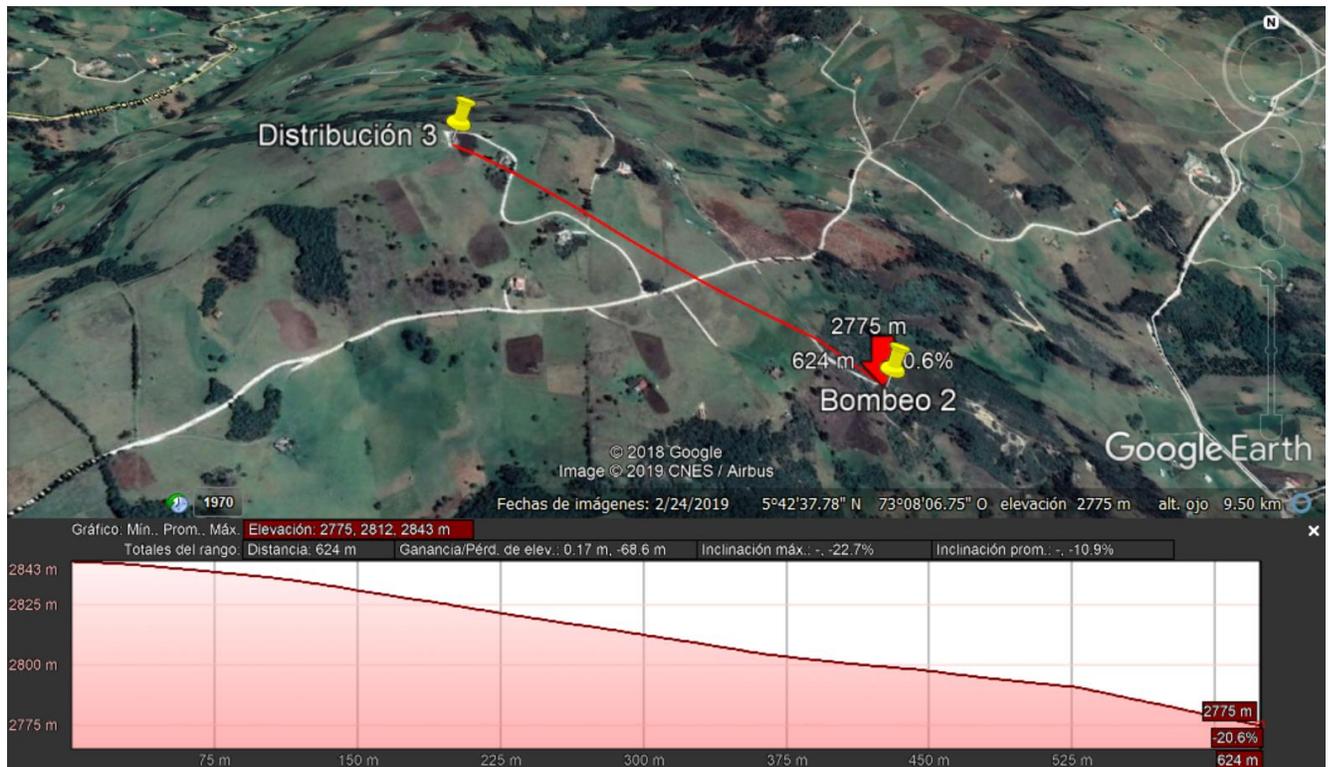


Figura 11. Estación de bombeo 2 y distribución 3 con su perfil de elevación.

(Google Earth Pro, 2019)

ACLARACIÓN: La estación “Distribución 3”, no es una estación de bombeo, ya que no cuenta con una bomba a presión, esta tercera estación se compone de los tanques de almacenamiento y su forma de distribución es por gravedad.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

11.2 Identificación de la red de distribución del recurso hídrico

En el siguiente subtítulo se detallarán e identificarán las principales características de la red de distribución del recurso hídrico. Dentro del *Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Paipa* se encontraron las características principales de los acueductos regionales y veredales, realizados por el *Instituto Geográfico Agustín Codazzi (CIAF)*. En el *Anexo 11* se mostrarán las características principales del acueducto de la vereda el Tunal.

Cabe mencionar que la anterior información fue tomada del *Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Paipa* de los años 2000 al 2010, por lo tanto varios de estos datos ya han cambiado. (Anexo 11)

11.2.1 Bombas de presión del sistema

Como anteriormente se había comentado, este sistema de distribución del recurso hídrico cuenta con dos bombas de presión que seguidamente serán detalladas:

- Bomba de presión Hidromac VVKL 40/6:

Esta es la primera bomba del sistema de suministro del recurso hídrico, se localiza en la estación *Bombeo 1* (ver Figura 10), e impulsa el agua unos 133 metros de altura hacia la estación *Bombeo 2*. Su curva de rendimiento fue encontrada en un manual, teniendo la altura de cabeza (133 m) se identifica que la bomba tiene una capacidad de suministro de 90 galones por minuto y una potencia de 25 HP:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

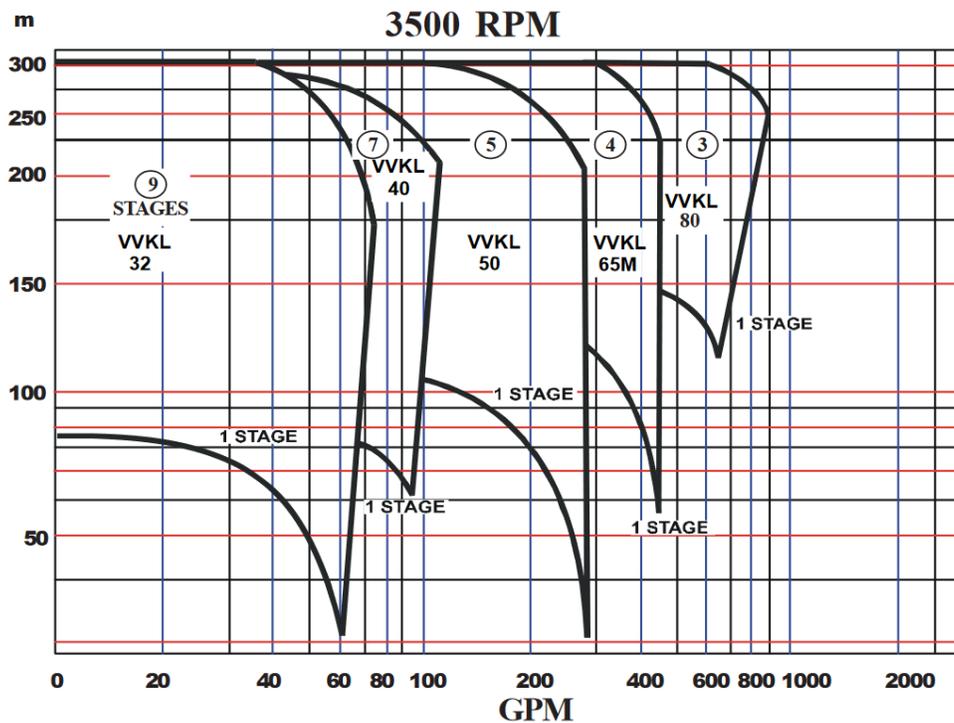


Figura 12. Curva de rendimiento de la bomba hidromac vvkL 40/6.

Fuente: Hidromac Ltda, 2008.

- Bomba de presión multietapa de hierro IHM VL-180V-5.0T (Ignacio Gómez IHM S.A):

Se localiza en la segunda estación de bombeo (ver Figura 10), impulsa el agua unos 68 metros de altura hasta la tercera estación de bombeo. En la visita técnica se pudo identificar su modelo (VL-180V-5.0T), luego se buscó el manual y se encontraron las siguientes características con sus planos y curvas de rendimiento:

Tabla 13. Características principales bomba multietapa de hierro IHM.

Tabla de Dimensiones Modelo Vertical							
MODELO	DIAMETRO Suc x Des (in)	ETAPAS	CAUDAL (GPM)	PRESIÓN (PSI)	MOTOR	POTENCIA (HP)	CURVA
VL-180V-5.0T	1½ x 1½ NPT	8	25	170	Trifásico	5	1

Fuente: Ignacio Gómez IHM S.A., 2007.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

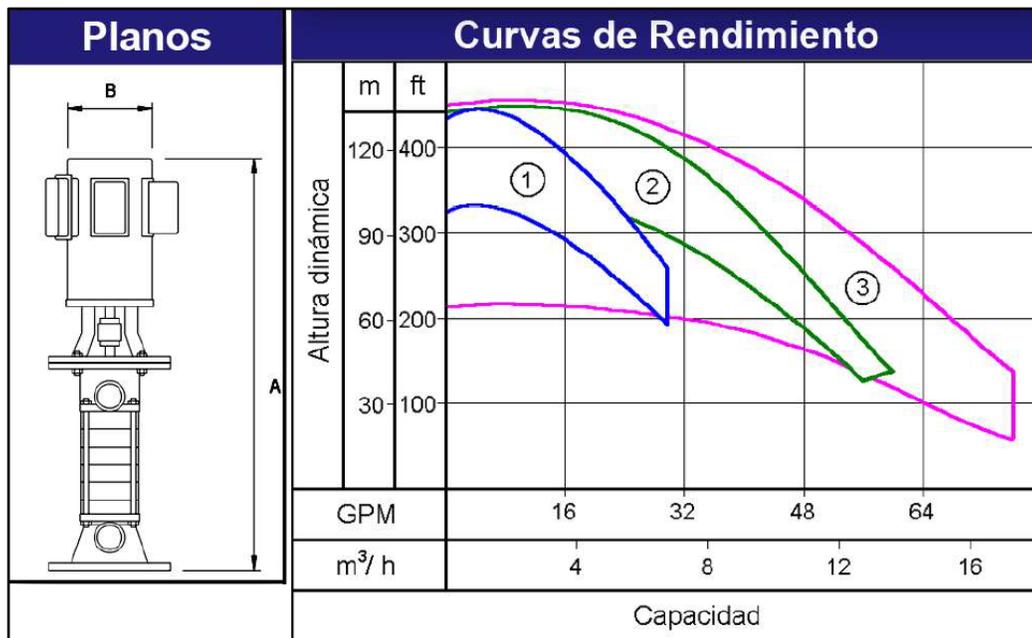


Figura 13. Plano y curvas de rendimiento de la bomba multietapas de hierro IHM.

Fuente: Ignacio Gómez IHM S.A., 2007.

11.2.2 Tanques de almacenamiento del sistema

Estación Bombeo 1:

Tanque de concreto de 72 m³ (ver Anexo 7)

Estación Bombeo 2:

Tanque de concreto de 36 m³

Tanque de concreto de 72 m³ (ver Anexo 8)

Estación Distribución 3:

Tanque de concreto de 146 m³ (ver Anexo 9, Anexo 10)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Perfil del sistema de suministro del recurso hídrico o acueducto veredal el Tunal

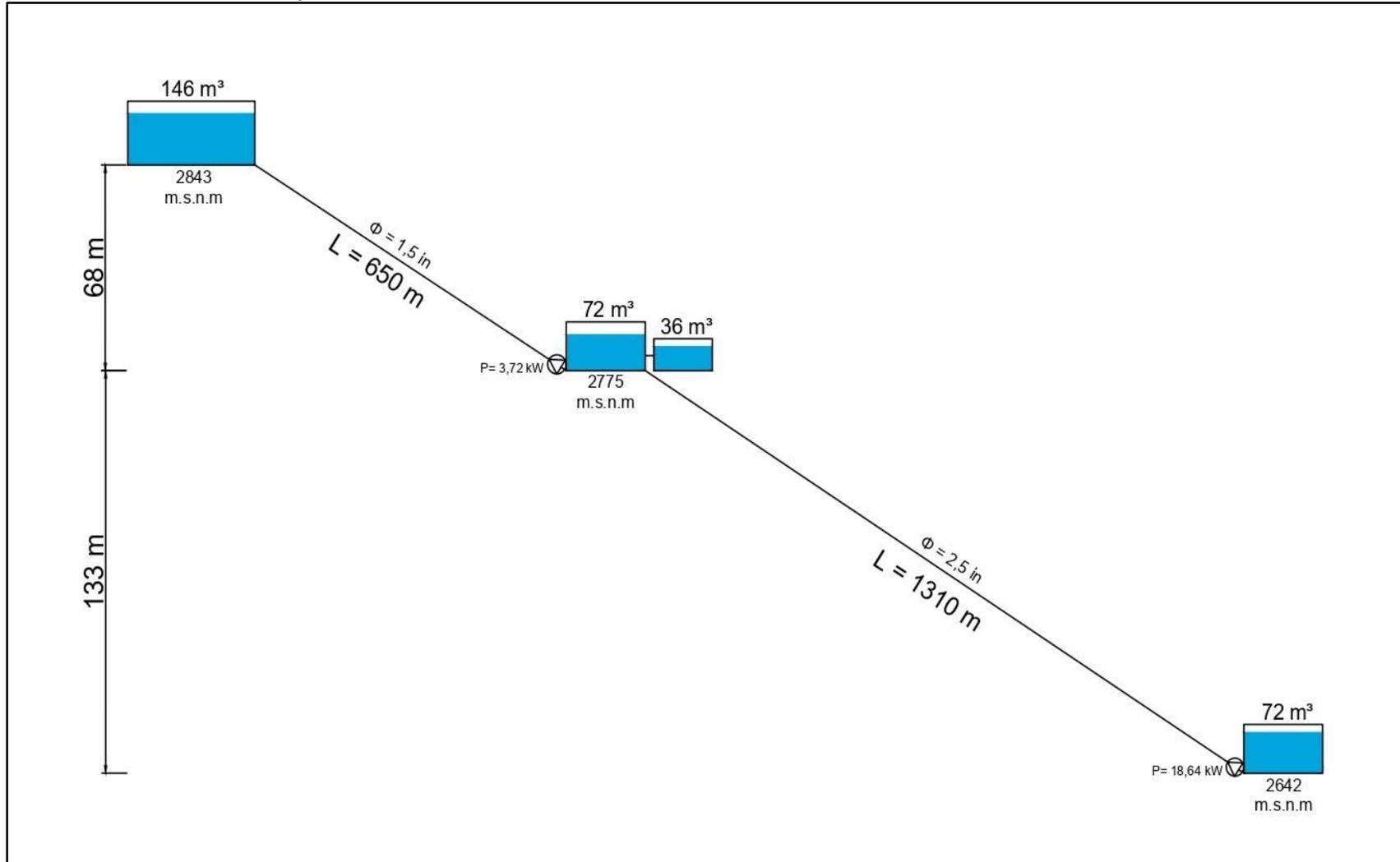


Figura 14. Esquema del sistema de distribución del recurso hídrico, con sus principales características.

Fuente: Elaboración propia.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

11.3 Análisis de la oferta y demanda del recurso hídrico en la vereda el Tunal

En esta sección se analizará la oferta y demanda, según la información obtenida de diferentes fuentes para su análisis numérico.

