

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO  
HUMANO DEL CORREGIMIENTO EL CEDRO PERTENECIENTE AL MUNICIPIO  
DEL BANCO, MAGDALENA.**

**DIMAS ANDRÉS MEDINA PADILLA  
SERGIO ANDRÉS GONZALEZ PEÑALOZA**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR, CESAR  
2021**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO  
HUMANO DEL CORREGIMIENTO EL CEDRO PERTENECIENTE AL MUNICIPIO  
DEL BANCO, MAGDALENA.**

**DIMAS ANDRÉS MEDINA PADILLA  
SERGIO ANDRÉS GONZALEZ PEÑALOZA**

Trabajo de grado para optar por el título de  
Ingeniero Ambiental y Sanitario

**Director:**

Ing. Guillermo de la Cruz

**Co-Directora:**

Ing. Karina Torres Cervera

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR, CESAR  
2021**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

## **DEDICATORIA**

La realización y culminación de este proyecto es dedicado primeramente a Dios quién permitió el proceso de formación para adquirir todos los conocimientos necesarios, a mi familia por ser un pilar durante todo este proceso, Mi madre Ana María, Mi Abuela Tulia y mi sobrina Nancy Isabel.

Dimas Medina

## **DEDICATORIA**

Este logro se lo dedico primeramente a Dios por darme la sabiduría, salud y fortaleza para poder culminar exitosamente mi carrera; darle gracias a mis padres y a mi hermana, quienes son mi motor de vida y sin su apoyo esto no hubiese sido posible.

A mis directores, la ingeniera Karina Torres y el ingeniero Jorge De La Cruz, por su acompañamiento y por esa confianza que depositaron en nosotros para el desarrollo dentro de nuestra vida universitaria. Por último, a mi compañero de tesis, a quién pido a Dios que también bendiga su camino en las nuevas experiencias que vienen por delante.

Sergio González.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN.....	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
2. JUSTIFICACIÓN .....	18
3. OBJETIVOS.....	20
3.1.    OBJETIVO GENERAL .....	20
3.2.    OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
4. MARCO REFERENCIAL.....	21
4.1.    ANTECEDENTES.....	21
4.2.    MARCO TEÓRICO .....	24
4.2.1. Consumo .....	24
4.2.2. Función de las redes de transporte y distribución .....	26
4.2.3. Calidad del agua en todo el proceso .....	27
4.2.4. Tratamiento del agua superficial .....	28
4.2.4.3. <i>Coagulación – Floculación</i> .....	30
4.2.4.4. <i>Filtración</i> .....	30
4.2.5. Fuentes de abastecimiento de agua .....	31
4.2.6. Sistemas rurales de abastecimiento de agua.....	32
Para las zonas rurales los sistemas de abastecimiento de agua pueden ser de dos tipos: Convencionales y no convencionales (Agüero et al.,2009). .....	32
4.3.    MARCO CONCEPTUAL .....	35
4.4.    MARCO CONTEXTUAL.....	37
4.4.1. Descripción General.....	37
4.5.    MARCO LEGAL .....	40
5. MARCO METODOLÓGICO .....	44
5.1.    LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....	44
5.2.    TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	44
5.3.    POBLACIÓN DE ESTUDIO .....	44
5.4.    MUESTRA POBLACIONAL .....	44
5.5.    DESARROLLO METODOLÓGICO .....	46

5.5.1.	Etapa 1. Evaluar parámetros físico-químicos del agua teniendo en cuenta la resolución 2115 de 2007.....	46
5.5.2.	Etapa 2. Diagnóstico operacional del sistema de abastecimiento de agua potable del corregimiento de El Cedro.....	47
	<i>Actividad 3.</i> Determinar Índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano (IRCA). .....	48
5.1.	PROCEDIMIENTO.....	52
5.1.1.	Primera etapa: Evaluación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua para el corregimiento del Cedro, magdalena tomando como referencia la resolución 2115 de 2007. ....	52
	El IRCA por muestra .....	58
	El IRCA mensual:.....	58
5.1.2.	Segunda etapa: Diagnóstico de la situación actual de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano del corregimiento El Cedro. ....	61
5.1.3.	Tercera etapa: Planteamiento de alternativas y selección de aquellas que se ajusten a los requerimientos del corregimiento El Cedro perteneciente al Banco, Magdalena.....	61
5.1.4.	Cuarta etapa: Elaboración de los diseños de las alternativas seleccionadas. ....	62
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	63
6.1.	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN CAMPO .....	63
6.2.	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOSQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA TOMANDO COMO REFERENCIA LA RESOLUCIÓN 2115 DE 2007.....	79
6.2.1.	DETERMINACIÓN DE LOS INDICES DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO (IRCA) .....	82
6.3.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL CORREGIMIENTO DE EL CEDRO.....	86
6.3.1.	FUENTE DE ABASTECIMIENTO. ....	86
6.3.2.	SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA.....	86
6.4.	COMPONENTES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EXISTENTE EN EL CORREGIMIENTO.....	88
6.4.1.	FUENTE DE ABASTECIMIENTO. ....	90
6.4.2.	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA. ....	90

6.4.3.	Sistema de energía para la bomba. ....	91
6.4.4.	Sistema de almacenamiento de agua. ....	92
6.5.	ETAPA DE DISEÑO.....	92
6.5.1.	PROYECCION DE LA POBLACION .....	92
6.5.2.	NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA .....	96
6.5.3.	Periodo de Diseño para componentes del sistema de abastecimiento. 96	
6.5.4.	Dotación Neta y Bruta. ....	97
6.5.5.	Demanda de agua.....	98
6.5.5.1.	Caudal medio diario (Qmd) .....	98
6.5.5.2.	Caudal Máximo Diario (QMD) .....	99
6.5.5.3.	Caudal Máximo Horario (QMH) .....	99
6.5.6.	Caudales de Diseño para cada Componente del Sistema de Abastecimiento de Agua. ....	100
6.5.6.1.	Captación de Agua Subterránea. ....	100
6.5.6.2.	Caudal de la Bomba a Instalar en el Pozo. ....	100
6.5.6.3.	Caudal de Entrada al Tanque de Almacenamiento. ....	101
6.5.7.	Diseño del Tanque de Almacenamiento Elevado. ....	105
6.5.8.	Diseño de la Línea de Aducción o Impulsión (Captación - PTAP) ....	107
6.5.8.1.	Caudal de Diseño (Q). ....	107
6.5.8.2.	Diámetro de la Tubería (D).....	107
6.5.8.3.	Pérdidas de carga en la línea de impulsión o aducción $\Delta h_i$ .....	110
6.5.8.4.	Cálculo del fenómeno de ariete.....	116
6.5.8.5.	Cálculo de presión en la tubería de aducción.....	119
6.5.8.6.	Cálculo de la potencia de la bomba (Pi) .....	120
6.5.9.	Diseño de la Línea de Conducción “Planta de Tratamiento – Tanque de Almacenamiento”. ....	122
6.5.9.1.	Caudal de Diseño (Q). ....	122
6.5.9.2.	Diámetro de la Tubería (D).....	122
6.5.9.4.	Cálculo del fenómeno de ariete.....	128
6.5.9.5.	Calculo de presión en la tubería de aducción.....	131

6.5.10.	Diseño línea de conducción “Tanque de Almacenamiento – Punto de abastecimiento comunitario” .....	132
6.5.10.1.	Diámetro de la Tubería (D). .....	132
6.5.10.2.	Cálculo del fenómeno de ariete .....	137
6.5.10.3.	Cálculo de presión en la tubería de aducción. ....	140
6.5.11.	Simulación hidráulica en el software EPANET de la red de distribución. ....	141
7.	CONCLUSIONES .....	151
8.	RECOMENDACIONES .....	152
9.	Bibliografía .....	153
10.	ANEXOS .....	155

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Marco Normativo .....	40
<b>Tabla 2.</b> Características físicas del agua para consumo humano .....	46
<b>Tabla 3.</b> Características químicas del agua para consumo humano .....	46
<b>Tabla 4.</b> Características microbiológicas .....	47
<b>Tabla 5.</b> Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse .....	51
<b>Tabla 6.</b> Puntos de muestreo .....	53
<b>Tabla 7.</b> Parámetros físicos del agua .....	55
<b>Tabla 8.</b> Parámetros químicos del agua .....	56
<b>Tabla 9.</b> Parámetros microbiológicos del agua .....	56
<b>Tabla 10.</b> Puntajes de riesgo .....	57
<b>Tabla 11.</b> Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA y acciones que deben adelantarse .....	59
<b>Tabla 12.</b> Tenencia o propiedad de vivienda (El Cedro) .....	63
<b>Tabla 13.</b> Tipo de vivienda .....	64
<b>Tabla 14.</b> Tipo de estudio (El Cedro) .....	65
<b>Tabla 15.</b> Actividad económica (El Cedro) .....	66
<b>Tabla 16.</b> Número de personas que viven en la vivienda .....	68
<b>Tabla 17.</b> Rango de personas por alternativa .....	68
<b>Tabla 18.</b> Abastecimiento de agua (Cedro) .....	69
<b>Tabla 19.</b> Uso que se le da al agua .....	70
<b>Tabla 20.</b> Uso de otra fuente de abastecimiento de agua para consumo .....	71
<b>Tabla 21.</b> Servicio higiénico o escusado .....	72
<b>Tabla 22.</b> Calificación del abastecimiento de agua .....	73
<b>Tabla 23.</b> Continuidad del servicio de abastecimiento de agua .....	74
<b>Tabla 24.</b> Pago de tarifa por el servicio de abastecimiento de agua (El Cedro) .....	75
<b>Tabla 25.</b> Mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable .....	76
<b>Tabla 26.</b> Actitud de colaborar en la mejora (El Cedro) .....	77
<b>Tabla 27.</b> Resultados análisis de laboratorio .....	80
<b>Tabla 28.</b> Puntaje de Riesgo M-1 .....	82
<b>Tabla 29.</b> Puntaje de Riesgo M-2 .....	83
<b>Tabla 30.</b> Puntaje de Riesgo M-3 .....	84
<b>Tabla 31.</b> Puntaje de Riesgo M-4 .....	85
<b>Tabla 32.</b> Cálculo Tasa de Crecimiento según censos realizados por el DANE para El Banco, Magdalena en la zona rural .....	95
<b>Tabla 33.</b> Población proyectada a 25 años .....	95
<b>Tabla 34.</b> Nivel de complejidad según población y actividad económica .....	96
<b>Tabla 35.</b> Dotación neta según altura promedio sobre el nivel del mar de la zona .....	97
<b>Tabla 36.</b> Caudales de diseño para cada componente .....	101

<b>Tabla 37.</b> CÁLCULO DE LA POBLACIÓN, DOTACIONES Y DEMANDAS AL HORIZONTE DEL PROYECTO.....	103
<b>Tabla 38.</b> Capacidad de diseño de los componentes del sistema de abastecimiento .....	104
<b>Tabla 39.</b> Valores de viscosidad y densidad según la temperatura del agua.....	112
<b>Tabla 40.</b> Coeficientes de pérdidas menores “Captación – PTAT” .....	114
<b>Tabla 41.</b> Coeficiente K y C según Mendiluce .....	118
<b>Tabla 42.</b> Coeficientes de pérdidas menores “PTAT – Tanque alm.”.....	127
<b>Tabla 43.</b> Coeficientes de pérdidas menores “Aducción – PTAT”.....	136
<b>Tabla 44.</b> Parámetros de diseño para la modelación de la red de distribución. ..	144
<b>Tabla 45.</b> Información de los nodos que conforman la red propuesta.....	145
<b>Tabla 46.</b> Información tuberías que conforman la red propuesta. ....	146
<b>Tabla 47.</b> Especificaciones de la bomba .....	159