11.3.1 Oferta

El cálculo de la oferta del recurso hídrico de la vereda el Tunal varía dependiendo de las condiciones meteorológicas, como la precipitación y su variación en el año. Para el primer cálculo, se tomó el valor de los caudales del acueducto veredal obtenidos del *Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Paipa (2000-2010)*:

Cantidad de abastecimiento promedio (2010):

$$0,9 \text{ L/s} = 77\,760 \text{ L/día (Laguna Rica)}$$

(Ecuación 4)

$$0,6 \text{ L/s} = 51\,840 \text{ L/día (Ojo de Agua)}$$

(Ecuación 5)

Suma de los caudales:

$$1,5 \text{ L/s} = 129\,600 \text{ L/día (Oferta para el año 2010)}$$

(Ecuación 6)

En la actualidad (2019) no existe suministro del recurso hídrico en el punto de “Laguna Rica”, por lo tanto solamente se aprovecha el caudal del punto “Ojo de agua”, este promedio de caudal se obtuvo consultando a la comunidad, puesto que como se menciona anteriormente, depende de las condiciones meteorológicas, respectivamente épocas de lluvia y de sequía.

Cantidad de abastecimiento promedio actualmente (2019):

$$0,7 \text{ L/s} = 60\,480 \text{ L/día (Ojo de Agua)}$$

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

(Ecuación 7)

60 480 L/día (Oferta para el año 2019)

(Ecuación 8)

11.3.2 Demanda

Para hallar el dato de demanda del recurso hídrico, nos guiamos del capítulo “2,5,2) Dotación neta por habitante” del “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS; Título B Aspectos generales de los sistemas de acueducto” del año 2010, en donde se tomó la siguiente tabla:

Tabla 14. Dotación por habitante según nivel de complejidad del sistema.

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab•día) Climas templado y frío	Dotación neta (L/hab•día) Clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010.

El nivel de complejidad del sistema es *Bajo* ya que la población de la vereda el Tunal es menor a los dos mil quinientos habitantes (<2500 hab). En la columna de la Dotación neta, “se considera como clima cálido aquella zona del territorio nacional que se encuentre por debajo de 1000 m.s.n.m”, teniendo esto, el municipio de Paipa se encuentra a una altitud de 2525 m.s.n.m, por lo tanto se clasifica como *climas templado y frío*. Por lo tanto, se toma el valor de noventa litros (90 L) para la dotación neta de cada habitante por día.

A continuación se analiza la población atendida por el acueducto veredal el Tunal. Según el *Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Paipa (2000-2010)*, para el año de 2010 fue de 422 habitantes, pero al no haber un censo más reciente, se tomó el dato obtenido en la encuesta (ver Anexo 4) donde aproximadamente 984 habitantes hacen uso de este acueducto. Seguidamente se obtendrá la demanda del recurso hídrico con los anteriores datos:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

$$984 \text{ hab} * 90 \text{ L/hab} \cdot \text{día} = 88\,560 \text{ L/día}$$

(Ecuación 9)

A continuación se muestra el abastecimiento teniendo en cuenta la oferta y demanda del recurso hídrico de la vereda:

$$\text{Oferta} - \text{demanda} = \text{abastecimiento}$$

(Ecuación 10)

$$60\,480 \text{ L/día} - 88\,560 \text{ L/día} = -28\,080 \text{ L/día}$$

(Ecuación 11)

El resultado del abastecimiento es negativo ya que la población necesita esa cantidad (28 080 L/día) en promedio al año, para cumplir con la dotación neta por habitante del *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Con estos resultados se cumple el primer objetivo específico.

11.4 Proyección de la población

Se requiere calcular la población futura para poder hallar la futura demanda de los caudales de diseño, a continuación se muestran los resultado obtenidos a partir de la población inicial (984 habitantes) tomada de la encuesta realizada a los gestores del recurso hídrico de la comunidad (ver Anexo 5) utilizando el método geométrico para la proyección de la población. Se decidió hacer un horizonte de diseño de 30 años (2019-2049), ya que es un periodo apto para la implementación de la propuesta del presente proyecto de grado.

La tasa de crecimiento anual (r) fue calculada con los datos de los censos del *DANE* de 1995 y 2005, del área rural del municipio de Paipa, Boyacá, de la siguiente manera:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Tabla 15. Características y datos para la aplicación del método geométrico.

Características	
Horizonte de diseño	30 años
Año de diseño	2019
Año proyectado	2049
DATOS	
Último censo	2005
Censo inicial	1993
P _{uc}	12028
P _{ci}	11688

Fuente: Elaboración propia.

Tasa de crecimiento anual:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1$$

(Ecuación 12)

$$r = 0,00239$$

(Ecuación 13)

Por lo tanto:

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

(Ecuación 14)

$$P_f = 1057 \text{ habitantes}$$

(Ecuación 15)

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Tabla 16. Resultados de la proyección de la población acueducto vereda el Tunal por el método geométrico.

Año	Población (hab)		Año	Población (hab)
2019	984		2035	1022
2020	986		2036	1025
2021	989		2037	1027
2022	991		2038	1030
2023	993		2039	1032
2024	996		2040	1035
2025	998		2041	1037
2026	1001		2042	1040
2027	1003		2043	1042
2028	1005		2044	1045
2029	1008		2045	1047
2030	1010		2046	1050
2031	1013		2047	1052
2032	1015		2048	1055
2033	1017		2049	1057
2034	1020			

Fuente: Elaboración propia.

11.5 Estudio hidrológico y uso de los SIG

Para poder entender mejor los flujos hídricos recurrimos a los *sistemas de información geográfica* (SIG) y a los *modelos de elevación digital* (DEM); se buscó una imagen de satélite de la zona en la base de datos del *Servicio Geológico de los Estados Unidos* obtenida en el año 2000 y publicada en 2014.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

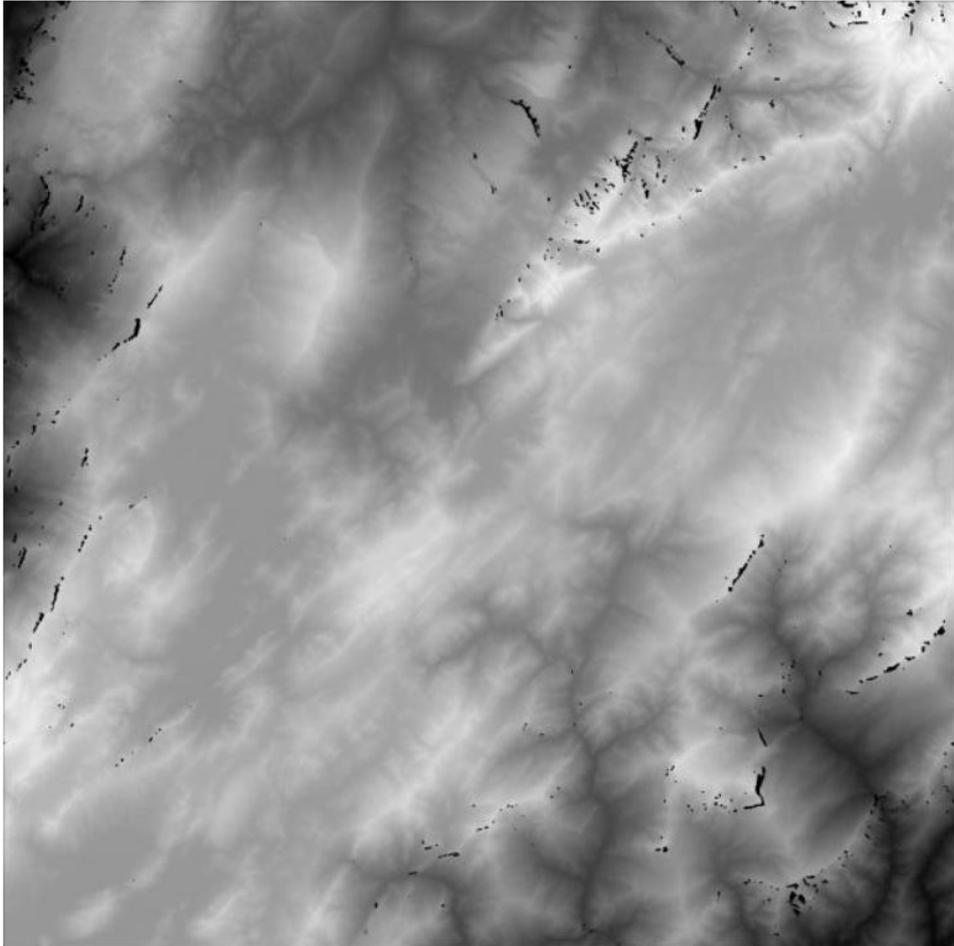


Figura 15. Modelo de elevación digital de la zona de estudio, USGS, 2000.

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), 2014.

Este DEM se llevó a un software llamado *SAGA Gis* para ser procesado y poder hallar consigo las direcciones del agua o flujos, las cuencas, y los principales drenajes de la zona, como se muestra en las siguientes figuras:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

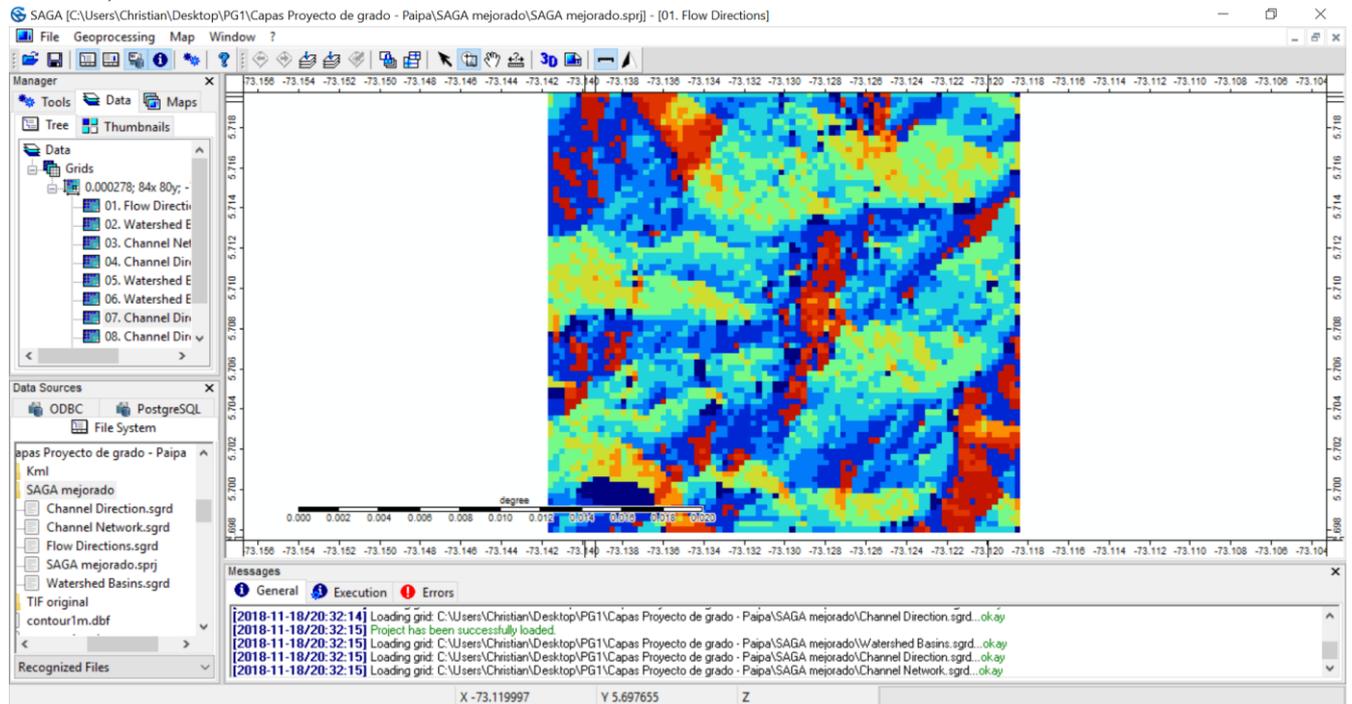


Figura 16. Utilización software SAGA GIS para obtener direcciones del flujo.

Fuente: Elaboración propia; SAGA GIS, 2018.

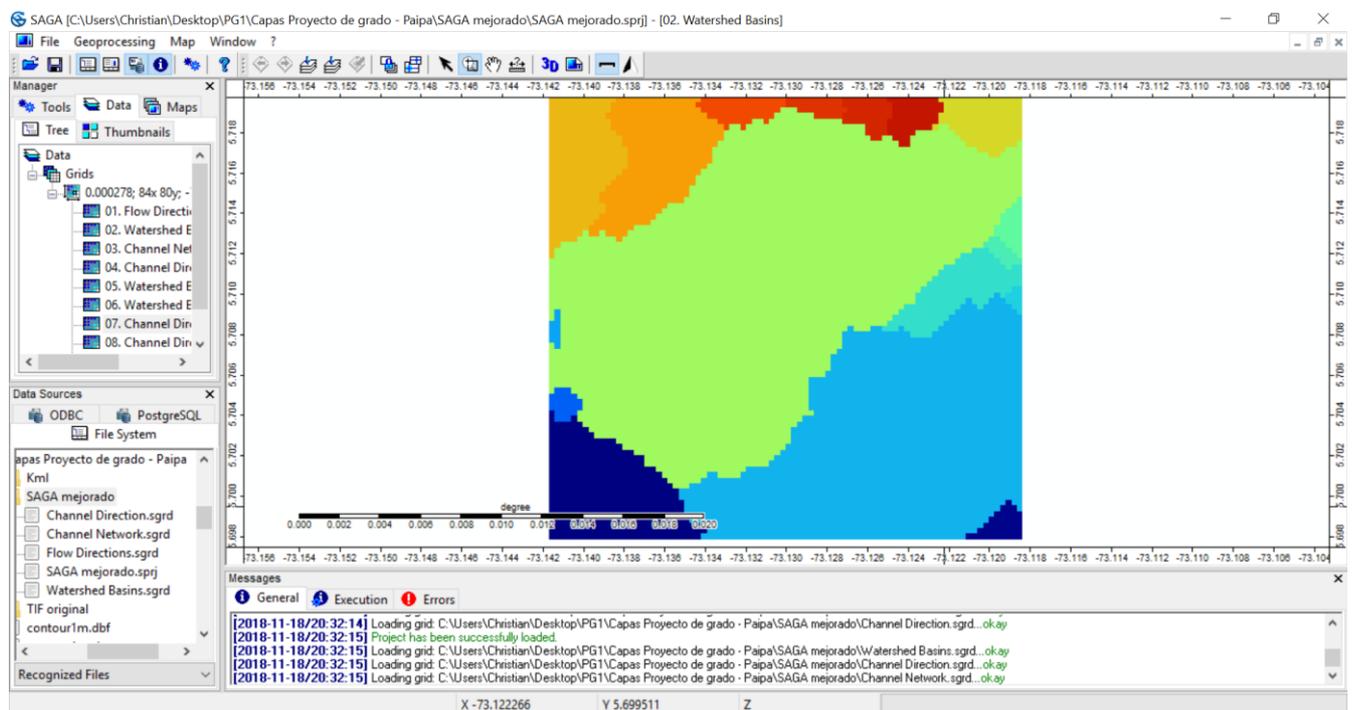


Figura 17. Utilización software SAGA GIS para obtener subcuencas.

Fuente: Elaboración propia; SAGA GIS, 2018.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

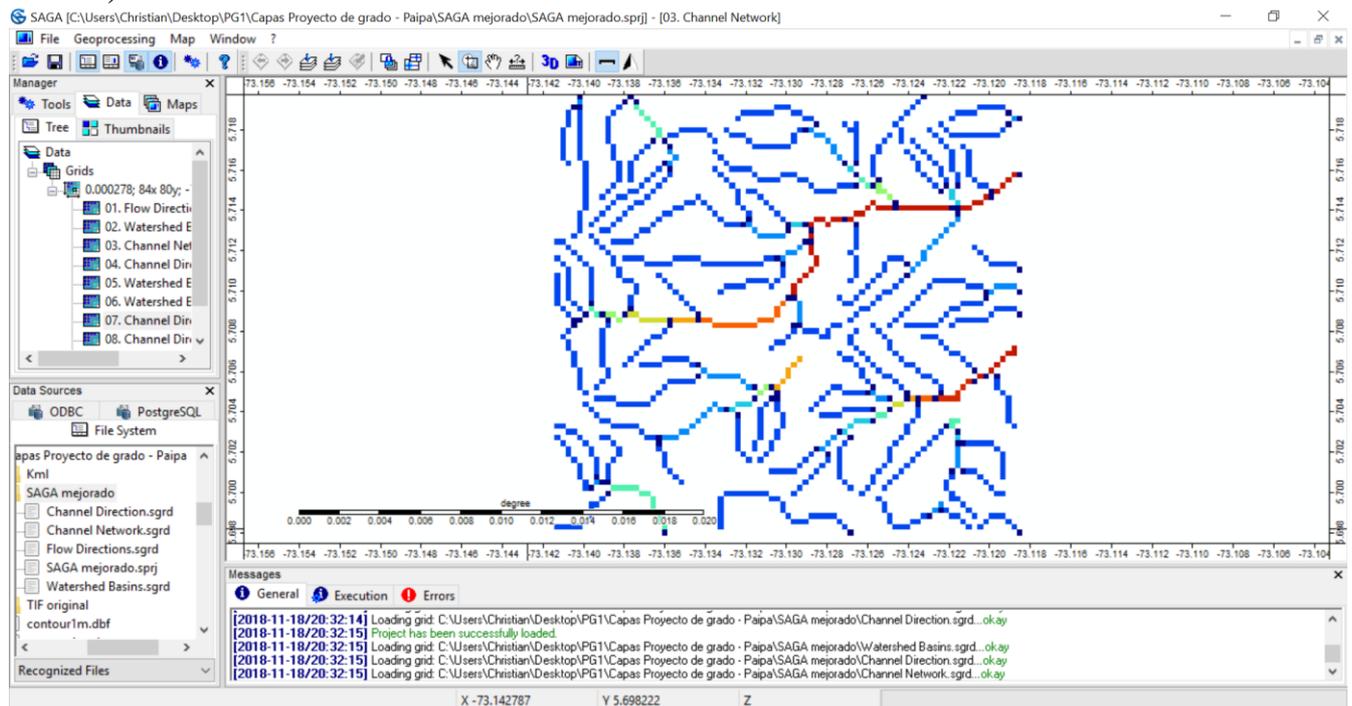


Figura 18. Utilización software SAGA GIS para obtener los drenajes principales.

Fuente: Elaboración propia; SAGA GIS, 2018.

Para poder ordenar la información obtenida se recurrió al software *QGIS*, que nos permite seleccionar y recortar las partes de nuestro interés. Luego estas capas fueron adicionadas al programa *Google Earth Pro*, donde las unimos a los puntos de las estaciones de bombeo, para tener una mejor y más acertada aproximación del terreno y sus condiciones reales.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

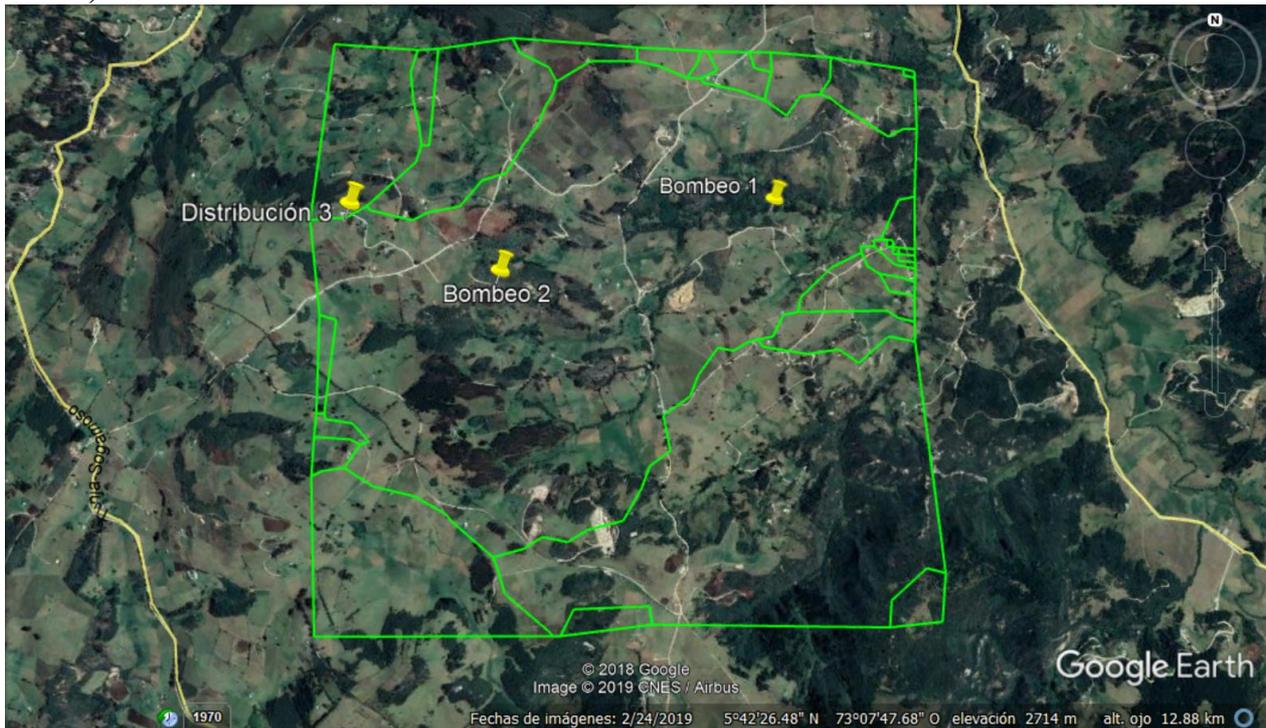


Figura 19. Visualización de las subcuencas en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia; Google Earth Pro, 2019.

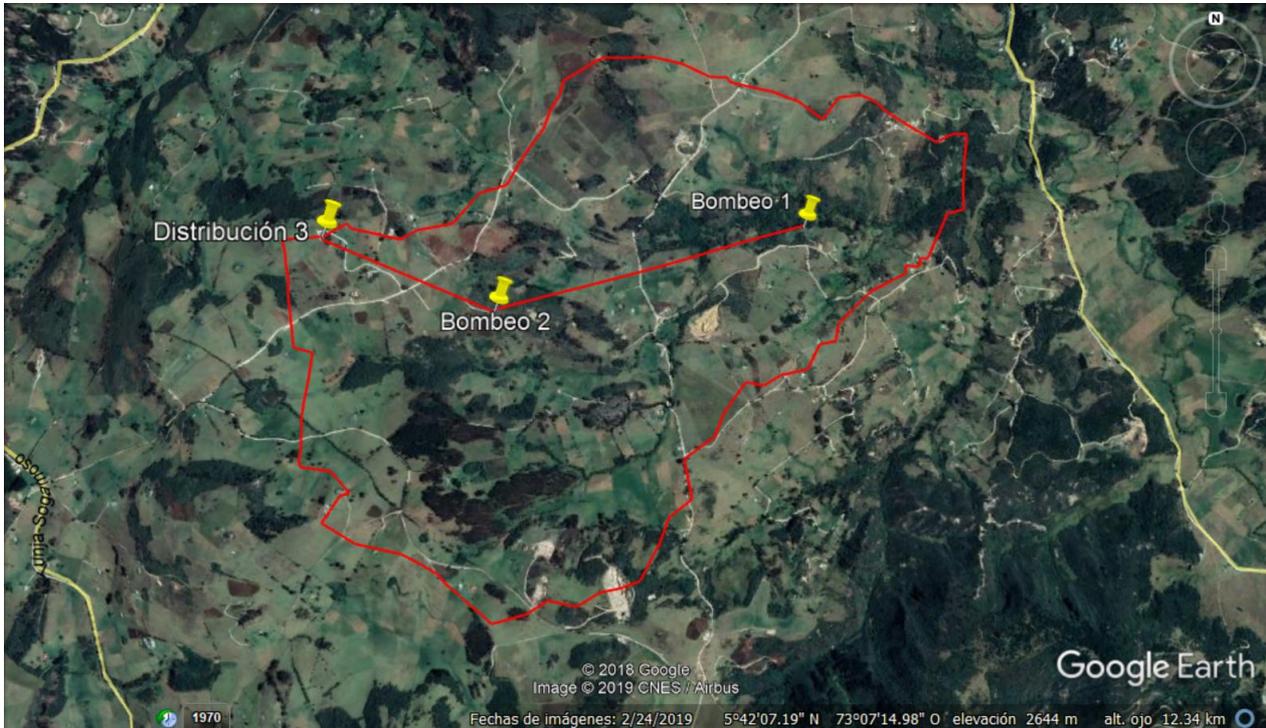


Figura 20. Visualización de las subcuencia principal.

Fuente: Elaboración propia; Google Earth Pro, 2019.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.



Figura 21. Visualización de la subcuenca principal y sus drenajes.

Fuente: Elaboración propia; Google Earth Pro, 2019.

Con este estudio se evidenciaron los principales drenajes y el comportamiento del recurso hídrico en esta zona. Teniendo esto en cuenta, se debe consolidar con los datos de las precipitaciones del lugar y saber las características del suelo para saber cuánto es el caudal aprovechable de esta subcuenca.

11.6 Comportamiento de las precipitaciones

Para obtener los datos de precipitaciones de la zona, se investigó y se encontró una estación meteorológica cercana del IDEAM, llamada “Estación meteorológica Tinguavita”, con las siguientes características:

Tabla 17. Características de la Estación Tinguavita, Paipa Boyacá.

Código estación	24035170
Área operativa	ÁREA OPERATIVA 06

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Nombre	TUNGUAVITA [24035170]
Tipo	CONVENCIONAL
Clase	METEOROLÓGICA
Categoría	AGROMETEOROLÓGICA
Estado	ACTIVA
Departamento	BOYACÁ
Municipio	PAIPA
Latitud	5.745917
Longitud	-73.116361
Altitud	2470
Corriente	SALITRE
Fecha de instalación	15/01/1968
Fecha de suspensión	-

Fuente: IDEAM, 2018.

La estación meteorológica de Tanguavita se encuentra aproximadamente a 4,3 km de la zona de estudio (vereda el Tunal) como se muestra en la siguiente imagen, usando la herramienta de *Google Earth Pro*:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

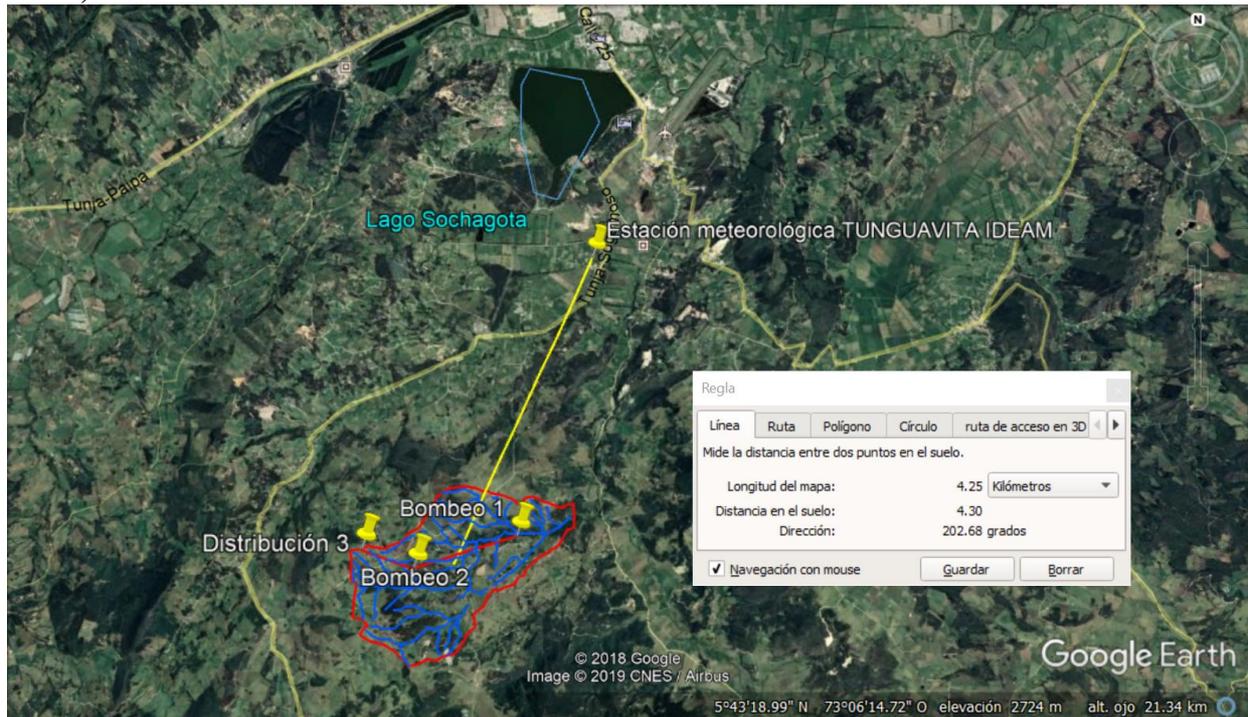


Figura 22. Visualización de la distancia de la estación meteorológica Tinguavita del IDEAM hasta la zona de estudio (vereda el Tunal).

Fuente: Elaboración propia; Google Earth Pro, 2019.

Ingresando a la página web oficial del *IDEAM* (Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales) se realizó una solicitud de datos recopilados de la estación Tinguavita, la cual para el método racional se tomó y organizó la precipitación medida en la zona desde el año 1968 hasta el 2015 como se muestra en la siguiente tabla:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Tabla 18. Datos precipitación (mm), estación Tunguavita IDEAM.

Año	mm	Días lluvia	Ll Max 24Hrs	Año	mm	Días lluvia	Ll Max 24Hrs
1968	832,7	171	43,8	1992	622,1	171	25,2
1969	872,3	170	30,1	1993	981,7	195	35,8
1970	842,4	186	40,2	1994	1053,2	214	41,5
1971	1077,6	202	38,0	1995	1126,9	183	38,2
1972	950,7	161	31,1	1996	1113,6	220	43,5
1973	877,4	172	36,6	1997	670,3	173	23,8
1974	851,5	186	27,1	1998	1089,5	212	40,9
1975	1112,5	198	36,6	1999	1278,9	221	39,9
1976	989,9	187	44,6	2000	930,8	188	55,4
1977	963,9	167	69,7	2001	612,7	167	36,0
1978	982,1	193	40,5	2002	833,5	156	53,1
1979	1281,6	213	34,4	2003	1245,6	182	66,6
1980	857,7	171	35,8	2004	884,5	141	57,5
1981	1133,0	200	35,7	2005	1012,0	154	64,7
1982	1195,2	219	44,8	2006	1116,4	191	34,5
1983	712,3	182	39,0	2007	1038,4	186	75,6
1984	827,0	198	36,7	2008	955,5	188	36,0
1985	894,3	162	52,4	2009	744,8	163	26,4
1986	943,1	180	31,4	2010	1250,0	193	44,2
1987	863,4	146	30,0	2011	1525,6	223	44,7
1988	1289,7	219	46,7	2012	905,8	179	43,0
1989	755,8	176	31,2	2013	767,7	149	27,1
1990	841,9	192	42,2	2014	888,2	173	70,5
1991	895,1	178	41,8	2015	728,0	151	77,0

Fuente: IDEAM, 2018.