### **LISTADO DE FIGURAS.**

<b>Figura 1.</b> Tenencia o propiedad de vivienda .....	64
<b>Figura 2.</b> Tipo de vivienda (El Cedro).....	65
<b>Figura 3.</b> Tipo de Estudio .....	66
<b>Figura 4.</b> Actividad Económica.....	67
<b>Figura 5.</b> Número de personas que viven en la vivienda (El Cedro).....	68
<b>Figura 6.</b> Abastecimiento de agua en su vivienda .....	70
<b>Figura 7.</b> Uso del agua en su vivienda .....	71
<b>Figura 8.</b> Fuente de abastecimiento .....	72
<b>Figura 9.</b> Servicio higiénico o escusado (El Cedro) .....	73
<b>Figura 10.</b> Servicio de abastecimiento de Agua Potable .....	74
<b>Figura 11.</b> Servicio higiénico o escusado .....	75
<b>Figura 12.</b> Tarifa del servicio de agua potable.....	76
<b>Figura 13.</b> Mejoramiento del servicio.....	77
<b>Figura 14.</b> Disposición para mejorar el servicio.....	78
<b>Figura 15.</b> Componentes obra de captación presente en la zona.....	89
<b>Figura 16.</b> Censo población rural según DANE para municipio de El Banco al año 1993. ....	94
<b>Figura 17.</b> Censo población rural según DANE para el municipio de El Banco al año 2005 .....	94
<b>Figura 18.</b> Censo población rural según DANE para el municipio de El Banco al año 2018 .....	95
<b>Figura 19.</b> Vista General red de distribución propuesta.....	147
<b>Figura 20.</b> Vista de presiones y velocidades en las tuberías, nodos (1) .....	147
<b>Figura 21.</b> Vista de presiones y velocidades en las tuberías, nodos (1). ....	149
<b>Figura 22.</b> Vista de caudales y nodos. ....	150

<b>Figura 23.</b> Visita a la obra de captación. ....	162
<b>Figura 24.</b> Charla con la comunidad.....	163
<b>Figura 25.</b> Charla con el encargado de la obra de captación. ....	164
<b>Figura 26.</b> Interruptor de la bomba presente en la zona.....	165
<b>Figura 27.</b> Tanque Almacenamiento del sistema presente en la zona.....	166

### **LISTADO DE ILUSTRACIONES**

<b>Ilustración 1.</b> Magdalena, Colombia .....	37
<b>Ilustración 2.</b> Municipio de El Banco, Magdalena .....	38
<b>Ilustración 3.</b> Corregimiento de El Cedro.....	38
<b>Ilustración 4.</b> Distancia entre el municipio de El Banco y el correimiento de El Cedro.....	39

### **LISTA DE ANEXOS.**

<b>ANEXO 1.</b> Formato encuesta .....	155
<b>ANEXO 2.</b> Especificaciones de la bomba seleccionada .....	159
<b>ANEXO 3.</b> VISITA DE CAMPO.....	162

## RESUMEN

El presente estudio apunta a la realización, evaluación y diseño de los sistemas de abastecimiento de agua para la Comunidad de El Cedro, corregimiento de El Banco, Magdalena. Con lo anteriormente mencionado, se busca establecer una solución a la situación actual que padece la comunidad del cedro magdalena, la cual carece de recursos y prestación de servicios de agua potable. Para ello, se llevó a cabo una serie de actividades entre las que están la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, el diagnóstico de la situación actual de los sistemas, el planteamiento y selección de las alternativas que más se ajusten a las necesidades de cada sistema y finalmente se diseñó la optimización de los sistemas, y así poder abordar el objetivo planteado.

Entre Los resultados más significativos se puede describir el incumplimiento de estos sistemas abastecimiento con la resolución 2115 de 2007 en relación a los parámetros evaluados; el diagnóstico refleja las condiciones precarias de los componentes de los sistemas de abastecimiento, los cuales requieren obras de adecuación y mantenimiento. En relación a las alternativas seleccionadas y posteriores diseños se concluye que se ajustan a las necesidades detectadas en las poblaciones y aportan al mejoramiento de la calidad de vida.

***Palabras claves:*** Sistema de Abastecimiento, Optimización, Agua Potable, Diseño.

## **ABSTRACT**

This study aims at the realization, evaluation and design of the water supply systems for the Community of the El Cedro, corregimiento of Banco Magdalena. With the aforementioned, it seeks to establish a solution to the current situation suffered by the community of Cedar Magdalena, which lacks resources and provision of drinking water services. To do this, a series of activities was carried out, among which are the evaluation of the physicochemical and microbiological parameters, the diagnosis of the current situation of the systems, the approach and selection of the alternatives that best suit the needs of each system and finally the optimization of the systems was designed, and thus be able to address the proposed objective.

Among the most significant results it is possible to describe the non-compliance of these supply systems with resolution 2115 of 2007 in relation to the evaluated parameters; The diagnosis reflects the precarious conditions of the components of the supply systems, which require adaptation and maintenance works. In relation to the selected alternatives and subsequent designs, it is concluded that they adjust to the needs detected in the populations and contribute to the improvement of the quality of life.

***Keywords:*** *Supply System, Optimization, Drinking Water, Design.*

## INTRODUCCIÓN

El agua es de los recursos que ha sido de vital importancia desde las primeras civilizaciones, pues el ser humano se ha visto en la tarea de satisfacer muchas de sus necesidades a través del consumo de esta, además es uno de los factores que puede afectar en la salud de las personas, ya que, puede transmitir agentes infecciosos causantes de enfermedades. Por este motivo al transcurrir los años, el hombre ha innovado la forma de quitar o eliminar cualquier impureza que el agua pueda contener y que impida su consumo, esto lo logra mediante la inclusión de tecnologías y diferentes procedimientos que hacen que esta se vuelva apta para el consumo humano.

El acceso al agua potable, asegura y mejora la calidad de vida de las personas ya que, apunta a la protección de la salud del consumidor; Pero este es un derecho que no todo el mundo tiene, pues a pesar de que es considerado un servicio público domiciliario y que debe proveerse de manera adecuada y continua a las comunidades, En Colombia, el principal esfuerzo para la gestión de los recursos hídricos se ha hecho a nivel institucional y normativo; es por eso, que en los últimos años ha evidenciado una intensa dinámica institucional, a través de la cual se han implementado mecanismos de gobierno del agua pero con diferentes conceptos y opiniones en sus fundamentos conceptuales y metodológicos; razón por la cual se dificulta abordar el tema de administración del recurso.

El siguiente trabajo busca dar a conocer la situación del sistema de abastecimiento con el que cuenta el corregimiento del Cedro; Así mismo, se busca plantear una

mejoría al sistema para que, a futuro, esta población pueda utilizar el agua no solamente para cuestiones agropecuarias, sino que pueda ser apta para el consumo humano.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad, el servicio de agua potable en el municipio del Cedro Magdalena no se presta de manera prudente y continua debido a la poca capacidad instalada en las redes de acueducto, a esto se le suma la escasez de recursos que pudiesen ser invertidos en la ampliación de estas redes y el debido mantenimiento de las mismas.

Pese al intento realizado por la administración anterior de optimizar la red de acueducto y su construcción, se han venido presentando una serie de problemas que han dificultado la realización de estos proyectos, entre esos, la resistencia de la comunidad del cedro magdalena con respecto a las alternativas para implementar las redes, debido a que, consideran que la mejor posibilidad es traer agua superficial, pero el tiempo ha demostrado que esta no es la mejor opción debido a las condiciones del corregimiento y las variaciones climáticas, también a la escasez de recursos y la falta de compromiso por parte de la principal autoridad del Cedro Magdalena.

Dicho lo anterior, formulamos la siguiente pregunta problema ¿Es posible crear sistemas de abastecimiento de agua en la comunidad del cedro magdalena que resulte apta para el consumo humano, teniendo en cuenta la poca capacidad de instalación en las redes de acueducto de este municipio?

## 2. JUSTIFICACIÓN

Enfocándonos en la importancia del agua, citamos la siguiente frase: “Adecuada para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal”. En la cual se sobre entiende que el agua debe estar libre de organismos patógenos, sustancias químicas, impurezas y cualquier tipo de contaminación que cause problemas a la salud humana (Organización Panamericana de la Salud, 2010). Los problemas que se presentan actualmente en la comunidad del Cedro Magdalena así como en cualquier otra población rural en relación a uno de los servicios básicos como lo es el agua potable, es una problemática que amerita gestión para mejorar las condiciones de vida de las personas ya que como individuos de una sociedad, se tiene derecho fundamental al agua que a su vez es definido de acuerdo a lo establecido por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, como “el derecho de todos de disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal o doméstico”.

En este orden de ideas, todas las personas deben tener acceso viable al servicio de acueducto en condiciones de cantidad y calidad suficiente, como también al estado le corresponde organizar, dirigir, reglamentar y garantizar su prestación de conformidad con los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad (Corte Constitucional de Colombia, 2011).

La problemática y las responsabilidades que preocupan en cuanto al derecho humano al agua, garantizará una mejor calidad de vida para la población. Esto se realizará por medio de la evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua

para consumo humano de la comunidad del cedro, teniendo en cuenta los parámetros físico, químicos y microbiológicos establecidos en la resolución 2115 del 22 de junio de 2007, parámetros que permitirán calcular el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) y posteriormente plantear las recomendaciones pertinentes para el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano de los pobladores de este corregimiento.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar el sistema de abastecimiento de agua para consumo humano del corregimiento de El Cedro perteneciente al municipio de El Banco, Magdalena.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua conforme a lo establecido en la resolución 2115 de 2007.
- Realizar el diagnóstico operacional del sistema de abastecimiento de agua del corregimiento de El Cedro.
- Plantear alternativas y seleccionar aquellas que se ajusten a las necesidades de la población.
- Formular el sistema de abastecimiento de agua potable a partir de las alternativas seleccionadas.

## **4. MARCO REFERENCIAL**

### **4.1. ANTECEDENTES**

Para la selección de los antecedentes, tuvimos en cuenta estudios que pueden aportar información relevante, asimismo, las metodologías que en estos usaron, ya que nos son de gran ayuda para el óptimo desarrollo de este proyecto.

Brousett-Minaya, M., Chambi Rodríguez, A., Mollocondo Turpo, M., Aguilar Atamari, L., & Lujano Laura, E. (2018). Realizaron la evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua para consumo humano en una población de la ciudad de Puno en Perú, como primera medida llevaron a cabo una evaluación in-situ con el propósito de determinar si las fuentes cercanas y las condiciones higiénicas de la zona afectan la calidad del agua o pueden considerarse factores de contaminación para la fuente. Tomaron las muestras directamente de los reservorios principales de agua superficial y subterránea; Posteriormente a las muestras se les realizó el debido análisis de laboratorio (Los parámetros evaluados fueron: pH, conductividad, turbidez, dureza, sólidos disueltos, sulfatos, cloruros y coliformes totales; asimismo 23 metales recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS)). Como resultado de los análisis encontraron que existe contaminación en ambas fuentes y que no cumplen con las condiciones microbiológicas, por lo que recomiendan implementar un programa de monitoreo para las fuentes de abastecimiento y distribución. Cabe aclarar que tendremos en cuenta solamente los resultados de los parámetros analizados para el agua subterránea ya que es el que va acorde con nuestra investigación.

Anduro Jordan, J. A. (2017). Realizó el Diagnóstico de la calidad sanitaria del agua de pozo en comunidades del sur de Sonora, México. Este proyecto se enfocó en determinar el grado de contaminación por bacterias mesofílicas aerobias, las coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), *Escherichia coli* (*E. coli*) y *Salmonella* spp. Se llevó a cabo a partir de la selección estratégica, de 10 comunidades rurales de la zona sur de Sonora, el criterio de selección se basó en

la influencia de la cuenca del río Yaqui sobre el pozo con el que se abastecen de agua. Se tomaron las muestras directamente del grifo del pozo. 200 ml de la muestra fueron colectados en frascos de vidrio estériles y mantenidos en refrigeración entre 4 y 10 °C; los ensayos microbiológicos fueron realizados en un tiempo máximo de 6 horas a partir de la toma de muestra. Se determinó cloro residual in situ mediante un kit de prueba para pH y cloro. Ya para las pruebas de laboratorio determinaron la cantidad total de bacterias mesofílicas aerobias (BMA), Cloriformes Totales (CT), Cloriformes fecales (CF), *Escherichia Coli* y *Salmonella* spp. mediante métodos como el vaciado por placa, Tubos de fermentación múltiple del número más probable, entre otros. Los resultados de los análisis microbianos para el indicador BMA, el 21.7% de las muestras excedieron los criterios establecidos para México. El 50.9% de las muestras presentaron incidencia del grupo CT, mientras que el 39.6% tuvo presencia de CF, pero en la investigación resaltan que no hubo presencia de cloro residual, ni de la bacteria *Salmonella* spp.

Vargas Fiallo, L. Y., & Caicedo Baron, H. Y. (2011), realizan el análisis fisicoquímico y microbiológico en aguas subterráneas del corregimiento de San Miguel del Tigre en Yondó, Antioquia. El trabajo comprendió tres líneas base: su primera línea de análisis se basó en la documentación e indagación sobre la reglamentación del agua potable, la segunda línea de estudio hizo referencia a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que obtuvieron del resultado de los análisis de laboratorio realizados a las muestras recolectadas, y la tercera línea basada en las consecuencias y afectaciones a la salud humana que pueden transmitirse por el agua contaminada. Los resultados muestran valores de fosfatos que van entre 0,54 y 0,63 ppm entre los dos tanques de referencia y cloro residual en 0,1 ppm, valores no aceptables según la Resolución 2115 de 2007. Por otra parte, el análisis microbiológico muestra la presencia de coliformes totales y *E. coli* con valores de 20 y 1, respectivamente en el tanque de almacenamiento 1, contrario a lo encontrado en el tanque de almacenamiento domiciliario donde se obtuvieron 4 coliformes fecales y ausencia de *E. coli*.

Niño Barrero, Y. F. (2010). Realizó una investigación basada en la determinación del nivel de exposición a plaguicidas por consumo de agua de pozo y la relación con los posibles efectos en la salud de la población residente en la Vereda Chorrillos del sector rural de Suba. Este trabajo se inició a partir de una descripción general de la localidad, para luego realizar un diagnóstico ambiental que sirvió de base para identificar las principales problemáticas y examinar los efectos ambientales. Posteriormente se tomaron muestras a cada uno de los pozos del sector y esas muestras se llevaron al hospital de Suba, quienes fueron los encargados de realizarle un análisis físico – químico y de plaguicidas a las muestras; A partir de los resultados arrojados en los resultados de los análisis seleccionó la alternativa de abastecimiento de agua más viable la cual se basó más en el abastecimiento de agua por medio de pozos profundos con su respectivo tratamiento convencional que incluya las etapas de aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

## 4.2. MARCO TEÓRICO

El agua para consumo doméstico debe ser segura en cuanto a la calidad, hablamos entonces de un agua cuyas características sea clara, poco turbia, sin olor ni sabor, a su vez, el agua no debe ser salina, el contenido de calcio y de magnesio deben estar dentro de unos rangos aceptables, sin exceso de sodio y contenido de sulfatos y nitratos limitados. La calidad bacteriológica debe estar asegurada, evitando la presencia de organismos patógenos causantes de enfermedades. Esto muchas veces es difícil asegurarlo, entonces como mínimo debe seleccionarse una fuente de agua con la menor contaminación bacteriológica posible, e incluir un sistema de desinfección en la solución adoptada.

El primer elemento de cualquier sistema de abastecimiento de agua es la captación, ya sea de aguas superficiales o subterráneas; las primeras incluyen aguas de lluvias, arroyos, lagos y embalses, cada uno de estos tipos requieren obras de distinta naturaleza e importancia, las captaciones de aguas subterráneas dependen de las características hidrológicas y de la formación geológica del acuífero, estas se pueden realizar a través de manantiales, pozos profundos y pozos superficiales.

Habitualmente la calidad de aguas subterráneas es superior a la del agua superficial debido a la menor influencia del hombre sobre ella, a desventaja que las obras de captación para este tipo de aguas es más costosa y requiere de estudios previos.

Para poder decidir si los arroyos o los ríos pueden servir de fuente de abastecimiento se tendría que conocer la magnitud de las precipitaciones en la cuenca, superficie de la misma, coeficiente de escorrentía, entre otros aspectos. (Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteras, 2005).

### 4.2.1. Consumo

El consumo es la parte de suministro de agua potable que generalmente utilizan los usuarios, sin considerar las pérdidas en el sistema. Se expresa en unidades de  $m^3/d$  o  $l/d$ , o bien cuando se trata de consumo per cápita se utiliza  $l/hab/día$ . Los organismos operadores lo manejan regularmente como  $m^3/toma/mes$ .

El consumo en zonas rurales varía con respecto a la región, las condiciones climatológicas e hidrológicas, las costumbres locales y la actividad de los habitantes tienen una influencia directa en la cantidad de agua consumida. Para zonas rurales se recomienda entonces considerar un consumo promedio diario de 100 l/hab, el cual está en función del uso doméstico.

“En zonas urbanas el consumo de agua se determina de acuerdo con el tipo de usuarios, se divide según su uso en: doméstico y no doméstico; el consumo doméstico, se subdivide según la clase socioeconómica de la población en alto, medio y bajo” (Comisión Nacional del Agua, 2007, pág. 8) . El consumo no doméstico incluye el comercial, el industrial y de servicios públicos; a su vez el consumo industrial se clasifica en industrial de servicio e industrial de producción. Todo esto se puede observar de manera clara en la siguiente ilustración.

#### **4.2.1.1. Consumo doméstico**

Este se refiere al agua usada en viviendas y depende principalmente del clima y la clase socioeconómica de los usuarios. El consumo doméstico medio de una clase socioeconómica puede presentar diferencias, por diversas causas. (Comisión Nacional del Agua, 2007) Cuando el análisis se realiza para una red de distribución existente, preferentemente se debe utilizar información de usuarios por tipo de toma y sus respectivos consumos; la obtención del consumo se realiza a través de un análisis de los consumos del organismo operador considerando las tomas con medición y sin tanteo, ya que representa el agua que la población está dispuesta a consumir a la tarifa actual.

#### **4.2.1.2. Consumo no doméstico**

Es el que se utiliza en industrias, comercios y servicios por personas que no habitan en ellas. Para la estimación consumo unitario de este tipo de usuario se deben utilizar los datos de medición históricos del organismo operador. (Comisión Nacional del Agua, 2007).

#### **4.2.2. Función de las redes de transporte y distribución**

No todas las comunidades disponen de manantiales o pozos cercanos en condiciones sanitarias adecuadas para el consumo humano. Por ello en ocasiones se hace necesario transportar y distribuir el agua.

El transporte desde el punto de captación hasta el punto de consumo se puede realizar a presión, mediante tuberías y bombeo, en lámina libre o mediante un canal. Esta decisión viene absolutamente condicionada por la topografía de la zona. Por ejemplo, si la captación se produce a una cota superior de la población que consumirá el agua, es posible diseñar un canal que la almacene en un depósito cercano a dicha población. Por el contrario, si la captación se encuentra a cota inferior o el terreno es muy accidentado, resulta imposible realizar un canal y es más barato instalar una bomba y una tubería de impelencia.

Se entiende por red de distribución aquella red de tuberías a baja presión que conecta habitualmente el depósito de la comunidad y los puntos de consumo. En las redes de distribución se intenta encontrar el punto de equilibrio entre nivel de servicio e inversión necesaria por distintos caminos, ya sea:

- Instalando elementos que faciliten la gestión posterior (contadores, válvulas de paso).
- Obviando en algunos casos los diseños más caros, aunque con mejor servicio (selección de redes arborescentes frente a soluciones malladas)

Los mayores problemas de gestión de los sistemas de abastecimiento de agua se suelen dar en redes de distribución. Estos problemas están relacionados, entre otras cosas con aspectos como la gestión de cobro de la cuota de agua, diseño adecuado de los puntos de consumo de agua, etc.

Hablemos entonces de los sistemas de abastecimiento por gravedad, estos se basan en la utilización de la energía gravitatoria para el transporte de agua entre el punto de captación y el punto de consumo. La situación óptima de estos sistemas

es aquella en la que la captación se encuentra en una cota superior a la de la comunidad.

En caso de contar con un presupuesto reducido y respetarse las condiciones de distancia mínima al punto de consumo de agua, también puede adoptarse esta solución si la comunidad se encuentra por encima de la captación.

Un sistema por gravedad cuenta con elementos como:

- Captación
- Tubería
- Deposito
- Tanque rompe presión
- Tuberías de distribución
- Puntos de consumo: domiciliar o público.

Los sistemas de transporte y distribución por gravedad son soluciones muy buenas desde el punto de vista de la sostenibilidad, ya que requieren poco mantenimiento, los elementos del sistema son sencillos y tiene la ventaja de que cualquier problema se puede detectar fácilmente.

#### **4.2.3. Calidad del agua en todo el proceso**

Para reducir los riesgos de contaminación microbiológica, física y química del agua potable es necesario tener en cuenta diversos procesos a lo largo de todo el sistema de abastecimiento, como lo es la gestión del uso del suelo en la zona de captación, selección y protección de las fuentes de agua, tratamiento y reciclaje del agua residual, sistema de distribución adecuado y bien mantenido, practicas seguras por parte de los usuarios.

“Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares” (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones unidas, 2014). El objetivo principal trata de reducir la contaminación hasta niveles aceptables por los usuarios, de forma que el uso y la sostenibilidad del sistema no

se vea afectado negativamente, teniendo en cuenta que la aplicación de un sistema de tratamiento esta siempre condicionado por aspectos técnicos y económicos.

Todo proceso de calidad, pretende eliminar todos los organismos patógenos, elementos químicos peligrosos como el flúor, el arsénico, constituyentes orgánicos, reducir la materia en suspensión, eliminar el hierro y el manganeso, entre otros.

Generalmente el agua subterránea esta menos contaminada que las superficiales, pero en algunos casos en los que se presenten alguna muestra de contaminación, básicamente metales pesados, su tratamiento es mucho más difícil y aparte más costoso.

#### **4.2.4. Tratamiento del agua superficial**

##### **4.2.4.1. Aireación**

En purificación y tratamiento de aguas se entiende por aireación el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire, con el fin de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella.

Las funciones más importantes de la aireación se basan en transferencia de oxígeno al agua, disminuir la concentración de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono), oxidar hierro y manganeso, eliminar compuestos orgánicos volátiles, eliminar sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

##### **4.2.4.2. Sedimentación**

La sedimentación consiste en la separación, por acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua, su principal objetivo es eliminar las arenas presentes en el agua, su diseño se basa en la determinación del diámetro de arena eliminado, en función del tiempo de retención en el tanque (Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteras, 2005).