Se obtuvo también el promedio anual, diario, valor máximo, valor mínimo y los días de lluvia:

Tabla 19. Cálculos de promedios anuales, valores máximos y mínimos, días de lluvia de precipitación, estación Tunguavita IDEAM.

Promedio anual		Valor mínimo		Valor máximo	
962,9	mm/año	612,7	mm/año	1525,6	mm/año
2,6	mm/día	1,7	mm/día	4,2	mm/día
Promedio anual días lluvia		Mínimo anual días lluvia		Máximo anual días lluvia	
183	días/año	141	días/año	223	días/año

Fuente: Elaboración propia; IDEAM, 2018.

Luego se construyó un gráfico de columnas para observar el comportamiento de la precipitación respecto al tiempo:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

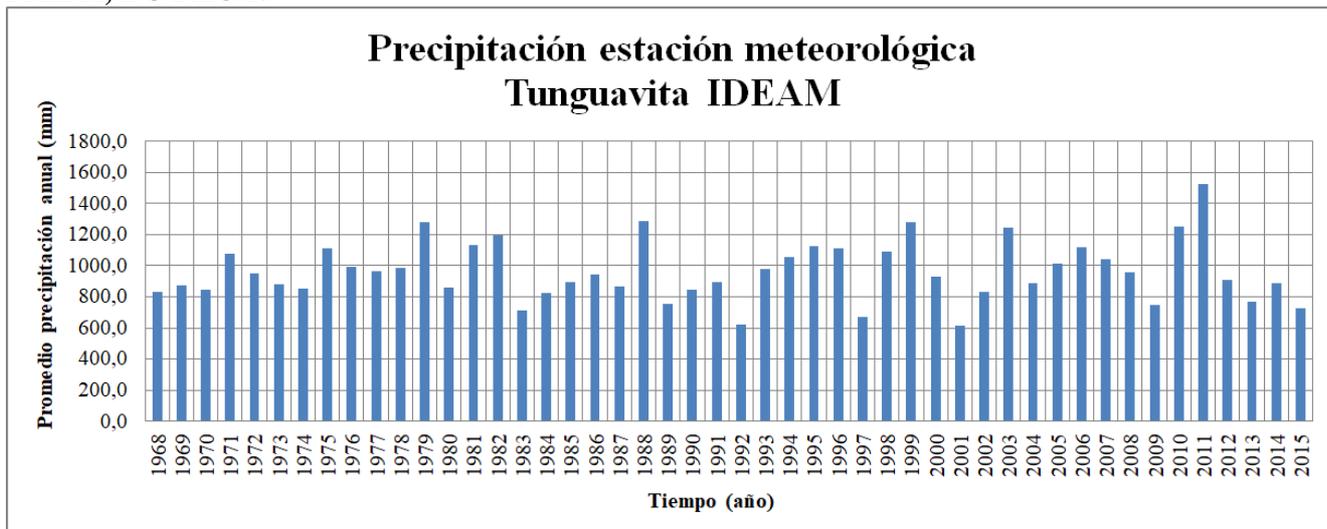


Figura 23. Gráfico promedio precipitación (mm) anual vs tiempo (año).

Fuente: Elaboración propia; IDEAM 2018.

Con la información obtenida, se elaboró una tabla de promedio mensual de precipitaciones, para la identificación de épocas de lluvia y épocas de sequía, con colores azul y rojo respectivamente.

Tabla 20. Promedio mensual de precipitaciones (mm).

Promedio mensual de precipitaciones Estación Meteorológica Tunguavita (mm)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
26.8	48.1	84.2	137.4	116.6	74.2	54.9	59.0	80.3	133.2	100.6	47.5

Promedio mensual =	80.2
--------------------	------

Fuente: Elaboración propia; IDEAM 2018.

11.7 Disponibilidad y consumo del recurso hídrico aplicando el método racional

A continuación se muestran los resultados del método racional, con el cual se identificó el caudal máximo de aguas lluvias aprovechables de la zona de estudio para el sistema de suministro o acueducto, se tomó una población de diseño de 1057 habitantes, hallado en la proyección de la población para el año 2049 (ver Tabla 16), se tomó el valor de 120 L/hab·día para la dotación neta por habitante, debido a que es el consumo futuro máximo de la población proyectada.

Consumo del recurso hídrico año 2049:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

$$1057 \text{ hab} * 120 \text{ L/hab} \cdot \text{día} = 126\ 840 \text{ L/día} = 3\ 857\ 204,4 \text{ L/mes}$$

(Ecuación 16)

Según la norma NS-085, para la determinación del caudal con el método racional, el área de aprovechamiento debe ser inferior a 80 hectáreas. Se tomó un área (A) de 15,95 hectáreas (159 500 m²), que hace referencia al humedal y al punto de captación del recurso hídrico llamado “Ojo de Agua” como se muestra en la siguiente figura:

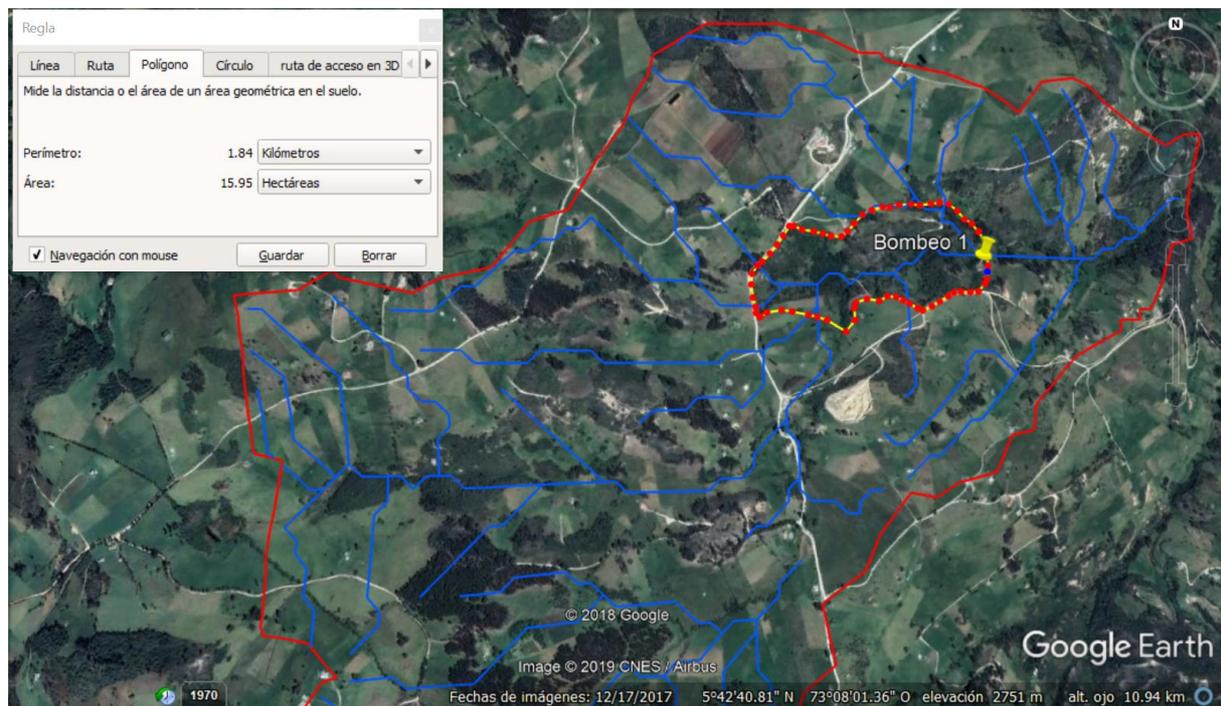


Figura 24. Visualización del humedal y punto de captación “Ojo de Agua” (Bombeo 1), donde se muestra el área (borde amarillo con puntos rojos) para el método racional.

Fuente: Elaboración propia; Google Earth Pro, 2019.

Con la herramienta de *Google Earth Pro* se calculó la pendiente del área (superior al 7%), por lo tanto se tomó un valor para el coeficiente de escorrentía (C) de 0,40 (ver Tabla 8). Posteriormente se calculó la intensidad de la lluvia (I) realizando un promedio de cada mes de los años 1968 hasta el 2015, de los datos de precipitación de la estación meteorológica Tunguavita del *IDEAM*.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Tabla 21. Resultados obtenidos sobre el método racional.

Mes	I: Precipitación Promedio (L/m ²)	A: Área de captación (m ²)	C: Coeficiente de escorrentía	Q : Agua lluvia por mes (L)	Consumo mensual promedio (L)	Excedente (L)	Excedente (m ³)
Enero	26,8	159500	0,4	1710770,4	3857204,4	-2146434,0	-2146,4
Febrero	48,1	159500	0,4	3071438,3	3857204,4	-785766,1	-785,8
Marzo	84,2	159500	0,4	5369966,3	3857204,4	1512761,9	1512,8
Abril	137,4	159500	0,4	8765189,6	3857204,4	4907985,2	4908,0
Mayo	116,6	159500	0,4	7440807,9	3857204,4	3583603,5	3583,6
Junio	74,2	159500	0,4	4733960,0	3857204,4	876755,6	876,8
Julio	54,9	159500	0,4	3505544,2	3857204,4	-351660,2	-351,7
Agosto	59,0	159500	0,4	3765529,2	3857204,4	-91675,2	-91,7
Septiembre	80,3	159500	0,4	5121545,0	3857204,4	1264340,6	1264,3
Octubre	133,2	159500	0,4	8498027,1	3857204,4	4640822,7	4640,8
Noviembre	100,6	159500	0,4	6420672,5	3857204,4	2563468,1	2563,5
Diciembre	47,5	159500	0,4	3029037,9	3857204,4	-828166,5	-828,2

Fuente: Elaboración propia.

En la anterior tabla se halló el caudal máximo aprovechable (Q) para cada mes aplicando la fórmula del método racional, adicionalmente con el valor del “consumo mensual promedio”, se encontró la diferencia, resultando en la cantidad del recurso hídrico que hace falta o sobra en cada mes, este dato es útil para el diseño de un embalse que se muestra en la siguiente sección.

11.8 Cálculo de requerimientos para el mejoramiento de los sistemas de almacenamiento

Con los datos obtenidos del excedente en la *Tabla 21*, se propone la construcción y operación de un embalse, para el almacenamiento del agua lluvia de los meses con mucha precipitación, para tener como contrarrestar los desabastecimientos que producen los meses de sequía. El embalse estará construido por una capa de concreto de 20 mm, en el fondo del embalse se adecuará una geomembrana, evitando la pérdida del recurso debido a la infiltración en el suelo, y por último, se tendrá una cobertura superior de polietileno para evitar la evaporación y posible contaminación del recurso hídrico.

A continuación se propone un embalse de 6052,48 m³ con el software “*PipeFlow advisor*”:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

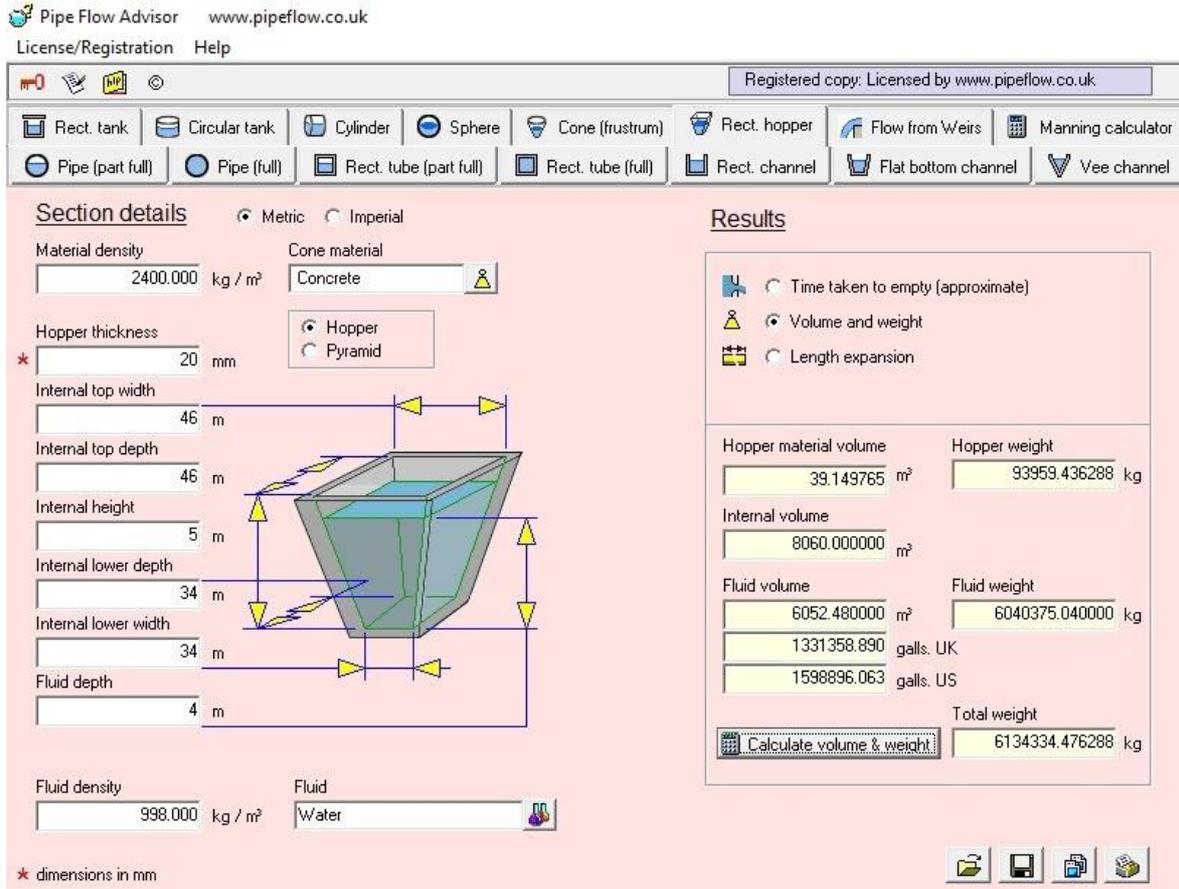


Figura 25. Esquema del embalse con sus características y materiales.

Fuente: PipeFlow, 2019

Tabla 22. Características de los resultados del diseño del embalse.

Tipo de estructura	Tolva rectangular
Material	Concreto
Densidad del material	2400 kg/m ³
Espesor	20 mm
Ancho superior interno	46 m
Largo superior interno	46 m
Altura interna	5 m
Largo inferior interno	34 m
Ancho inferior interno	34 m
Profundidad del agua	4 m

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Capacidad fluido	6052,48 m ³
Volumen del material (concreto)	39,15 m ³

Fuente: Elaboración propia; *PipeFlow*, 2019.