Con el resultado de este proceso se obtiene un efluente clarificado, residuos fangosos que deben ser eliminados periódicamente.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

#### **4.2.4.2.1. Sedimentación de partículas discretas**

Se llama partículas discretas aquellas que no cambian de características, se denomina también sedimentación simple. Esta forma de sedimentación se da en los desarenadores, en los sedimentadores y en los pre sedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y como paso previo a la filtración lenta (Yactayo, pág. 3).

#### **4.2.4.2.2. Sedimentación de partículas floculentas**

Son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de la anterior, las características de este tipo de partículas si cambian durante la caída.

Se denomina también decantación, el cual se presenta en un proceso intermedio entre la coagulación – floculación y la filtración rápida.

#### **4.2.4.2.3. Sedimentación por caída libre e interferida**

Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, estas se depositan sin interferir. A esto se le denomina caída libre, en cambio cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual.

Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión o zona de compresión. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos.

#### **4.2.4.3. Coagulación – Floculación**

Este proceso se utiliza para la eliminación de partículas en suspensión y coloides presentes en el agua mediante la incorporación de coagulantes que pueden ser orgánicos o inorgánicos y floculantes inorgánicos.

La coagulación-floculación permite la desestabilización de las partículas y su posterior aglomeración en flóculos de las características adecuadas para su posterior separación. (Díaz Fernández, 2018).

#### **4.2.4.4. Filtración**

Según Fernández (2018), la filtración es el proceso mediante el cual las partículas suspendidas se separan por la intervención de un lecho filtrante que sólo permite el paso del fluido y retiene los sólidos. Este medio filtrante puede ser tela, placa porosa, entre otros.

El proceso de filtración es el responsable de retener aquellas partículas que no fueron removidos en el sedimentador, en la mayoría de los casos son microflóculos o micro partículas. Además, elimina una gran cantidad de microorganismos patógenos resistentes a la desinfección.

Para Lozano & Lozano (2015) La filtración puede presentarse en dos zonas definidas:

- **Filtración en superficie:** Se presenta cuando las partículas en suspensión son más grandes que el tamaño de los poros del medio filtrante y quedan retenidas sobre la superficie del lecho.
- **Filtración en Volumen o en profundidad:** Se presenta cuando las partículas suspendidas tienen tamaños menores que los poros del medio filtrante, penetrándolo, pero quedan, posteriormente, retenidas en él.

En los sistemas de abastecimiento es preciso hablar de la Dotación, la cual es la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas en el sistema, en un día medio anual; sus unidades están dadas en l/hab. al día.

La dotación media de una localidad se obtiene a partir de los consumos registrados por el organismo operador o de un estudio de demandas, dividiendo el consumo total, que incluye servicio doméstico, comercial, industrial y de servicios públicos, más las pérdidas físicas de agua, entre el número de habitantes de la localidad. Cabe hacer la aclaración que, para el diseño de los elementos de un sistema de agua potable, se calculara la dotación particular que le corresponde a cada zona, pudiéndose considerar el análisis del número de tomas.

Para fijar la dotación de una proyección de consumos y pérdidas en un periodo de al menos 20 años de operación, ya que para este tipo de proyectos no es válido partir de una dotación constante.

Para efectos de diseño de la red de distribución, la dotación deberá corresponder únicamente al valor obtenido de dividir la demanda doméstica, más la comercial, entre el número de habitantes de cada zona.

Como complemento de lo dicho anteriormente, los sistemas por gravedad son frecuentes alrededor del mundo para transportar el agua de un lugar a otro sin el uso de bombas ni energía externa o adicional. Es un proceso bastante simple, pero puede complicarse en la fase de diseño por factores como la distancia a recorrer del agua hasta llegar a su punto de destino, sin embargo, su uso sigue siendo el más recomendado.

#### **4.2.5. Fuentes de abastecimiento de agua**

En lo posible el agua para consumo humano se obtendrá de la fuente más viable. Cuando esta no ha recibido ningún tipo de tratamiento se le conoce como “agua cruda” y esta puede provenir de acuíferos, cauces, cuencas, entre otras.

Existen varias fuentes de abastecimiento de agua entre las cuales se destacan:

- Fuentes superficiales
- Fuentes Subterráneas

#### **4.2.5.1. Aguas superficiales**

Las aguas superficiales son las aguas que circulan sobre la superficie del suelo. El agua superficial se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas. (Induanálisis, 2019).

Entendiendo lo anterior tenemos que las fuentes superficiales pueden ser los ríos, lagos, arroyos o cualquier otro tipo de masa de agua que no se encuentre infiltrada o en forma de vapor en la atmósfera.

Las aguas superficiales son más susceptibles a presentar cambios dentro de sus características, ya que, a diferencia de las aguas subterráneas, se encuentran al aire libre.

#### **4.2.5.2. Aguas Subterráneas**

Se le denomina agua subterránea a aquella que se filtra por medio de las fisuras, poros o grietas de las rocas y yace en el subsuelo o por debajo de la superficie del terreno. La composición química del agua subterránea dependerá de la composición del agua lluvia, de los tipos de suelo y rocas que tenga que atravesar de su tiempo de contacto. (Vélez Otálvaro, Ortiz Pimienta, & Vargas Quintero, 2011, pág. 27).

#### **4.2.6. Sistemas rurales de abastecimiento de agua.**

Para las zonas rurales los sistemas de abastecimiento de agua pueden ser de dos tipos: Convencionales y no convencionales (Agüero et al., 2009).

##### **4.2.6.1. *Sistemas convencionales de abastecimiento de agua***

Son sistemas que son diseñados y construidos a partir de criterios de ingeniería claramente definidos y tradicionalmente aceptados, con un resultado preciso para el nivel de servicio establecido por el proyecto, ya sea a nivel de vivienda mediante conexiones domiciliarias o a nivel comunitario con piletas públicas. (Barrios Napuri, Torres Ruiz, Lampoglia, & Agüero Pittman, 2009).

#### **4.2.6.1.1. Sistema de abastecimiento por gravedad sin tratamiento (GST)**

Son sistemas donde la fuente de abastecimiento de agua es de buena calidad y no requiere tratamiento complementario previo a su distribución, salvo la cloración; adicionalmente, no requieren ningún tipo de bombeo para que el agua llegue hasta los usuarios.

#### **4.2.6.1.2. Sistema de abastecimiento por gravedad con tratamiento (GCT).**

Sistemas donde las fuentes de abastecimiento son aguas superficiales captadas en canales, acequias, ríos, etc., que requieren ser clarificadas y desinfectadas antes de su distribución. Por lo tanto, Las plantas de tratamiento de agua deben ser diseñadas en función de la calidad física, química y microbiológica del agua cruda. Además, este sistema tiene una operación más compleja que los sistemas sin tratamiento, y requieren mantenimiento periódico para garantizar la buena calidad del agua.

#### **4.2.6.1.3. Sistema de abastecimiento por bombeo sin tratamiento (BST).**

Estos sistemas también se abastecen con agua de buena calidad que no requiere tratamiento previo a su consumo. Sin embargo, el agua requiere ser bombeada para ser distribuida al usuario final. Generalmente están constituidos por pozos.

#### **4.2.6.2. Sistemas no convencionales para tratamiento de agua**

Estas opciones tecnológicas se refieren a soluciones individuales o multifamiliares dirigidas al aprovechamiento de pequeñas fuentes de agua. (Barrios Napuri, Torres Ruiz, Lampoglia, & Agüero Pittman, 2009). Están compuestas por los siguientes tipos de sistemas de abastecimiento de agua:

- Captación de agua de lluvia.
- Pozos protegidos con bombas manuales.
- Manantiales con protección de vertiente.

#### **4.2.6.2.1. Captación de agua lluvia**

El agua de lluvia generalmente se capta de los techos de las viviendas y se acumula en tanques de almacenamiento. El agua deberá ser desinfectada previamente a su consumo. La ventaja de este sistema es su simplicidad y bajo costo de implementación, sin embargo, el suministro se queda condicionado a la variabilidad de la precipitación, resultando en discontinuidad del servicio.

#### **4.2.6.2.2. Pozos con bombas manuales**

Soluciones compuestas por pozos perforados o excavados debidamente protegidos, que pueden ser del tipo familiar o multifamiliar. Dependiendo del tipo de protección del pozo y de la presencia de puntos de contaminación, el agua debe ser desinfectada antes de ser destinada al consumo humano directo.

#### **4.2.6.2.3. Manantiales con protección de vertiente**

Se constituyen en sistemas de abastecimiento de agua a partir de la captación segura de pequeñas fuentes de agua subterránea ubicadas cerca de la vivienda o grupo de viviendas. Esta solución se compone de una captación, una pileta y una poza de drenaje; y se ubica en la fuente. Ocasionalmente, se puede conducir los usuarios mediante tuberías de pequeño diámetro.

### 4.3. MARCO CONCEPTUAL

**Agua Cruda:** Es el agua natural que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización.

**Agente Patógeno:** Es aquella entidad biológica capaz de causar alguna enfermedad o generar algún daño en el cuerpo vegetal, animal o de un ser.

**Agua Potable:** También llamada agua para el consumo humano es aquella que, por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en decreto y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.

**Agua Subterránea:** Es la que se encuentra bajo la superficie terrestre y ocupa los poros y las fisuras de las rocas más sólidas.

**Análisis físico y químico del agua:** Son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas.

**Calidad del agua:** Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.

**Cloro residual libre:** Es aquella porción que queda en el agua después de un período de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ion hipoclorito.

**Color aparente:** Es el color que presenta el agua en el momento de su recolección sin haber pasado por un filtro de 0.45 micras.

**Fuente de abastecimiento:** Depósito o curso de agua superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas.

**Materia Orgánica:** Es toda la materia que está compuesta por restos de organismos vivos como plantas y animales.

**Planta de Tratamiento:** Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

**Red de distribución o red pública:** Es el conjunto de tuberías, accesorios, estructura y equipos que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta las acometidas domiciliarias.

**Riesgo:** Probabilidad de que un agente o sustancia produzca o genere una alteración a la salud como consecuencia de una exposición al mismo.

**Sistema de Bombeo Mecanizado:** Conjunto de dispositivos empleados para elevar y extraer agua de un punto bajo a uno elevado, ya sea de agua superficial, subterránea o de depósitos a sistemas de distribución.

**Sistema de suministro de agua para consumo humano:** Es el conjunto de estructuras, equipos, materiales, procesos, operaciones y el recurso humano utilizado para la captación, aducción, pretratamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y distribución del agua para consumo humano.