Se calculó el área superficial del embalse ($46\text{ m} * 46\text{ m} = 2116\text{ m}^2$), con esto se plantea la ubicación con la herramienta *Google Earth Pro*. En la siguiente figura se puede observar la proyección del embalse a unos 20 metros al oeste de la estación *Distribución 3*:

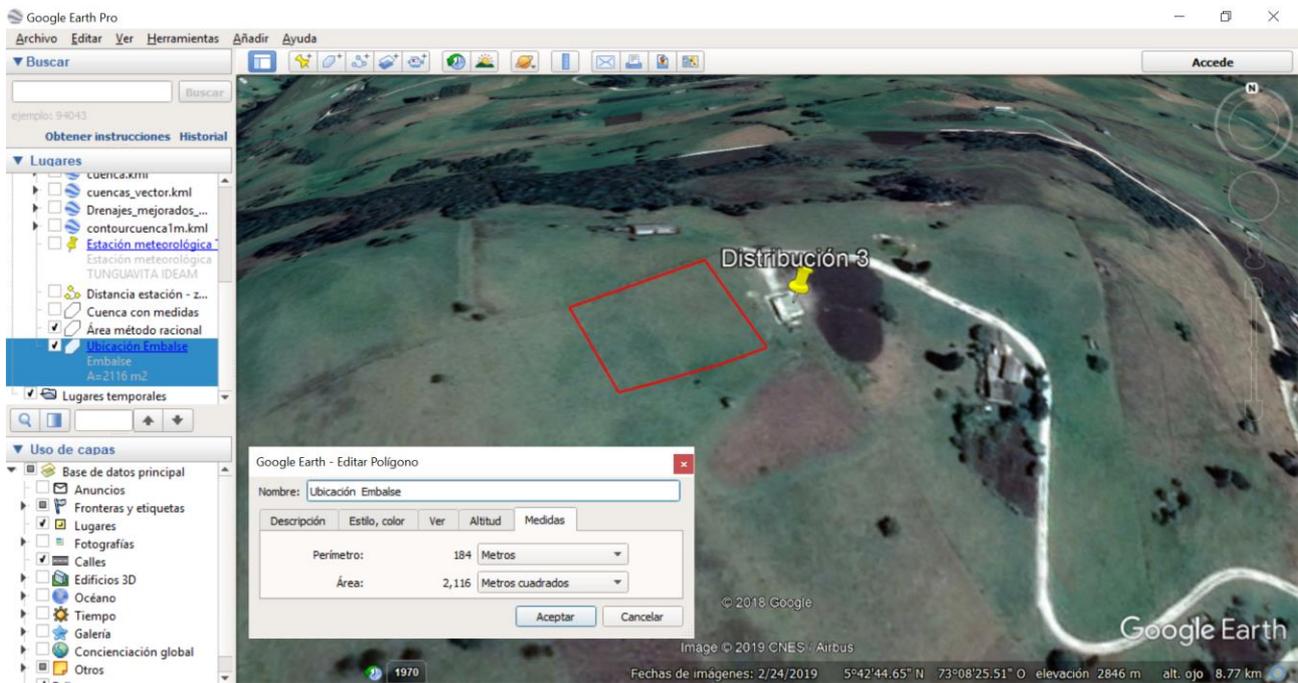


Figura 26. Proyección de la ubicación del embalse cerca de la estación *Distribución 3*.

Fuente: Elaboración propia; *Google Earth Pro*, 2019

En el *Anexo 12* se puede encontrar una foto del terreno en físico de la figura anterior, donde se propone la ubicación del embalse.

En la siguiente figura se puede observar el tiempo aproximado para que el tanque se vacíe, con la respectiva profundidad del fluido y la cantidad de fluido descargado.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Pipe Flow Advisor www.pipeflow.co.uk
License/Registration Help

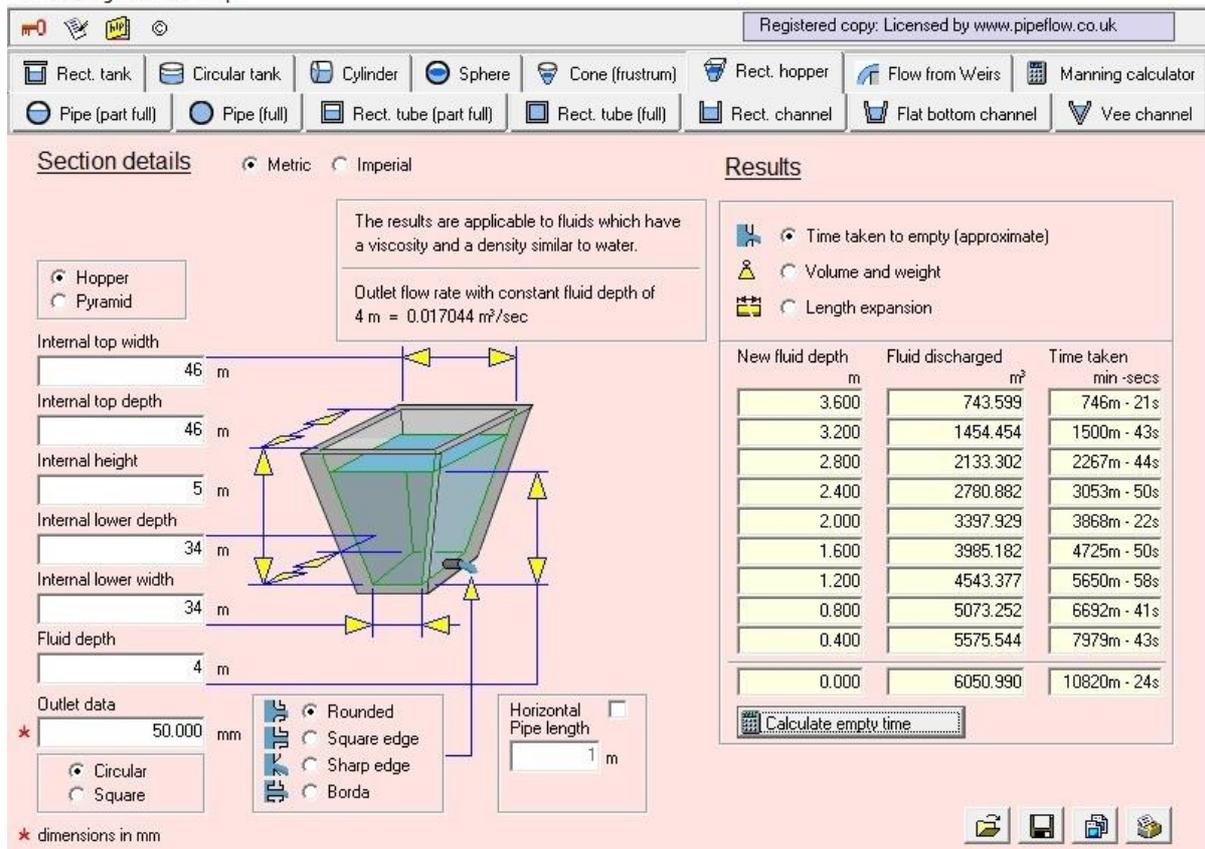


Figura 27. Esquema del embalse con el tiempo aproximado para que se vacíe.

Fuente: PipeFlow, 2019

11.9 Mejoramiento hidráulico del sistema de bombeo (mantenimiento)

En esta sección se utilizó el software *EPANET*, este permite realizar un análisis y una representación hidráulica de redes de tuberías a partir de las características físicas de las tuberías, con esta herramienta es posible obtener la presión y los caudales respectivamente.

Para analizar las capacidades hidráulicas, se deben conocer las características del sistema actual, por lo tanto se introdujeron los datos previamente obtenidos y se realizó una simulación. Se obtuvieron resultados de las tuberías (líneas) y puntos (nodos) como se muestra a continuación:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

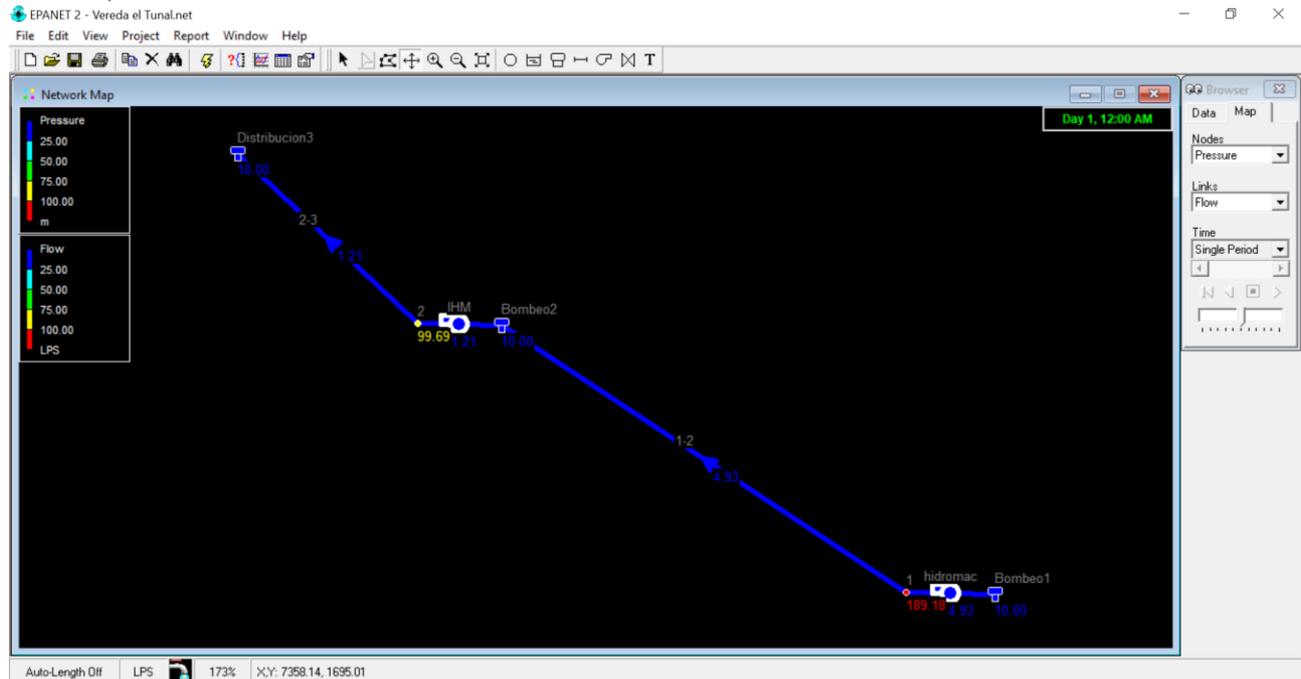


Figura 28. Sistema de distribución del recurso hídrico actual de la vereda, software EPANET.

Fuente: Elaboración propia; EPANET, 2019.

Tabla 23. Resultados de la red, tuberías (líneas), EPANET:

ID Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad (mm)	Caudal (LPS)	Velocidad (m/s)	unidad de pérdida de cabeza (m/km)
Tubería 1-2	1310	63,5	0,0015	4,93	1,56	35,26
Tubería 2-3	650	38,1	0,0015	1,21	1,06	33,36
Bomba hidromac	N/A	N/A	N/A	4,93	0	-179,18
Bomba IHM	N/A	N/A	N/A	1,21	0	-89,69

Fuente: Elaboración propia; EPANET, 2019.

Tabla 24. Resultados de la red, puntos (nodos), EPANET:

ID Nodo	Cota (m)	Altura de cabeza (mm)	Presión (m)
Unión 1	0	189,18	189,18
Unión 2	133	232,69	99,69
Bombeo 1	0	10,00	10,00
Bombeo 2	133	143,00	10,00
Distribución 3	201	211,00	10,00

Fuente: Elaboración propia; EPANET, 2019.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Se encontró que el sistema cuenta con buenos caudales y presiones estables, que cumplen con las necesidades parciales de la comunidad, por lo tanto el mejoramiento del presente sistema de distribución del recurso hídrico, se basa en el mantenimiento, reparación y disminución de accesorios no necesarios para reducir las pérdidas por fricción y de esta manera aumentar su eficiencia.

11.10 Cálculo de requerimientos para el mejoramiento energético

Para el cálculo del mejoramiento energético, se propuso un sistema de celdas fotovoltaicas para proporcionar energía para las bombas del sistema de distribución del recurso hídrico. Para esto se necesitó el dato de brillo solar, que representa en horas el tiempo total en el que hay una radiación solar directa sobre un lugar, con el brillo solar y los datos previamente obtenidos de población y caudal, se obtuvieron el número de celdas fotovoltaicas para suplir en un 100% la demanda energética del sistema.

11.10.1 Análisis del brillo solar de la zona de estudio

Se recurrió a los datos de brillo solar registrados por la “*Estación meteorológica Tunguavita*” del IDEAM. Posteriormente se organizaron los valores del brillo solar desde el año 1979 hasta el 2017 como se muestra:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Tabla 25. Datos de brillo solar (horas), estación Tinguavita IDEAM.

Año	Brillo solar (horas)	Año	Brillo solar (horas)	Año	Brillo solar (horas)
1979	1701,1	1992	1788,8	2005	1059,9
1980	1966,8	1993	1742,2	2006	1057,9
1981	1684,8	1994	1579,2	2007	1430,8
1982	1519,2	1995	1774,7	2008	1603,1
1983	1658,0	1996	1672,2	2009	1415,4
1984	1698,5	1997	1808,1	2010	1491,2
1985	1698,2	1998	1643,2	2011	1298,3
1986	1676,9	1999	1673,6	2012	1240,6
1987	1662,4	2000	1796,1	2013	1449,7
1988	1583,6	2001	1607,8	2014	1571,5
1989	1783,9	2002	1782,8	2015	1634,1
1990	1622,8	2003	1616,4	2016	1614,3
1991	1760,5	2004	1413,7	2017	1081,4

Fuente: IDEAM, 2018.

Con los datos recopilados se obtuvo el promedio anual, valor máximo y mínimo del brillo solar y sus promedios diarios:

Tabla 26. Cálculos de promedio anual, valor máximo y mínimo, promedios diarios del brillo solar, estación Tinguavita IDEAM.

Promedio anual		Valor mínimo		Valor máximo	
1586,2	horas/año	1057,9	horas/año	1966,8	horas/año
4,3	horas/día	2,9	horas/día	5,4	horas/día

Fuente: Elaboración propia.

También se construyó un gráfico de puntos y líneas para poder apreciar de una mejor manera la variación del brillo solar en el tiempo:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

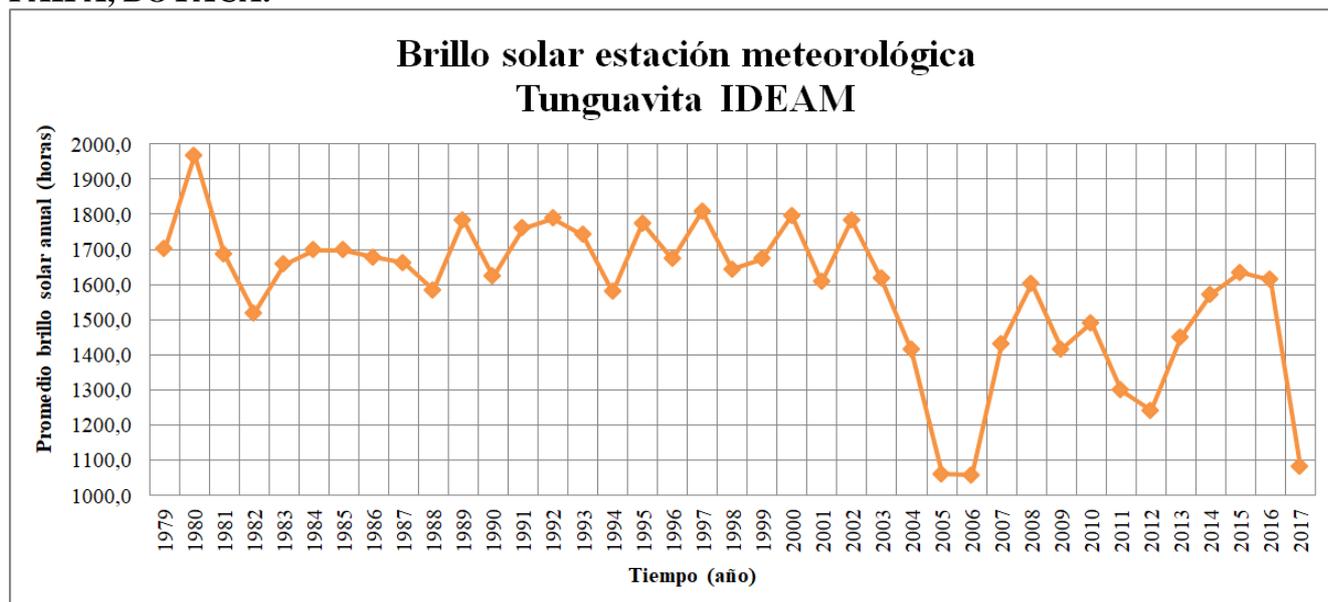


Figura 29. Gráfico promedio brillo solar (horas) anual vs tiempo (año).