## 4.4. MARCO CONTEXTUAL

### 4.4.1. Descripción General.

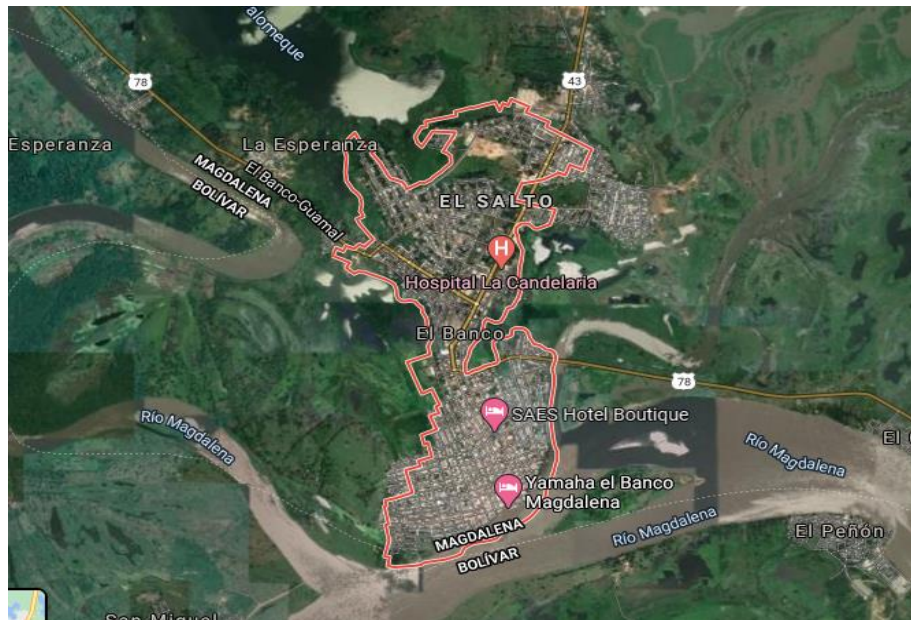
#### 4.4.1.1. *Municipio El Banco, Magdalena*

El municipio de El Banco Se encuentra ubicado en el cono sur del Departamento del Magdalena. Posee una temperatura media de 35°C con una altitud de 25 m.s.n.m. Limita al norte con los municipios de Guamal, Magdalena y Chiriguaná, Cesar. Al sur con el río Magdalena, al Occidente con el brazo de Mompox y el Municipio de Hatillo de Loba Bolívar y al Oriente con el Municipio de Tamalameque Cesar y el complejo cenagoso de Zapatoza. Está conformado por 15 corregimientos (entre ellos El Cedro) y 14 Veredas. (Alcaldía Municipal de El Banco, Magdalena, 2018)



**Ilustración 1.** Magdalena, Colombia

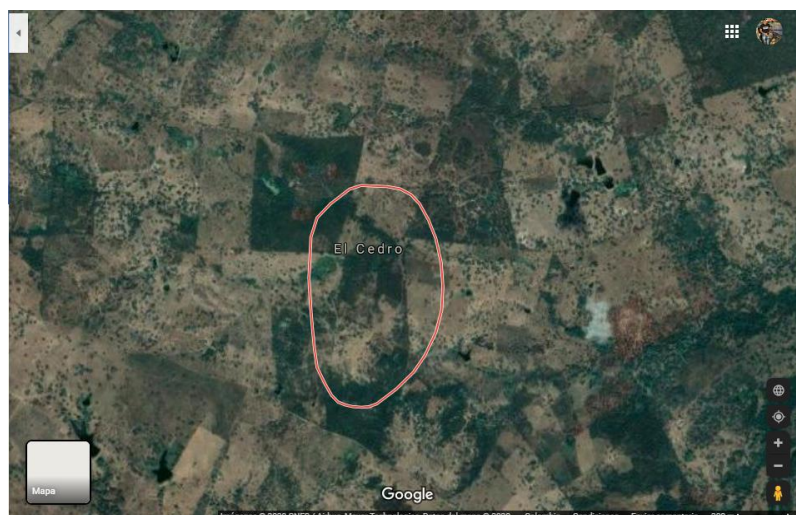
**Fuente:** Magdalena.Gov.co,2020



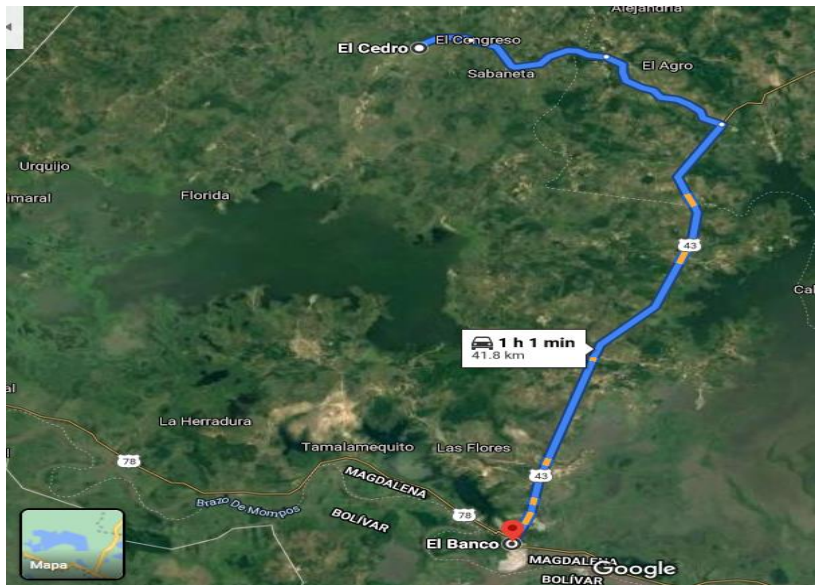
**Ilustración 2.** Municipio de El Banco, Magdalena  
*Fuente: Google maps, 2020*

#### **4.4.1.2. Corregimiento El Cedro.**

El Cedro es un corregimiento se encuentra ubicado a 42.4 Km (1 hora 1 minuto) al Noroeste de El Banco municipio al cual pertenece. Este corregimiento está conformado aproximadamente por 24 casas con un máximo de 5 personas por familia viviendo en ellas. Los climas predominantes son el tropical lluvioso y tropical seco, este último se caracteriza por tener dos estaciones secas.



**Ilustración 3.** Corregimiento de El Cedro.  
*Fuente: Google Maps, 2020*



**Ilustración 4.** Distancia entre el municipio de El Banco y el corremiento de El Cedro  
*Fuente: Google Maps, 2020*

#### 4.5. MARCO LEGAL

En este capítulo se hace necesario resaltar aquellas normas de la constitución política de Colombia, leyes, resoluciones y decretos que dan a conocer los deberes del estado y de todas las personas que residan dentro del territorio en pro del cuidado de nuestros recursos. Estos nos servirán como base y guía para un óptimo desarrollo de la investigación, respetando el orden estipulado por la universidad para la mención de cada uno de estos.

*Tabla 1. Marco Normativo*

Normativa	Descripción
CONSTITUCION POLITICA	<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="907 751 1386 1056">• <b>Artículo 49.</b> La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado. Se garantiza a todas las personas el acceso a los servicios de promoción, protección y recuperación de la salud.</li><li data-bbox="907 1073 1386 1654">• <b>Artículo 311.</b> Al municipio como entidad fundamental de la división político-administrativa del Estado le corresponde prestar los servicios públicos que determine la ley, construir las obras que demande el progreso local, ordenar el desarrollo de su territorio, promover la participación comunitaria, el mejoramiento social y cultural de sus habitantes y cumplir las demás funciones que le asignen la Constitución y las leyes.</li><li data-bbox="907 1671 1386 1837">• <b>Artículo 365.</b> Los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. Es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a</li></ul>

## CONSTITUCIÓN POLÍTICA

todos los habitantes del territorio nacional.

- **Artículo 366.** El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable.
- **Artículo 367.** La ley fijará las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta además de los criterios de costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos.
- **Artículo 369.** La ley determinará los deberes y derechos de los usuarios, el régimen de su protección y sus formas de participación en la gestión y fiscalización de las empresas estatales que presten el servicio. Igualmente definirá la participación de los municipios o de sus representantes, en las entidades y empresas que les presten servicios públicos domiciliarios.

## LEYES

- **Ley 09 de 1979.** La presente ley establece las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana, trata temas como el control sanitario de los usos del agua, aéreas de captación, suministro de agua, entre otros.
- **Ley 99 de 1993.** Ley del Medio Ambiente. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
- **Ley 142 de 1994.** Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
- **Ley 373 de 1997.** Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
- **Decreto 1575 de 2007.** Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

## DECRETOS

- **Decreto 1076 de 2015**

## RESOLUCIONES

Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS 2017

- Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- **Resolución 2115 de 2007.** Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- **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.
- Esta norma reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las 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.

## **5. MARCO METODOLÓGICO**

### **5.1. LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

La línea de investigación de este proyecto es “sostenibilidad y gestión ambiental”, la sublínea “gestión integral del recurso hídrico” y una tercera línea basada en el “tratamiento de agua potable”.

### **5.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Esta investigación tiene un enfoque cualitativo, ya que la recolección de datos a partir de la visita a la comunidad y la observación en campo son aspectos esenciales. Por otra parte, también cuenta con una visión cuantitativa al requerir de procedimientos experimentales a los que serán sometidas las muestras recolectadas. De acuerdo a esto, la investigación fue de manera explicativa y descriptiva, lo cual permitió que la descripción del problema en estudio fuese más completa, determinando así las causas y consecuencias de este.

### **5.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO**

La población objeto de estudio de esta investigación fueron los habitantes del corregimiento de El Cedro (perteneciente al municipio de El Banco, Magdalena) quienes son los directamente afectados por la falta de agua potable en la zona, donde se encuentra un aproximado de 120 habitantes.

### **5.4. MUESTRA POBLACIONAL**

Se recolectaron muestras aleatorias de agua de algunas viviendas cercanas y lejanas a la ubicación, ya que es captada directamente de un pozo subterráneo el cual no pasa por ningún proceso de potabilización; Esto con el fin de verificar si hubo alguna variación en las características físico-químicas y microbiológicas en el agua objeto de estudio durante el recorrido. El índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA) nos sirvió también como instrumento para determinar si esta agua es apta para el consumo humano.

Esto a partir de que se tuvieron en cuenta dos aspectos para la recaudación de los datos necesarios para esta investigación.

- **FUENTE DE LOS DATOS**

- **Fuente primaria:** Esta información fue recaudada a partir de visitas realizadas al corregimiento el Cedro, con el fin de tomar datos que se obtienen solo de esta manera.

- **Fuente secundaria:** Estos datos fueron tomados de documentos y estudios existentes referentes a la investigación para complementar la información suministrada por la fuente primaria.

- **TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

La observación directa es una técnica muy objetiva de recolección de datos, por lo cual, se puede obtener información aun cuando no existía el deseo de proporcionarla y además es independiente de la capacidad y veracidad de las personas.

También se utilizó como herramienta principal el cuestionario porque es una técnica de recolección de información objetiva, mismo que fue preparado con una serie de preguntas con el propósito de obtener datos sobre la situación actual de la población.

## 5.5. DESARROLLO METODOLÓGICO

### 5.5.1. Etapa 1. Evaluar parámetros físico-químicos del agua teniendo en cuenta la resolución 2115 de 2007.

#### **Actividad 1. Análisis de laboratorio.**

Como fue mencionado anteriormente, las muestras previamente recolectadas fueron analizadas por los Laboratorios Nancy Flórez García S.A.S en el municipio de Valledupar, Cesar. Por lo tanto, para la evaluación se revisarán los valores máximos establecidos en la resolución 2115 de 2007 para cada parámetro, los cuales se mostrarán a continuación:

*Tabla 2. Características físicas del agua para consumo humano*

CARACTERÍSTICA	EXPRESADO COMO	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de Turbiedad	2

*Fuente: Resolución 2115 de 2007, Artículo 2; Cuadro N°1 del capítulo II*

*Tabla 3. Características químicas del agua para consumo humano*

CARACTERÍSTICA	EXPRESADO COMO	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Carbono Orgánico Total	COT	5,0
Nitritos	$NO_2^-$	0,1
Nitratos	$NO_3^-$	10
Fluoruros	$F^-$	1,0
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	$CaCO_3$	200
Cloruros	$Cl^-$	250
Dureza Total	$CaCO_3$	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36

<b>Manganeso</b>	Mn	0,1
<b>Molibdeno</b>	Mo	0,07
<b>Sulfatos</b>	$SO_4^{2-}$	250
<b>Zinc</b>	Zn	3
<b>Fosfato</b>	$PO_4^{3-}$	0,5
<b>Aluminio</b>	$Al^{3+}$	0,2
<b>Cloro Residual Libre</b>	Cl <sub>2</sub>	0,3 – 0,2

*Fuente: Resolución 2115 de 2007, artículos 6,7 y 9; cuadro N°3 y N°4 del capítulo II*

**Tabla 4. Características microbiológicas**

<b>TÉCNICA UTILIZADA</b>	<b>COLIFORMES TOTALES</b>	<b>ESCHERICHIA COLI</b>
<b>Filtración por membrana</b>	0 UFC/100Cm <sup>3</sup>	0 UFC/100Cm <sup>3</sup>
<b>Enzima sustrato</b>	< de 1 microorganismo en 100Cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100Cm <sup>3</sup>
<b>Sustrato definido</b>	0 microorganismos en 100Cm <sup>3</sup>	0 microorganismos en 100Cm <sup>3</sup>
<b>Presencia – Ausencia</b>	Ausencia en 100Cm <sup>3</sup>	Ausencia en 100Cm <sup>3</sup>

*Fuente: Resolución 2115 de 2007, Artículo 11; Cuadro N° 5 del capítulo III*

### **5.5.2. Etapa 2. Diagnóstico operacional del sistema de abastecimiento de agua potable del corregimiento de El Cedro.**

#### **Actividad 1. Diseño de formato de encuesta para recopilación de información preliminar.**

El formato de encuesta fue de tipo estructurado, es decir, mediante preguntas. Estas se realizaron con el fin de obtener datos relevantes con base a la situación actual de la población y determinar los principales inconvenientes que se estaban presentando en la zona. Esta fue una de las actividades principales a la hora de tomar una decisión con respecto al diseño del sistema de abastecimiento, ya que la encuesta es una herramienta objetiva en cuanto a la recolección de información real por parte de las personas encuestadas.

Para el análisis estadístico de los resultados de las encuestas, nos apoyamos en el uso del programa informático Excel.

### **Actividad 2. Toma de muestras.**

La toma de muestras se llevó a cabo de acuerdo a las normas utilizadas por el laboratorio en el cual nos apoyamos para realizarle el análisis a las muestras, en este caso, los Laboratorios Nancy Flórez García S.A.S en el municipio de Valledupar, Cesar. De manera estratégica y aleatoria se recolectaron las muestras, evaluando tres (3) puntos de la red de suministro del corregimiento de El Cedro. El primer punto fue la casa más cercana a la fuente, el segundo punto la que se encontró más centrada y el tercero, la más alejada.

El número total de muestras que se recolectaron y la frecuencia de recolección para el control de la calidad físico-química y microbiológica del agua para consumo humano, se encuentran establecidos en la resolución 2115 de 2007, en sus artículos 21 y 22 respectivamente, por lo tanto, se recolectaron tres (3) muestras para analizar la calidad físico-química y otras tres (3) para evaluar la calidad microbiológica del agua lo que da un total de seis (6) muestras.

### **Actividad 3. Determinar Índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano (IRCA).**

El IRCA es el instrumento utilizado para garantizar que el agua es apta para consumo humano, en la resolución 2115 de 2007 se le asigna un puntaje de riesgo para cada característica física, química y microbiológica de no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en dicha resolución, estos puntajes se muestran en la tabla.

*Tabla 5. Puntaje de riesgo*

Características	Puntaje de Riesgo
<b>Color Aparente</b>	6
<b>Turbiedad</b>	15
<b>pH</b>	1.5
<b>Cloro Residual Libre</b>	15
<b>Alcalinidad Total</b>	1

<b>Calcio</b>	1
<b>Fosfatos</b>	1
<b>Manganeso</b>	1
<b>Molibdeno</b>	1
<b>Magnesio</b>	1
<b>Zinc</b>	1
<b>Dureza Total</b>	1
<b>Sulfatos</b>	1
<b>Hierro Total</b>	1.5
<b>Cloruros</b>	1
<b>Nitratos</b>	1
<b>Nitritos</b>	3
<b>Aluminio (<math>Al^{3+}</math>)</b>	3
<b>Fluoruros</b>	1
<b>COT</b>	3
<b>Coliformes Totales</b>	15
<b>Escherichia Coli</b>	25

---

Sumatoria de puntajes asignados	<b>100</b>
---------------------------------	------------

---

*Fuente: Resolución 2115 de 2007, Artículo 13; Cuadro N°6 del capítulo I*

El valor del IRCA es cero (0) puntos cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la presente Resolución y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos.

El cálculo del IRCA se realizará mediante las siguientes fórmulas:

**IRCA por muestra:**

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignados a las características no aceptables}}{\sum \text{Puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

**IRCA mensual:**

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{de los IRCAs obtenidos en cada muestra realizada en el mes}}{\text{Número de muestras realizadas en el mes}}$$

#### **Actividad 4. Clasificación del nivel de riesgo.**

Teniendo en cuenta los resultados de los cálculos del IRCA se define la clasificación del nivel de riesgo. Dicha clasificación es dada por la resolución 2115 de 2007 y es la siguiente:

**Tabla 5.** Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (acciones)
<b>80.1 – 100</b>	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
<b>35.1 – 80</b>	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
<b>14.1 – 35</b>	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
<b>5.1 – 14</b>	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
<b>0 -5</b>	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

**Fuente:** Resolución 2115 de 2007, Artículo 15; Cuadro N°7 del capítulo IV

## **5.1. PROCEDIMIENTO**

Para cumplir con cada uno de los objetivos específicos propuestos inicialmente y también el objetivo general planteado, se asentó la metodología de trabajo descrita a partir de cuatro etapas:

### **5.1.1. Primera etapa: Evaluación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua para el corregimiento del Cedro, Magdalena tomando como referencia la resolución 2115 de 2007.**

El desarrollo de esta etapa estuvo dividido en tres (3) fases que son:

**5.1.1.1. Muestreo.** El muestreo fue simple y realizado de manera aleatoria, con el propósito de evaluar la calidad del agua en cuatro lugares de interés de la red de suministro del corregimiento del Cedro, que incluye: la salida desde donde se encuentra ubicada la bomba ( Tipo Lapicero ), la vivienda más próxima o tanque de almacenamiento (en el caso de contar con uno), la vivienda más central y la más alejada de la fuente de abastecimiento, teniendo en cuenta que la muestra sea la más representativa en cuanto al componente de calidad del agua.

A continuación, se hace una relación de los puntos de muestreos considerados en este estudio:

**Tabla 6. Puntos de muestreo**

<b>PUNTOS DE LUGAR DE MUESTREO</b>	<b>UBICACION</b>	
<b>EL CEDRO</b>	M-1	Salida Bomba (Tipo Lapicero)
	M-2	Grifo casa más cercana (Familia Pérez Amador)
	M-3	Grifo Casa Central (Familia Month Pedrozo)
	M-4	Grifo casa más alejada (Familia Miranda Martinez)

**Fuente:** Autores,2021.

La selección de los puntos de muestreo para el corregimiento de El Cedro indicados en la Tabla 9 se realizó de manera aleatoria y en conjunto con la comunidad, introduciendo en una “urna” los números de las viviendas situadas dentro de los tres puntos de interés, escogiendo al azar cada uno de ellos.

En relación a la frecuencia y número de muestras para el control de la calidad físico-química y microbiológica del agua para consumo humano que se debe ejercer, están dadas en los artículos 21 y 22 de la Resolución 2115 de 2007 “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (Nava, 2011).

Teniendo en cuenta los artículos mencionados con anterioridad se establece que para poblaciones menores o iguales a 2.500 se debe realizar un muestreo de control de la calidad físico-química y uno para la calidad microbiológica con frecuencia mensual.

Sin embargo, en este estudio se realizó dos jornadas de muestreo durante un mes, la primera jornada fue llevada a cabo el día 12 de octubre de 2020 en épocas de verano sin precipitaciones, en la que se tomaron de los cuatro puntos de muestreo un total de 8 muestras, la segunda jornada llevada a cabo en época de invierno el día 02 de noviembre de 2020, (teniendo en cuenta que en el Departamento del Magdalena, la época de invierno en el segundo semestre del año es entre los meses de septiembre a noviembre y una temporada seca de diciembre a marzo), durante esta jornada se llevó a cabo un muestreo por duplicado en el que se tuviera como mínimo dos horas de diferencia entre muestra y muestra del mismo punto de toma, recolectando un total de 16 muestras.

Dichas jornadas de muestreo se realizaron de manera exitosa en los puntos de muestreos considerados en la Tabla 9 y siguiendo los protocolos establecidos en el manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de

agua de consumo humano para análisis de laboratorio, 2011.

Finalmente, las muestras se transportaron al Laboratorio Ambiental y de Alimentos Nancy Flórez García, encargado del análisis físico, químico y microbiológico a la mayor brevedad posible después de la recolección. Durante el transporte, las muestras fueron refrigeradas con geles refrigerantes en neveras de icopor.

**5.1.1.2. Análisis de Laboratorio.** Las muestras de agua anteriormente recolectada fueron revisadas y posteriormente analizadas por el laboratorio de control de calidad de Laboratorio Ambiental y de Alimentos Nancy Flórez García ubicado en el Municipio de Valledupar. Los resultados han sido evaluados tomando como referencia lo establecido por la resolución 2115 de 2007 en cuanto a los valores máximos aceptables de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua para consumo humano, hay que tener en cuenta que sólo fueron considerados los parámetros que figuran en las siguientes Tablas (7,8, y 9).

*Tabla 7. Parámetros físicos del agua*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>VALOR MÁXIMO ACEPTABLE</b>
Color Aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Conductividad	Microsiemens/cm	1000
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2
PH	Potencial hidrógeno del agua	6,5 – 9,0

**Fuente:** Artículo 2, Cuadro N° 1 del Capítulo II de la Resolución 2115 de 2007.

*Tabla 8. Parámetros químicos del agua*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (Mg/L)</b>
Alcalinidad Total	CaCO <sub>3</sub>	200
Dureza Cálcica	----	N/A
Dureza Magnésica	----	N/A
Dureza Total	CaCO <sub>3</sub>	300
Acidez	CaCO <sub>3</sub>	50 <sup>2</sup>
Hierro Total	Fe	0,3
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1
Fluoruros	F <sup>-</sup>	1,0

**Fuente:** Artículo 6, 7 y 9; Cuadro N° 3 y N° 4 del Capítulo II de la Resolución 2115 de 2007.

*Tabla 9. Parámetros microbiológicos del agua*

<b>TÉCNICA UTILIZADA</b>	<b>COLIFORMES TOTALES</b>	<b>ESCHERICHIA COLI</b>
Filtración por membrana	0 UFC/100 Cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 Cm <sup>3</sup>

**Fuente:** Artículo 11; Cuadro N° 5 del Capítulo III de la Resolución 2115 de 2007.

Los análisis de los parámetros mencionados con anterioridad se llevaron a cabo de acuerdo a los protocolos establecidos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

**5.1.1.3. Determinación del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA).** El IRCA es un instrumento básico que sirve para garantizar la calidad del agua para consumo humano. Para el cálculo del IRCA referido por el artículo 12 del Decreto 1575 de 2007 se asignó el puntaje de riesgo contemplado en la Tabla 9 para cada característica física, química y microbiológica,

por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la resolución 2115 de 2007.