Fuente: Elaboración propia; IDEAM, 2018.

Se encontró el brillo solar del grupo *ENERGEIA* en su *Atlas Solar*, de la zona donde está ubicado el municipio de Paipa y la vereda el Tunal, resultando en 4,5 horas de brillo solar al día. Se decidió utilizar el valor de la *estación meteorológica Tunguavita* (4,3 horas día) debido a que es mucho más preciso el valor para la zona de estudio.

11.10.2 Cálculo del número de celdas fotovoltaicas requeridas

Para hallar el número de unidades requeridas, se tomó la demanda del recurso hídrico del 2049 hallada en la *Ecuación 16*:

$$1057 \text{ hab} * 120 \text{ L/hab} \cdot \text{día} = 126\ 840 \text{ L/día} = 1,468 \text{ L/s}$$

(Ecuación 17)

Se subdividió el consumo energético por cada bomba de presión; para los cálculos se utilizaron celdas fotovoltaicas de 325 W y con una dimensión de 2 m²:

- Cálculos energéticos para la bomba hidromac vvkl 40/6 (estación *Bombeo 1*):

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

$$Potencia = 25 HP = 18,642 kW$$

$$Caudal = 90 GPM = 5,678 L/s$$

$$Altura de cabeza = 133 m$$

Se calculó el consumo energético para el año 2049:

$$1,468 L/s \left(\frac{18,642 kW/h}{5,678 L/s} \right) = 4,819 kW/h = 115,673 kW/día = 3470,209 kW/mes$$

(Ecuación 18)

Cálculo del sistema con las horas del brillo solar:

$$\frac{3470,209 kW/mes}{(4,3 h/día * 30 días)} = 26,901 kW = 26 901 W$$

(Ecuación 19)

Número de celdas fotovoltaicas de 325 W requeridos:

$$24 947 W / 325 W = 82,77 \approx 83 \text{ celdas fotovoltaicas}$$

(Ecuación 20)

$$\text{Área requerida: } 83 \text{ celdas} * 2 m^2/\text{celda} = 166 m^2$$

(Ecuación 21)

- Cálculos energéticos para la bomba IHM VL-180V-5.0T (estación *Bombeo 2*):

$$Potencia = 5 HP = 3,728 kW$$

$$Caudal = 28 GPM = 1,766 L/s$$

$$Altura de cabeza = 68 m$$

Se calculó el consumo energético para el año 2049:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

$$1,468 \text{ L/s} \left(\frac{3,728 \text{ kW/h}}{1,766 \text{ L/s}} \right) = 3,099 \text{ kW/h} = 74,374 \text{ kW/día} = 2231,227 \text{ kW/mes}$$

(Ecuación 22)

Cálculo del sistema con las horas del brillo solar:

$$\frac{2231,227 \text{ kW/mes}}{(4,3 \text{ h/día} * 30 \text{ días})} = 17,296 \text{ kW} = 17\,296 \text{ W}$$

(Ecuación 23)

Número de celdas fotovoltaicas de 325 W requeridos:

$$17\,296 \text{ W} / 325 \text{ W} = 53,21 \approx 54 \text{ celdas fotovoltaicas}$$

(Ecuación 24)

$$\text{Área requerida: } 54 \text{ celdas} * 2 \text{ m}^2/\text{celda} = 108 \text{ m}^2$$

(Ecuación 25)

Número total de celdas fotovoltaicas requeridas = 137 unidades

$$\text{Área total requerida} = 274 \text{ m}^2$$

11.11 Estimación del valor económico

En este proyecto se pretende conocer y analizar los costos de implementación de las diferentes mejoras, para analizar su viabilidad con el tiempo. En seguida, se dividieron cada una de las mejoras (almacenamiento, hidráulica y energética), se buscaron cotizaciones de cada una desde la perspectiva del proyecto, y posteriormente se realizó un retorno de inversión. Con esto se pretende atraer la atención de la comunidad, las entidades gubernamentales y hasta pequeños inversionistas para el mejoramiento de la calidad de vida de la vereda el Tunal y en sí del municipio de Paipa, Boyacá.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Para este estudio se utiliza la moneda COP (peso colombiano) con la siguiente relación con el dólar para el año 2019:

$$3158.21 \text{ COP} = 1 \text{ USD}$$

(Ecuación 26)

11.11.1 Costos de la propuesta del embalse (mejora de almacenamiento)

En la siguiente tabla se pueden identificar los materiales y servicios con sus respectivos costos.

Tabla 27. Costos de la propuesta del embalse.

<i>Artículo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor unitario (COP)</i>	<i>Valor Total (COP)</i>
Excavación	6052,48	\$ 3.950	\$ 23.907.296
Geomembrana impermeable (0,75 mm)	1156	\$ 7.973	\$ 9.216.788
Instalación geomembrana	1156	\$ 1.785	\$ 2.063.460
Concreto 3000 PSI y mano de obra	40	\$ 453.143	\$ 18.125.720
Cubierta de polietileno de alta densidad (0,75 mm)	2116	\$ 7.973	\$ 16.870.868
Instalación Cubierta de polietileno de alta densidad	2116	\$ 1.785	\$ 3.777.060
Tuberías pvc u (1 m; 1½")	22	\$ 57.645	\$ 1.268.190
Válvula (cierre rápido pvc; 1½")	1	\$ 14.050	\$ 14.050
TOTAL			\$ 75.243.432

Fuente: Elaboración propia, Geosintéticos SAS, DataCauca, PAVCO, 2019.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

El costo de excavación de tierra a cielo abierto con medios mecánicos en el departamento de Boyacá, según la organización *CYPE Ingenieros, S.A.*, se evalúa aproximadamente por \$ 3.950 COP por metro cúbico (m³) de tierra, para desocupar así un área correspondiente a 6052,48 m³, resultando un valor total de \$ 23.907.296 COP.

Se realizó una cotización a la empresa *Geosintéticos SAS*, para conocer los costos de la geomembrana impermeable que se instalará en el fondo del embalse para impedir la infiltración del recurso hídrico en el suelo, se cotizó una *Geomembrana Cal 30 Mils* de 0,75 mm de espesor, con su respectivo valor unitario por m² de \$ 7.973 COP, y su instalación de \$ 1.785 COP, como se muestra en el *Anexo 13*. Así mismo se cotizó la cubierta de polietileno de alta densidad (HDPE) de 0,75 mm de espesor, la cual tiene los mismos costos que la geomembrana.

El costo del concreto 3000 PSI fue obtenido de la organización *DataCauca* de la *Secretaría de Infraestructura*, se puede observar en el *Anexo 14* los diferentes costos para la elaboración del concreto y su mano de obra, el costo utilizado para la proyección del embalse fue el costo total directo de m³ por \$ 453.143 COP.

Por último, el costo de las tuberías, uniones, válvula y mano de obra se obtuvieron de un catálogo de la empresa PAVCO.

11.11.2 Costos del mejoramiento hidráulico (mantenimiento)

En la siguiente tabla se detalla de manera sencilla el costo aproximado de un mantenimiento del sistema de distribución del recurso hídrico, y un posible valor para la reparación y reemplazo de nuevas tuberías, accesorios y conexiones.

Tabla 28. Costos de la propuesta del mejoramiento hidráulico (mantenimiento).

<i>Artículo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor unitario (COP)</i>	<i>Valor Total (COP)</i>
Mantenimiento preventivo	1	500.000	\$ 500.000
Tuberías, accesorios y conexiones	-	-	Hasta \$ 5.000.000

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

TOTAL	\$ 5.500.000
--------------	---------------------

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de “tuberías, accesorios y conexiones” requieren un estudio más detallado, para conocer el actual estado, y poder analizar el valor exacto para el reemplazo de las piezas necesarias, para que el sistema tenga menos pérdidas y sea más eficiente.

11.11.3 Costos del mejoramiento energético mediante un sistema energético de celdas fotovoltaicas

Según una cotización hecha a la empresa *Gestión e Innovación Energética S.A.S*, cada celda fotovoltaica de 325 W y una dimensión de 2 m² tiene un costo aproximado de 1'120 000 \$ COP. A continuación se detallan los costos del sistema energético de celdas fotovoltaicas:

Tabla 29. Costos de la propuesta del sistema energético.

<i>Artículo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor unitario (COP)</i>	<i>Valor Total (COP)</i>
Celda fotovoltaica 325 W (1m x 2m)	137	1 120 000	\$ 153.440.000
Conexiones, accesorios y cableado	1	3 000 000	\$ 3.000.000
Instalación	1	5 000 000	\$ 5.000.000
TOTAL			\$ 161.440.000

Fuente: Elaboración propia, *Gestión e Innovación Energética S.A.S*, 2019.

11.11.4 Costos totales

Tabla 30. Costos totales de la propuesta de mejoramiento del sistema de distribución del recurso hídrico.

<i>Artículo</i>	<i>Valor Total (COP)</i>
-----------------	--------------------------

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Costos de la propuesta del embalse (mejora de almacenamiento)	\$ 75.243.432
Costos del mejoramiento hidráulico (mantenimiento)	\$ 5.500.000
Costos del sistema energético de celdas fotovoltaicas (mejoramiento energético)	\$ 161.440.000
TOTAL	\$ 242.183.432

Fuente: Elaboración propia.

11.11.5 Retorno de inversión del proyecto

Se realizó un retorno de inversión simple, para conocer aproximadamente el tiempo que en que se obtiene el valor invertido. La comunidad gasta mensualmente para su abastecimiento, un valor promedio de \$ 750.000 COP solamente en energía para bombear y dar funcionamiento al sistema, y una cuota promedio mensual por el suministro del recurso hídrico de \$ 11.000 COP por punto o vivienda (246 puntos), es decir una cuota mensual de \$ 2.706.000 COP de toda la vereda. Para un total de \$ 3.456.000 COP mensual. Con estos costos, se procede a realizar el retorno con una inversión de \$ 242.183.432 COP.

$$RI = \frac{\$ 242.183.432 \text{ COP}}{\$ 3.456.000 \text{ COP/mes}} = 70,076 \text{ Mes} = 5,84 \text{ años} \approx 5 \text{ años y } 10 \text{ meses}$$

(Ecuación 27)

En el siguiente gráfico de tiempo (mes) vs costo (COP), se puede observar el retorno de inversión del proyecto, a 70,076 meses, es decir, 5 años y 10 meses.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

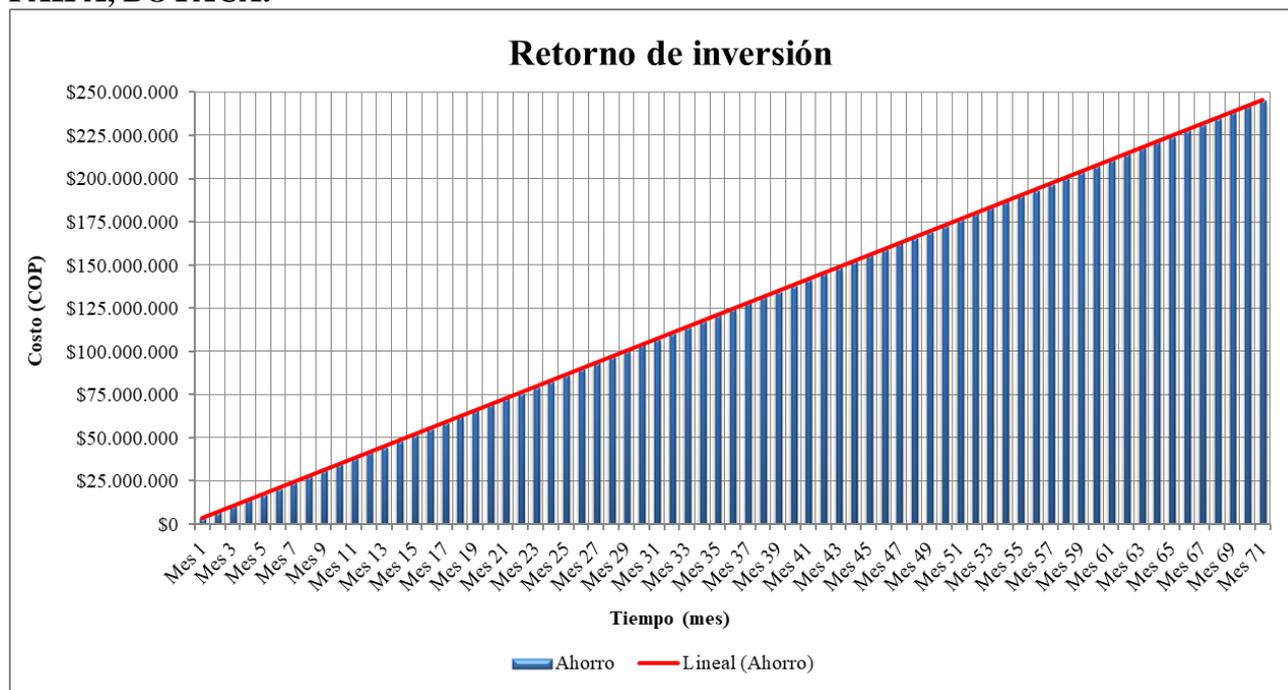


Figura 30. Gráfico retorno de la inversión del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

12. Análisis y discusión de resultados

El análisis y discusión de los resultados se desarrollaron de acuerdo a cada uno de los objetivos específicos planteados en el presente proyecto de grado.

La vereda el Tunal, ubicada al sur del municipio de Paipa, en el departamento de Boyacá, presenta un desabastecimiento del recurso hídrico. Para saber si esto es una percepción de la comunidad o realmente sucede, se realizó una identificación geográfica, de los puntos de abastecimiento, suministro, y demás. Se evidenció geográficamente que el sistema de bombeo tiene dos puntos o estaciones de distribución y uno de captación, este último ubicado en un humedal con el nombre de "Ojo de Agua", el cual la comunidad ha aprovechado y protegido en los últimos años, con la compra de varios predios para su reforestación y el aprovechamiento sostenible del servicio ecosistémico que brinda el recurso hídrico. En la identificación del sistema actual, los tanques de almacenamiento de las estaciones tienen capacidades diferentes, lo que impide un caudal continuo del recurso hídrico entre las tres estaciones de bombeo, debido a que los tanques con menor

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

capacidad se desocupan más rápidamente y a las altas potencias de las bombas de presión que no funcionan de la manera más eficiente.