*Tabla 10. Puntajes de riesgo*

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>PUNTAJE DE RIESGO</b>
Color Aparente	6
Turbiedad	15
PH	1,5
Alcalinidad Total	1
Dureza Total	1
Hierro Total	1,5
Cloruros	1
Nitritos	3
Fluoruros	1
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	71

**Fuente:** Artículo 13, cuadro N° 6 del Capítulo IV de la Resolución 2115 de 2007.

El valor del IRCA es cero (0) puntos cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la Resolución y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos.

El cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, se realizó utilizando las siguientes fórmulas:

### **El IRCA por muestra**

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

### **El IRCA mensual:**

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{de los IRCAs obtenidos en cada muestra realizada en el mes}}{\text{Número total de muestras realizadas en el mes}} \times 100$$

Finalmente, se compararon los resultados del IRCA obtenidos, en base a la clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para el consumo humano indicado en la Tabla 11, en la que también se señalan las acciones que debe realizar la autoridad sanitaria competente.

**Tabla 11.** Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA y acciones que deben adelantarse

<b>CLASIFICACIÓN IRCA (%)</b>	<b>NIVEL DE RIESGO</b>	<b>IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)</b>	<b>IRCA mensual (Acciones)</b>
80,1 – 100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35,1 – 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14,1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.

Tabla 11. (continuación)

CLASIFICACIÓN IRCA (%)	NIVEL DE RIESGO	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
5,1 – 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

**Fuente:** Artículo 15, cuadro N° 7 del Capítulo IV de la Resolución 2115 de 2007

### **5.1.2. Segunda etapa: Diagnóstico de la situación actual de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano del corregimiento El Cedro.**

Para el progreso de esta etapa se realizaron visitas de campo a la población en estudio, en donde a partir de las técnicas de recolección de datos nombradas con anterioridad se pudo dar un análisis de la información observada y suministrada por la población. También, se ejecutó un registro fotográfico en el cual quedó evidencia el estado actual de cada uno del componente que conforma el sistema teniendo en cuenta la información obtenida de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Estos datos permitieron establecer el estado en el que se encuentran actualmente el sistema de abastecimiento de agua para consumo humano de este corregimiento.

### **5.1.3. Tercera etapa: Planteamiento de alternativas y selección de aquellas que se ajusten a los requerimientos del corregimiento El Cedro perteneciente al Banco, Magdalena.**

El proceso de planteamiento y selección de las alternativas más convenientes para el diseño de cada componente de los sistemas de abastecimiento de agua de la población objeto de estudio, se llevó a cabo teniendo en cuenta las condiciones actuales de estos sistemas, planteando aquellas opciones que permitan optimizarlos para mejorar la calidad de vida de las personas que se abastecen de ellos. Hay que tener en cuenta, que las diferentes alternativas deben ajustarse a la zona de estudio parano cometer el error de sobredimensionar estructuras que nunca se implementaran. Por tanto, se seleccionaron aquellas con mayor viabilidad en términos de disponibilidad, facilidad de adaptación y operatividad.

#### **5.1.4. Cuarta etapa: Elaboración de los diseños de las alternativas seleccionadas.**

Finalmente se elaboró el diseño de sistemas de abastecimiento de agua del corregimiento El Cedro, teniendo en cuenta los requerimientos establecidos en la resolución 0330 de 2017 y en los títulos A, B y C del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) 2010.

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 6.1. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN CAMPO

Los datos obtenidos tanto del levantamiento de campo como del cuestionario realizado en las poblaciones objetivo de estudio se encuentran en la sección **ANEXOS**. Teniendo en cuenta esta tabulación se procedió a realizar el análisis de los resultados:

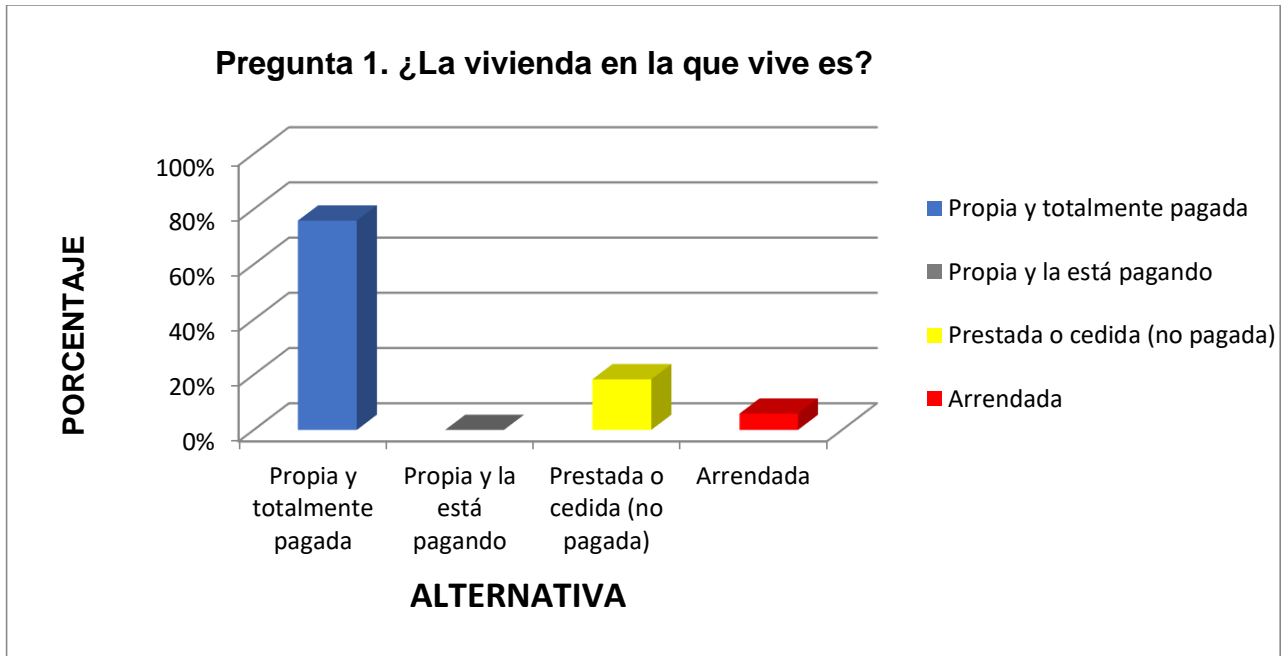
#### CORREGIMIENTO EL CEDRO

**Pregunta 1.** ¿La vivienda en la que vive es?

*Tabla 12. Tenencia o propiedad de vivienda (El Cedro).*

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>MUESTRA (Habitantes)</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Propia y totalmente pagada	91	75.83%
Propia y la está pagando	0	0%
Prestada o cedida (no pagada)	22	18.33%
Arrendada	7	5.9%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Autores,2021.



**Figura 1. Tenencia o propiedad de vivienda**  
**Fuente: Autores,2021**

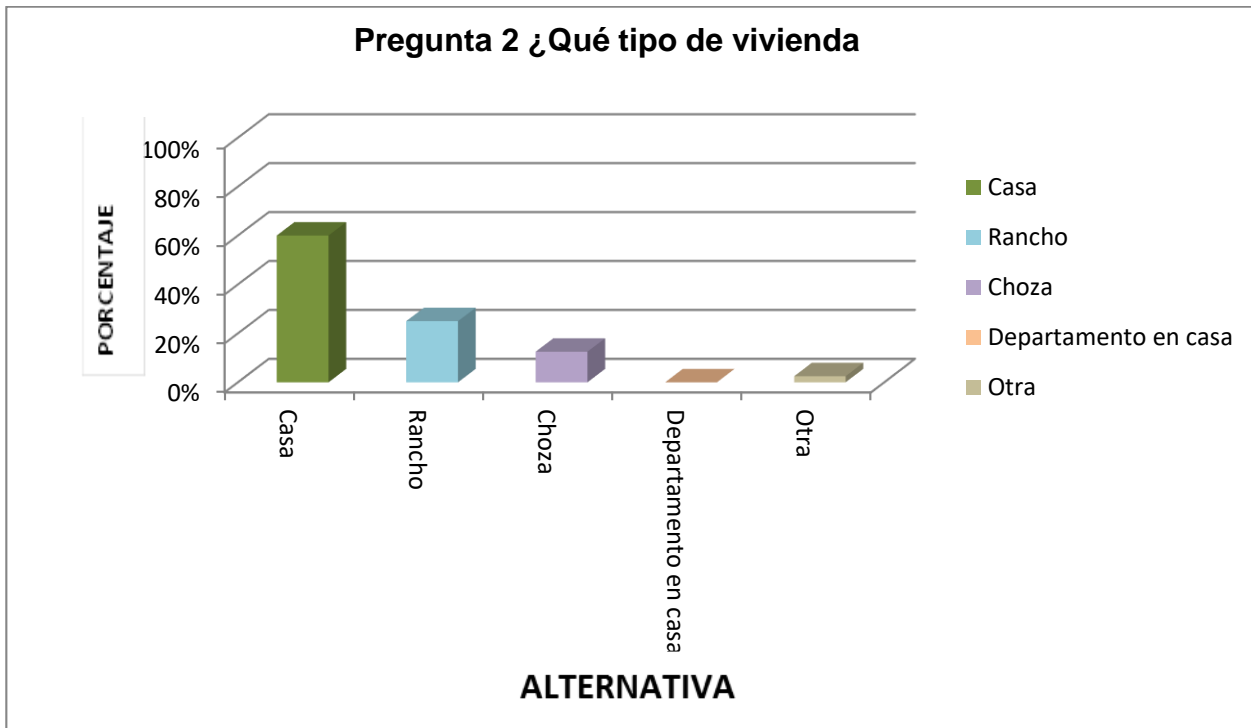
Los resultados determinan que el 75.83 % de las personas que fueron encuestadas tienen vivienda propia, el 18.33% residen en casa prestada o cedida por algún familiar, el 5.9% residen bajo la modalidad de arrendamiento.