La estructura actual del sistema cuenta con diferentes puntos de referencia que, como se mencionó anteriormente, se habían instalado como lugares estratégicos en donde se distribuye el recurso hídrico abasteciendo a la comunidad. No obstante, las condiciones con las que se hace uso de este sistema tienen una capacidad de operación, mantenimiento y administración no apropiada, lo que ha conducido a diversas dificultades con el paso del tiempo, como es el deterioro de las instalaciones, bombas, tanques de almacenamiento, tuberías, entre otros. La comunidad se ha visto obligada a resolver los diferentes problemas respecto al recurso hídrico por sus medios, debido a la mínima o casi nula intervención de las entidades gubernamentales para ayudar. Cabe mencionar que aún con estas complicaciones, no se ha dejado de utilizar el sistema y la comunidad sigue siendo participante día a día del sistema para satisfacer sus necesidades.

Por otro lado, se evidencia que el crecimiento de la población ha aumentado significativamente, con una diferencia de 562 habitantes entre el año 2010 y el año 2019, lo que significa que la demanda del recurso se ha incrementado paralelamente al crecimiento poblacional. Esta situación se convierte en un factor de escasez para la comunidad, como soporte se pudo observar cambios significativos en la reducción del caudal de abastecimiento, además, actualmente no existe el suministro del recurso hídrico en el punto de “Laguna Rica”, por lo tanto solamente se aprovecha el caudal del punto “Ojo de agua”. Al calcular la oferta y demanda para el año 2019, se arrojan datos donde se puede observar la existencia de un desabastecimiento.

A partir de dicha situación, se quiere conocer el crecimiento la población que se beneficia del acueducto y su demanda, para esto se proyectó la población para un periodo de 30 años (2019 - 2049). La tasa de crecimiento poblacional fue obtenida de la zona rural del municipio de Paipa, debido a que no hay censos tan específicos de esta comunidad, lo que quiere decir que la población puede comportarse y crecer de una manera diferente. El resultado fue un crecimiento poblacional relativamente bajo, incrementando solamente 73 habitantes en un periodo de 30 años. Con este incremento de la población se analizó la cantidad del recurso hídrico máxima aprovechable con los SIG, el comportamiento de las precipitaciones y los consumos.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Para el análisis de los resultados de los SIG, se tiene en cuenta que el modelo de elevación digital fue generado el año 2000, sin embargo la zona no ha sido alterada drásticamente por eventos naturales o por actividad humana. Con las herramientas que brindan los SIG, se pudo identificar y analizar el comportamiento del recurso hídrico y sus direcciones con respecto al entorno físico-geográfico, localizando una subcuenca y drenajes principales de la zona. En la subcuenca principal se ubica el humedal y en esta se encuentra la estación Bombeo 1, que actualmente es el primer y único punto de captación del recurso hídrico para el acueducto, puesto que la mayoría de drenajes se unen y llegan a este punto. Con lo anterior, se pudo verificar, que la ubicación de esta estación es una de las más aptas para captar y aprovechar la mayor cantidad del recurso hídrico.

En los resultados del comportamiento de las precipitaciones, se analizan los registros históricos desde el año 1968 hasta el 2015 de una estación del IDEAM llamada, “Estación meteorológica Tunguavita”, ubicada aproximadamente a 4,3 km de la zona de estudio. El promedio anual de esta zona es 962,9 mm al año, con 183 días de lluvia, el valor mínimo encontrado fue de 612,7 mm al año, mientras que el valor máximo de 1525,6 mm al año; estos datos nos indican que es una zona que posee una precipitación parcialmente variable, con valores no tan altos, y en ciertos casos bajos, los cuales pueden presentar dificultades a las comunidades y actividades humanas que se encuentren allí. Analizando las precipitaciones promedio de cada mes en la *Tabla 20*, se evidencia que tienen un comportamiento bimodal a lo largo del año, con meses de mucha lluvia (abril, mayo, octubre, noviembre) y meses de sequía (enero, febrero, julio, agosto, diciembre). Posteriormente, se lleva a cabo el método racional con la intensidad de las precipitaciones, y con los Sistemas de Información Geográfica se pudo obtener el área del humedal y su pendiente, para el dato de coeficiente de escorrentía. Con los resultados de caudal máximo aprovechable se relacionó con el futuro consumo, evidenciando excedentes, estos excedentes de cada mes indican la cantidad del recurso hídrico que sobra o falta para cada mes, y asimismo utilizar estos valores para el diseño de un sistema de almacenamiento masivo o embalse.

Con los anteriores datos y la previa identificación del sistema de bombeo, se diseñaron las siguientes mejoras conforme al almacenamiento, el sistema hidráulico y el sistema energético. Para el mejoramiento de los sistemas de almacenamiento, se propone un embalse ya que la cantidad del recurso hídrico en épocas de lluvia es muy abundante, excediendo aproximadamente en 5000 m³ el consumo mensual promedio, con este valor se proyecta el embalse como un mecanismo de prevención, que almacenará el recurso hídrico para su disposición en los meses de sequía y de esa

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

manera contrarrestar el desabastecimiento por bajas precipitaciones. La ubicación del embalse se propuso en la estación *Distribución 3*, debido a que este es el punto que más conexiones tiene hacia los usuarios de la vereda, por medio de gravedad.

Posteriormente, se analizan los resultados del mejoramiento hidráulico del sistema de bombeo que arrojó el software *EPANET*, con los datos de tuberías, accesorios, bombas de presión y tanques de almacenamiento del sistema de distribución del recurso hídrico actual, con esto se realizó un análisis de las presiones, caudales y demás a los puntos principales de este. Con esto, se pudo identificar que el sistema, aunque no sea el más eficiente en consumo energético, cuenta con unas características que cumplen con las necesidades parciales de la comunidad, como caudales suficientes para abastecer a la comunidad y presiones tolerables, por lo tanto un mejoramiento del presente sistema de distribución del recurso hídrico, se basa en el mantenimiento, reparación, reemplazo de piezas viejas, y disminución de accesorios no necesarios para reducir las pérdidas por fricción y de esta manera aumentar su eficiencia.

Se propuso un sistema de celdas fotovoltaicas para proporcionar suficiente energía para el funcionamiento de las bombas del sistema de distribución del recurso hídrico. Para ello, se ordenaron y estudiaron los datos del brillo solar registrados desde el año 1979 hasta el 2017 por la “*Estación meteorológica Tunguavita*” del *IDEAM*. Con este análisis se pudo identificar que el promedio anual de horas de brillo solar es de 1586,2 y su promedio diario es de 4,3 horas al día, con este valor se diseñó y calculó el número de celdas requeridas. Gracias a este valor del brillo solar, se determinó que el uso de celdas fotovoltaicas en la región del municipio de Paipa, aunque no sea la más eficiente, se puede empezar a implementar y a hacer provecho de ella para pequeños procesos o sistemas. El valor de brillo solar de la zona de estudio es intermedio, basándose en toda Colombia, donde el máximo se encuentra en el departamento de la Guajira con 8,09 horas de brillo solar al día, mientras que el lugar con menos horas de brillo solar es al sur del departamento de Nariño, con un promedio de 1,75 horas al día. Al momento de calcular el número de celdas requeridas para este sistema, se tomó de guía para los cálculos, una celda fotovoltaica con una capacidad de 325 W y una dimensión de 2 m², debido a que estas son las celdas más comunes y utilizadas en el país actualmente. También se consideraron las diferentes ubicaciones geográficas de las bombas de presión, debido a que cada una cuenta con un rendimiento y consumo energético diferente; para la primera bomba del sistema (hidromac vvkl 40/6) ubicada en la estación *Bombeo 1*, se requieren 83 celdas fotovoltaicas, con un área de 166 m², mientras que para la segunda bomba (IHM VL-180V-

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

5.0T) ubicada en la estación *Bombeo 2*, se requieren 54 celdas y un área de 108 m^2 , para un total de 137 unidades fotovoltaicas y un área total de 274 m^2 para cubrir un 100% de la demanda energética del sistema del sistema de distribución del recurso hídrico.

Finalmente, cada mejoramiento arroja un valor estimado en COP (pesos colombianos), donde es importante resaltar las fuentes de información sobre los costos que se manejan para los materiales y servicios. Por consiguiente, cada mejoramiento cuenta con su respectiva cotización y desde allí se evalúa la viabilidad para cada uno de ellos.

Para el mejoramiento del almacenamiento, se toman en cuenta las características de los resultados de la proyección del diseño del embalse que tendría un volumen correspondiente a $6052,48\text{ m}^3$ de la cual se requiere una excavación con un valor del servicio de \$ 300.0000 pesos aproximadamente. A partir de esta información, *Geosintéticos SAS*, en una cotización, nos proporciona un valor estimado para cada material que será usado para la proyección según su cantidad, (La geomembrana \$7.973 COP y su instalación \$ 1.785 COP, lo que equivale a un total de \$9.758 COP, también se incluye el valor de cubierta de polietileno de alta intensidad (HDPE) con el mismo costo de la geomembrana). Así mismo el concreto 3000 PSI, se cotizó y se pudo observar los diferentes costos para su elaboración y mano de obra, obtenidos de la fuente de información de la organización *DataCauca* de la Secretaría de Infraestructura, el total para estos costos directos de 40 m^3 de concreto, se redondean en un valor estimado de \$453.143 COP. Por último, el costo de las tuberías, uniones, válvula y mano de obra, para la conexión entre el embalse y la estación *Distribución 3*, se obtuvieron de un catálogo de la empresa PAVCO, la suma de los costos para las 22 tuberías y la válvula es de \$1.2882.240 COP, así al revisar todos los costos para la propuesta del embalse, se evalúa por un total de \$ 75.243.432 COP.

En los costos del mejoramiento hidráulico, se propone principalmente un mantenimiento preventivo, que está destinado a garantizar el funcionamiento del sistema antes de que pueda producirse un accidente o daño por algún deterioro. Los costos asignados en esta sección no son exactos, debido a la falta de información del estado actual de tuberías, accesorios y conexiones del sistema de distribución del recurso hídrico, por lo tanto estos costos pueden variar, pero se da un valor máximo de \$ 5'000.000 COP. Se recomienda posteriormente realizar un estudio de la calidad y estado de las tuberías, accesorios y conexiones para conocer un valor más exacto para la mejora hidráulica y de igual manera del sistema entero.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Según los requerimientos para el sistema energético, el mejoramiento tiene una inversión total de \$ 161.440.000 COP, el cual se divide en tres rubros que corresponden al avalúo de la cotización hecha por la empresa *Gestión e Innovación Energética S.A.S.* Estos costos son elevados debido a que son tecnologías nuevas y que permiten una autogeneración. Se toman en cuenta las energías renovables ya que estas ayudan la conservación y preservación del ambiente y así mismo a mejorar la calidad de vida de la comunidad, no obstante se realiza una alineación con base al desarrollo sostenible en donde se consideran nuevas estrategias aplicadas a tecnologías limpias.

Para el retorno de la inversión del proyecto, se analizó el costo mensual promedio de este sistema de distribución del recurso hídrico y se tomó el costo de la inversión total, aproximadamente \$ 242.183.432 COP. Se evidencia que en 5 años y 10 meses se retornará la inversión de los mejoramientos, gracias a que el sistema energético de celdas fotovoltaicas podrá suplir el 100% de la demanda y el sistema prestara un buen servicio incluso en épocas de sequía.

13. Conclusiones

En el desarrollo de este proyecto de grado, a través de la metodología propuesta, se cumplieron los objetivos y actividades planteadas, a pesar de ser una investigación extensa, se logró plantear un mejoramiento del sistema de suministro del recurso hídrico, mediante un análisis de oferta-demanda, la identificación del sistema actual, el análisis hidrológico de la zona para el aprovechamiento del recurso hídrico, las diferentes mejoras del sistema, su costo de implementación y su retorno de inversión para comprobar su viabilidad.

Al llevar a cabo el cálculo de la oferta-demanda del recurso hídrico de la vereda el Tunal, se encontró que actualmente hay un desabastecimiento de la población, únicamente, en épocas de sequía cuando la captación del recurso hídrico es menor a 88 560 Litros al día. Esta captación del recurso hídrico está ligada a las condiciones meteorológicas, exactamente a la precipitación de la zona. Con el estudio hidrológico realizado, se pudo observar que los periodos de lluvias y de sequías en la zona tienen un comportamiento bimodal a lo largo del año, teniendo en cuenta que las épocas de sequía, donde hay un desabastecimiento en la vereda, la precipitación es mucho menor al

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

promedio mensual con un valor inferior a 80,2 mm al mes, obtenido de la *Estación Meteorológica Tinguavita* del IDEAM.

Los sistemas de información geográfica, fueron herramientas muy útiles para el estudio del territorio de este proyecto, debido a la sencillez de un acercamiento geográfico, con el propósito de un estudio y análisis de puntos principales, longitudes, altitudes, ubicaciones, entre otros. Además los análisis mediante los modelos de elevación digital, en el estudio hídrico, se hacen indispensables para identificar un aprovechamiento sostenible y tener una idea del comportamiento del recurso hídrico con sus flujos, cuencas, subcuencas y de posibles estructuras a diseñar para mejorar el sistema de distribución, con el fin de realizar una correcta planificación.

Se pudo realizar una proyección de población y tres propuestas para la mejora del sistema de distribución del recurso hídrico de un periodo de 30 años. La aplicación del método racional hidrológico fue crucial para la propuesta del embalse, dado que con el valor del caudal máximo aprovechable y el consumo promedio, se obtiene un excedente para cada mes. Se puede concluir que una mejora del almacenamiento, en este caso un embalse una alta capacidad, es la alternativa más viable para contrarrestar el desabastecimiento del recurso hídrico en esta vereda, para que en épocas de lluvia almacene el recurso y posteriormente suministrarlo en periodos de sequía.

No se pudo determinar un mejoramiento hidráulico explícito, debido a la falta de información sobre algunas características del sistema, como tuberías, accesorios y conexiones; no obstante, se propuso un mantenimiento preventivo y reemplazo de piezas obsoletas, de esta manera se llevó a cabo un mejoramiento hidráulico parcial, ya que se pudo identificar que el sistema, aunque no sea el más eficiente, funciona de acuerdo a los requerimientos actuales y futuros de la comunidad.

Al estudiar el brillo solar, se encontró que la incidencia de la radiación solar de la zona de estudio, la vereda el Tunal, es baja comparada con otras zonas del país, como el departamento de La Guajira; sin embargo se observa que con la radiación solar disponible de esta zona, es posible llevar a cabo un proyecto con celdas fotovoltaicas, y de esta manera cubrir un 100% la demanda energética de las bombas a presión del sistema, contribuyendo a la reducción de emisiones al ambiente y al fortalecimiento del estudio e implementación de las energías renovables en el país. Se

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

puede concluir que la propuesta de un sistema energético fotovoltaico es la alternativa más viable frente a la problemática de los altos costos de consumo energético para poder abastecer a la población de la vereda el Tunal.

Se puede concluir con el estudio de los costos, que es muy viable la implementación de las actuales propuestas de mejoramiento del sistema de suministro del recurso hídrico, en vista de que la inversión total será de aproximadamente 242 millones de pesos (COP), y su retorno de inversión es alrededor de 5 años y 10 meses. Con las mejoras, el sistema de distribución del recurso hídrico podrá funcionar de una manera más eficiente, supliendo un 100% la demanda energética y prestará un servicio confiable y apto, incluso en épocas de sequía, satisfaciendo las principales problemáticas expuestas, las necesidades de la comunidad y el aumento de la calidad de vida no solamente de la vereda el Tunal, sino del municipio de Paipa.

14. Recomendaciones

De acuerdo a los resultados y conclusiones de la investigación se llega a las siguientes recomendaciones:

1. Se deben buscar alternativas en cuanto a la potabilización del recurso hídrico, para que cumpla con las normas, lineamientos y necesidades de la comunidad. Estas deben ser de fácil acceso en cuanto a la operación, mantenimiento, y no ser tan complejas para no requerir mano de obra especial que pueda elevar los costos.
2. Los sistemas de almacenamiento están obsoletos, estos deben presentar un mantenimiento constante para su buen funcionamiento, e incluso ser reemplazados por nuevos y más grandes tanques.
3. Se recomienda investigar y analizar a profundidad, la implementación de un sistema de potabilización del recurso hídrico, como la electrocoagulación, para remover sólidos suspendidos y materiales sólidos indeseables, mejorando la calidad del recurso hídrico y así mismo, la calidad de vida de los usuarios de este acueducto veredal.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

4. La comunidad de la vereda realiza reuniones y capacitaciones cada 15 días para resolver asuntos relacionados con el sistema de distribución del recurso hídrico. Es pertinente hacer un programa de educación a la comunidad sobre el abastecimiento y calidad del recurso hídrico, para que la toma de decisiones sobre el acueducto veredal sean más factibles y de esta manera, mejorar la calidad de vida de los usuarios.
5. Crear una red de apoyo al emprendimiento en el cual estén involucrados el sector público y privado con el fin de ayudar a desarrollar la implementación del proyecto para poder llevarlo a cabo satisfactoriamente.
6. Continuar con investigaciones más puntuales sobre cada uno de los mejoramientos para el sistema de distribución del recurso hídrico, con el fin de no perder la trazabilidad de este proyecto y buscar satisfacer las necesidades de la comunidad del acueducto veredal el Tunal.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

15. Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Paipa - Boyacá. (2016). *Economía*. Recuperado el 5 de octubre de 2018, de <http://www.paipa-boyaca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Alcaldía de Paipa. (2016). *Misión y Visión*. Paipa, Colombia: Alcaldía de Paipa - Boyacá.
- Alcaldía de Paipa. (2016). *Organigrama Alcaldía de Paipa*. Paipa, Colombia: Alcaldía de Paipa - Boyacá.
- Alcaldía de Paipa. (2016). Secretaría de agricultura y desarrollo rural. *Misión y Objetivos*. Paipa, Boyacá, Colombia: Alcaldía de Paipa.
- Alcaldía de Paipa. (2019). *Plan Institucional de Capacitación 2019*. Paipa, Boyacá: Alcaldía de Paipa.
- Alcaldía Municipal de Paipa Boyacá. (2010). *Sistema de Documentación e Información Municipal*. (A. M. Boyacá, Editor) Recuperado el 15 de Agosto de 2018, de Sistema de Documentación e Información Municipal: http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/P/paipa_-_boyaca_-_pot_-_2000_-_2010/paipa_-_boyaca_-_pot_-_2000_-_2010.asp
- Alternative Energy Tutorials. (2010). *Alternative Energy Tutorials - How to size your Solar Array*. Recuperado el 14 de marzo de 2019, de Alternative Energy Tutorials - How to size your Solar Array: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/five-steps-on-how-to-size-your-solar-array.html>
- André, F. J., Castro, L. M., & Cerdá, E. (2009). Las energías renovables en el ámbito internacional. *Revista ICE Información Comercial Española, 01*, 11-36.
- Arija, D. G. (2010). *Prototipo de Sistema de Bombeo Fotovoltaico para Proyectos de Cooperación al Desarrollo con Tecnologías Apropriadas*. Proyecto de Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Madrid, España.
- Ballén, J. A., Galarza, M. Á., & Ortiz, R. O. (7 de Junio de 2007). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*. João Pessoa: VI SEREA.
- Beltrán Niño, A. L., & Abril Galindo, J. J. (2014). *Análisis de la demanda y la red de distribución de agua en el municipio de Aracataca, Colombia*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Civil.
- Bernate Suárez, N. (2017). *Maestría en Ingeniería Civil, Inventario de Fuentes de Abastecimiento de los Sistemas de Acueducto de las Cabeceras Municipales de Colombia*. Escuela

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito; Maestría en Ingeniería Civil.

Boyacá Cultural; Buitrago Víctor. (2018). *Boyacá Cultural*. Recuperado el 5 de octubre de 2018, de Municipio de Paipa: http://www.boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=833:motavita&catid=10:municipios

Burgos, V., & Salcedo, A. (2014). *Modelos digitales de elevación: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información*. Buenos Aires, Argentina: Conference: IFRH, At Ezeiza.

Camacho, S. J., & Bello, W. Y. (2016). *Propuesta de mejoramiento técnico operativo al acueducto veredal Servimazatas vereda Riofrio occidental Tabio, Cundinamarca*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, facultad de medio ambiente y recursos naturales, tecnología en gestión ambiental y servicios públicos.

Camaño, G., & Dasso, C. (2003). *Lluvias de Diseño: Conceptos, Técnicas y Experiencias*. Córdoba, Argentina: Editorial Universitas.

Campetella, C., Cerne, B., & Salio, P. (2011). Capítulo 9 Estación meteorológica. En C. Campetella, B. Cerne, & P. Salio, *Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología). Estación meteorológica*. (págs. 8-9). Buenos Aires, Argentina: Saavedra 789.

Castellano. (2014). *Radiaciones*. Recuperado el 24 de septiembre de 2018, de Universidad de Valencia: <https://www.uv.es/DSSQA/documentacion/castellano/PDF/14%20RADIACIONES.pdf>

Castells, X. E. (2012). Definición y expectativas de las diferentes fuentes de energía renovables. En X. E. Castells, *Energías Renovables* (pág. 596). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.

Chapman, D., Thornton, A. S., & Rast, W. (1996). *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition*. ISBN 0 419 21590 5 (HB) 0 419 21600 6 (PB): UNESCO/WHO/UNEP.

Coastal Solar. (2017). *Coastal Solar - Energy Solutions; How Many Solar Panels Will I Need?* Recuperado el 30 de marzo de 2019, de How Many Solar Panels Will I Need?: <https://coastalsolar.com/many-solar-panels-will-need/>

Congreso de la República de Colombia. (2014). LEY 1715 DE 2014 - Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. *LEY 1715 DE 2014 - Por medio de la cual se regula la integración de las*

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Bogotá D.C., Colombia: Congreso de la República de Colombia.

Consejo municipal de Paipa, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2010). Plan de ordenamiento del municipio de Paipa, diagnóstico social – Servicios Públicos- Sistema de Acueducto Rural. *Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Paipa (2000-2010)*, 45-169.

Constitución política de Colombia. (1991). Constitución política de Colombia - Artículo 79; Artículo 80. *Constitución política de Colombia - Artículo 79; Artículo 80.* Bogotá D.C., Colombia: 2da Ed.Legis.

Correa, A. (2014). *Diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de ahorro de agua potable en la universidad libre de Colombia, sede bosque popular, bloque p y cafetería.* Bogotá D.C. Colombia: Universidad Libre De Colombia.

Cortés, H., & Peña, J. (2016). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. *Rev. esc.adm.neg. No. 78*, 40-55.

DANE. (1993). *Censo Nacional de Población y Vivienda del año 1993.* Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE.

DANE. (2005). *Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2005.* Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE.

EBSA. (2017). Empresa de energía de Boyacá S.A. E.S.P. *Misión, visión y objeto social.* Tunja, Boyacá, Colombia: Empresa de energía de Boyacá S.A. E.S.P.

EcuRed. (2018). *Sistema energético contemporáneo.* Obtenido de https://www.ecured.cu/Sistema_energ%C3%A9tico_contempor%C3%A1neo#Caracter.C3.ADsticas_del_sistema_energ.C3%A9tico_contempor.C3%A1neo.

El Espectador, Redacción Vivir. (15 de Marzo de 2019). Otorgan la primera licencia para generación de energía fotovoltaica en Colombia. *El Espectador.* Obtenido de El Espectador.

Empresa de Acueducto de Bogotá. (2009). *Norma NS-085, Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado.* Bogotá D.C. Colombia: Subcomité de Diseño - Alcantarillado, Empresa de Acueducto de Bogotá.

EnergEIA, Universidad EIA. (2018). *Atlas Solar.* Recuperado el 2 de abril de 2019, de Atlas Solar: <https://www.eia.edu.co/atlas-solar>

ERENOVABLE. (23 de Marzo de 2018). *Energía solar fotovoltaica - qué es, cómo se genera y usos.* Recuperado el 22 de septiembre de 2018, de Erenovable: <https://erenovable.com/energia-solar-fotovoltaica/>

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

- ETESA, Hidromet. (2009). *Duración media de brillo solar u horas de sol*. Recuperado el 14 de marzo de 2019, de Duración media de brillo solar u horas de sol: http://www.hidromet.com.pa/brillo_solar.php
- FAO. (1999). *FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable - La Ordenación Pesquera - 4*. Recuperado el 21 de septiembre de 2018, de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: <http://www.fao.org/docrep/003/w4230s/w4230s00.htm#Contents>
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico*. Edición Digital: Estudio Fernandez-Dorca.
- Felicísimo, A. (1994). *Modelos Digitales del Terreno*. Oviedo, España: Pentalfa.
- Forero Buitrago, G. A. (2017). *Artículo sobre el dimensionamiento de canales y embalses para conducir y almacenar agua lluvia para abastecer la población de Altos de Cazucá (Soacha-Colombia) utilizando D.E.M.* Bogotá D.C.: Servicio Nacional de Aprendizaje, CTCM SENA, Universidad El Bosque.
- Fouquet, R. (2009). A brief history of energy. (J. E. (eds.), Ed.) *International Handbook of the Economics of Energy*.
- García, J. (2004). *CAPITULO 2: PRECIPITACIÓN*. Recuperado el septiembre 19 de 2018, de Universidad de Piura: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_136_147_89_1250.pdf
- Geosintéticos SAS. (2019). *Cotización Geomembrana impermeable y cubierta de polietileno de alta densidad*. Bogotá D.C: Geosintéticos SAS.
- Gestión e Innovación Energética S.A.S. (2019). *Cotización de sistema energético de celdas fotovoltaicas*. Bogotá D.C.: Gestión e Innovación Energética S.A.S.
- Gobernación de Boyacá. (2017). *Misión y Visión. Objetivos de la Gobernación de Boyacá*. Boyacá, Colombia: Gobernación de Boyacá.
- Gómez, J., Murcia, J. D., & Cabeza, I. (2017). *La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas*. Universidad Santo Tom, Facultad de Ingeniería Mecánica. Bogotá D.C: Universidad Santo Tom.
- Herrera Jorge; Alcaldía de Paipa. (2008). *Plan de desarrollo de Paipa 2008-2011*. Paipa, Colombia: iNVENTO, transformando ideas.
- Hidromac Ltda. (2008). *Folleto bombas a presión multietapa*. Barranquilla: Hidromac Ltda.
- Hoyos, F. (2018). Energías renovables: ¿para dónde vamos? *Asuntos:Legales*, 2-4.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

- IDEAM. (2012). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*. Bogotá D.C. Colombia: IDEAM.
- IDEAM. (2014). *Portafolio de servicios IDEAM*. Recuperado el 7 de noviembre de 2018, de Portafolio de servicios IDEAM: http://www.ideam.gov.co/documents/24189/359040/Portafolio_Servicios_IDEAM+%281%29.pdf/da8a0bab-c29d-4588-9a67-3b79c74ca725
- IDEAM. (2018). Base de datos: Estación meteorológica Tunguavita. *Base de datos: Estación meteorológica Tunguavita*. (M. y. Instituto de Hidrología, Ed.) Bogotá D.C, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Ignacio Gómez IHM S.A. (2007). *Catálogo Motobombas multietapas, Bombas Multietapas Hierro*. Colombia: Ignacio Gómez IHM S.A.
- López Rivera, M. A., & Páez Alarcón, L. F. (2017). *Diseño y Dimensionamiento de un Generador Solar Fotovoltaico Y sus Componentes, para la Producción de Energía Eléctrica presentando como zona experimental el Municipio de Tibasosa Boyacá*. Tunja, Boyacá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Recuperado el 17 de marzo de 2019, de Gestión Integral del Recurso Hídrico: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B: Sistemas de Acueducto*. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 de 2017 - Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. *Resolución 0330 de 2017 - Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009*. Bogotá D.C., Colombia: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Moreno, B., & Ximénez, C. (1996). *Evaluación de la Calidad de Vida*. Madrid, España: Gualberto Buena Casal, y col (Eds).

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

- NASA, USGS. (2000). *EarthExplorer - FGDC Metadata - SRTM 30M Global - SRTM Version 3 - SRTM1N05W074V3*. Recuperado el 7 de noviembre de 2018, de EarthExplorer - FGDC Metadata - SRTM 30M Global - SRTM Version 3 - SRTM1N05W074V3: <https://earthexplorer.usgs.gov/metadata/8360/SRTM1N05W074V3/>
- Oviedo, L., Badii, Guillen, & Lugo, O. (2015). Historia y Uso de Energías Renovables. (I. J. Conscience, Ed.) *International Journal of Good Conscience, Universidad Autónoma de Nuevo León.*, 10, (1)1-18.
- PAVCO. (2018). *Lista de precios Octubre 2018 (Catálogo de productos)*. Bogotá D.C.: PAVCO.
- Peña, J. (2010). *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio*. Alicante, España: Editorial Club Universitario.
- Perlin, J. (2002). Chapter 11: Father Verspieren Preaches the Solar Gospel. En J. Perlin, *From Space to Earth: The Story of Solar Electricity* (págs. 106-108). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Red EuroSur. (2002). *Los Recursos Hídricos*. Recuperado el 19 de septiembre de 2018, de Red EuroSur: http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif72.htm
- REN21. (2011). *Renewable energy policy network for the 21st century*. (R. e. century, Productor) Recuperado el 14 de septiembre de 2018, de Renewable energy policy network for the 21st century: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2011_FINAL.pdf
- Ríos, E., González, I., Cotler, H., Pineda, R., & Galindo, A. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. (S. d. Naturales, Ed.) México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Rodríguez, H. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. (R. d. Andes, Ed.) *Revista de ingeniería Universidad de los Andes*, 28, 83-89.
- Rodríguez, J. C. (2008). *Planificación territorial y urbanismo. Pasado, presente y futuro del planeamiento urbanístico*. Sevilla, España: Editorial Universidad de Sevilla.
- Salgado, D. (2015). *Desarrollo sustentable en el mundo*. Bogotá D.C. Colombia: Ecovida, Calameo.
- Salvador, I., Realp, E., Basteiro, L., Oliete, S., & Pérez, A. (2005). *Abastecimiento de agua y saneamiento. Tecnología para el Desarrollo Humano y acceso a los servicios básicos*. Barcelona, España: Universidad Abierta de Cataluña.
- UACJ, Instituto de Ciencias Biomédicas. (2013). *Hojas técnicas de divulgación: Humedales*. Ciudad Juárez, México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA EL TUNAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ.

UNGRD. (2017). CORPOBOYACÁ. *Corporaciones autónomas*. Tunja, Boyacá, Colombia:

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá D.C. Colombia: La Imprenta Editores S.A.

Universidad de Boyacá. (2018). *Acerca de la Universidad*. Recuperado el 18 de octubre de 2018, de Historia de la Universidad: <https://www.uniboyaca.edu.co/es>

Universidad Nacional del Santa. (2008). *Estructuras Hidráulicas*. Nuevo Chimbote, Perú: Editorial Universidad Nacional del Santa.