**Pregunta 2 ¿Qué tipo de vivienda es?**

**Tabla 13. Tipo de vivienda**

ALTERNATIVA	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Casa	72	60%
Rancho	30	25%
Choza	15	12.5%
Departamento en casa	0	0%
Otra	3	2.5%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

**Fuente: Autores,2021**



*Figura 2. Tipo de vivienda (El Cedro).  
Fuente: Autores,2021*

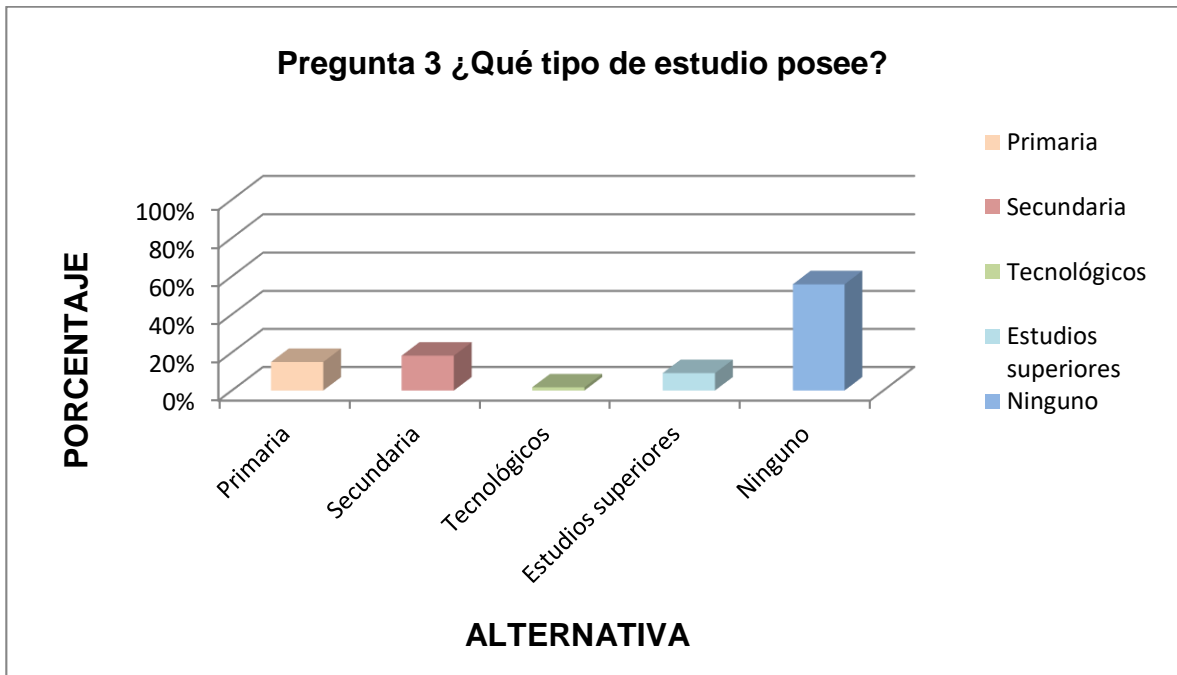
En relación al tipo de vivienda en la que viven se puede decir que el 60% de las personas viven en casas, un 25% viven en ranchos, un 12.5% viven en chozas y un 2.5% viven en otros tipos de viviendas.

**Pregunta 3 ¿Qué tipo de estudio posee?**

*Tabla 14. Tipo de estudio (El Cedro).*

ALTERNATIVA	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Primaria	18	15%
Secundaria	22	18.33%
Tecnológicos	2	1.66%
Estudios superiores	11	9.16%
Ninguno	67	55.83%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores,2021



**Figura 3. Tipo de Estudio**  
Fuente: Autores,2021

En esta pregunta se puede observar que el 55.83 % de las personas encuestadas no posee ningún tipo de estudio, el 18.33 % tiene estudios secundarios, el 15 % estudios primarios, el 9.16 % posee estudios superiores y el 1.66% tiene estudios tecnológicos.

**Pregunta 4 ¿Cuál es la actividad económica que ejerce actualmente?**

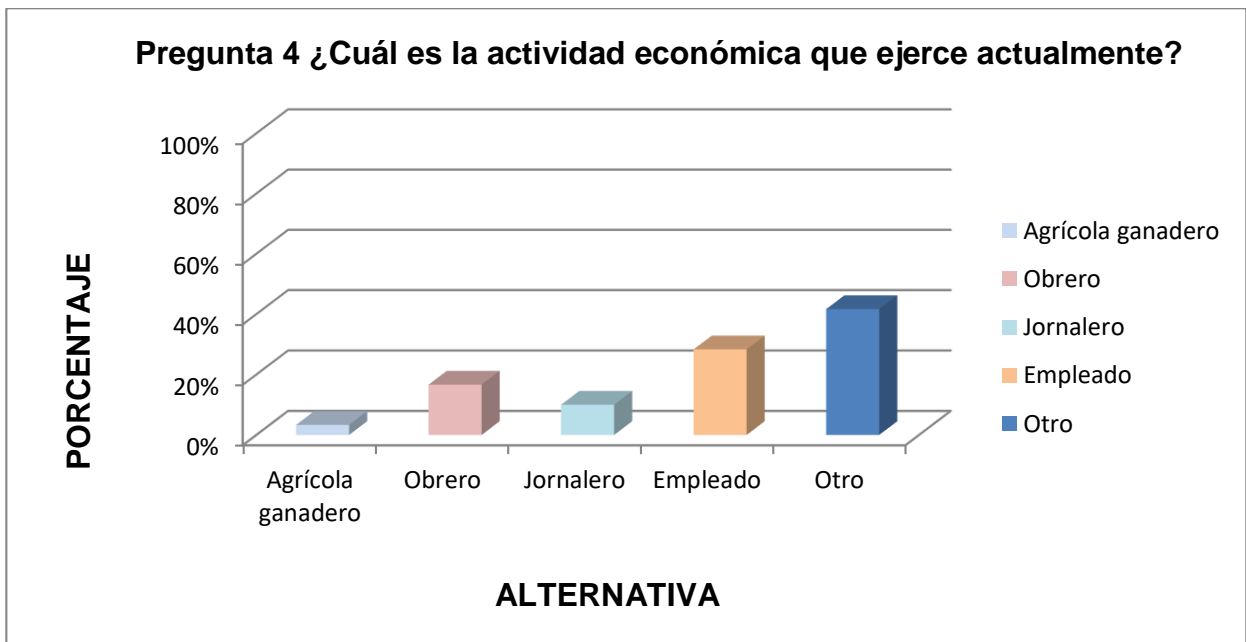
**Tabla 15. Actividad económica (El Cedro).**

ALTERNATIVA	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Agrícola ganadero	4	3.33%
Obrero	20	16.66%
Jornalero	12	10%
Empleado	34	28.33%
Otro	50	41.66%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores,2021.

OTRO	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Pescador	12	44%
Artésano(a)	15	28%
Ninguna	23	28%
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores,2021



**Figura 4.** Actividad Económica  
Fuente: Autores,2021

Para este caso se observa que el 41.66 % de las personas encuestadas realizan otra actividad económica entre las que están: ser pescador, artesano y ninguna. Por otra parte, se contemplan actividades como la agrícola ganadera, obrero, jornalero y empleado con porcentajes de 3.33 %, 16.66 %, 10 % y 28.33 % respectivamente.

**Pregunta 5** ¿Cuántas personas viven en su vivienda?

*Tabla 16. Número de personas que viven en la vivienda*

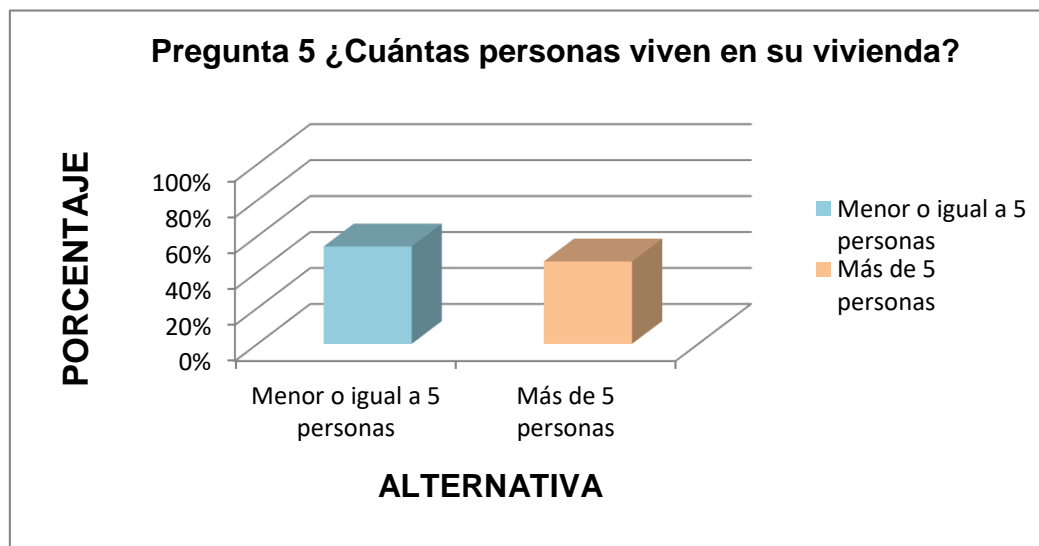
ALTERNATIVA	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Menor o igual a 5 personas	65	54.16%
Más de 5 personas	55	45.83%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores,2021.

*Tabla 17 Rango de personas por alternativa*

ALTERNATIVA	RANGO DE PERSONAS POR VIVIENDA
Menor o igual a 5 personas	1 – 5
Más de 5 personas	6 – 9

Fuente: Autores,2021.



**Figura 5.** Número de personas que viven en la vivienda (El Cedro).

Fuente: Elaboración propia.

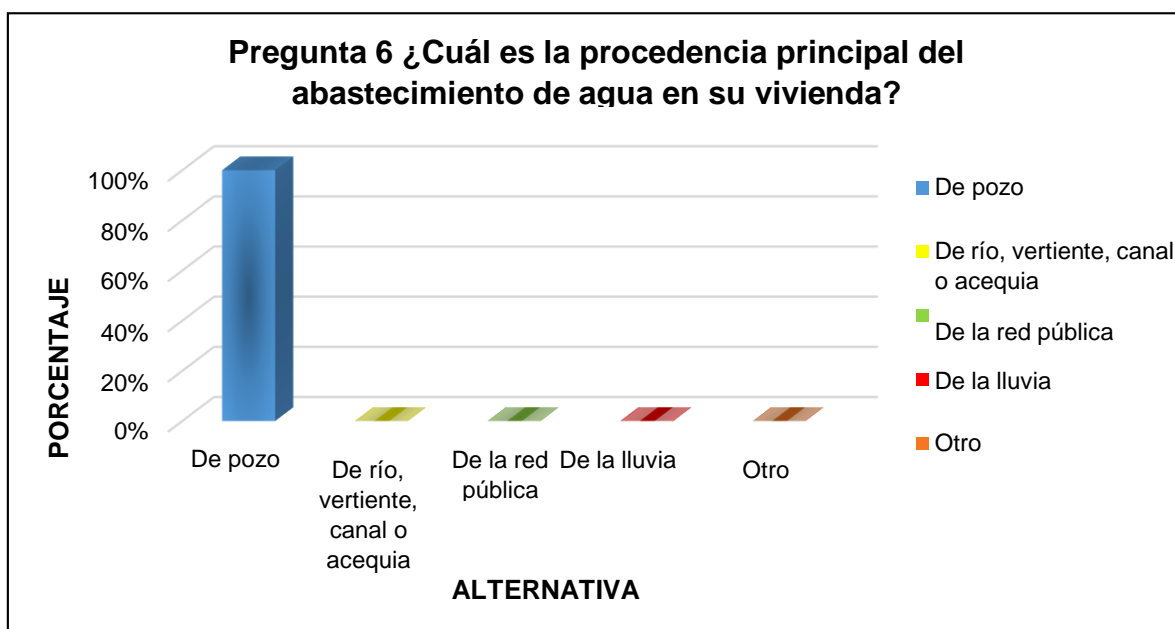
En relación a esta se puede notar que las viviendas en su minoría están ocupadas por más de cinco personas, ya que el 45.83 % de las personas encuestadas confirmaron estar integradas por esta cantidad, las cuales ocupan un rango de 6 a 9 personas por vivienda según datos proporcionados por las mismas. El 54.16 % equivale a menos de 5 personas, ocupando un rango de 1 a 5 personas por vivienda.

**Pregunta 6** ¿Cuál es la procedencia principal del abastecimiento de agua en su vivienda?

*Tabla 18. Abastecimiento de agua (Cedro).*

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>MUESTRA (Habitantes)</b>	<b>PORCENTAJE</b>
De pozo	120	100%
De río, vertiente, canal o acequia	0	0%
De la red pública	0	0%
De la lluvia	0	0%
Otro	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores,2021



**Figura 6.** Abastecimiento de agua en su vivienda  
Fuente: Autores,2021

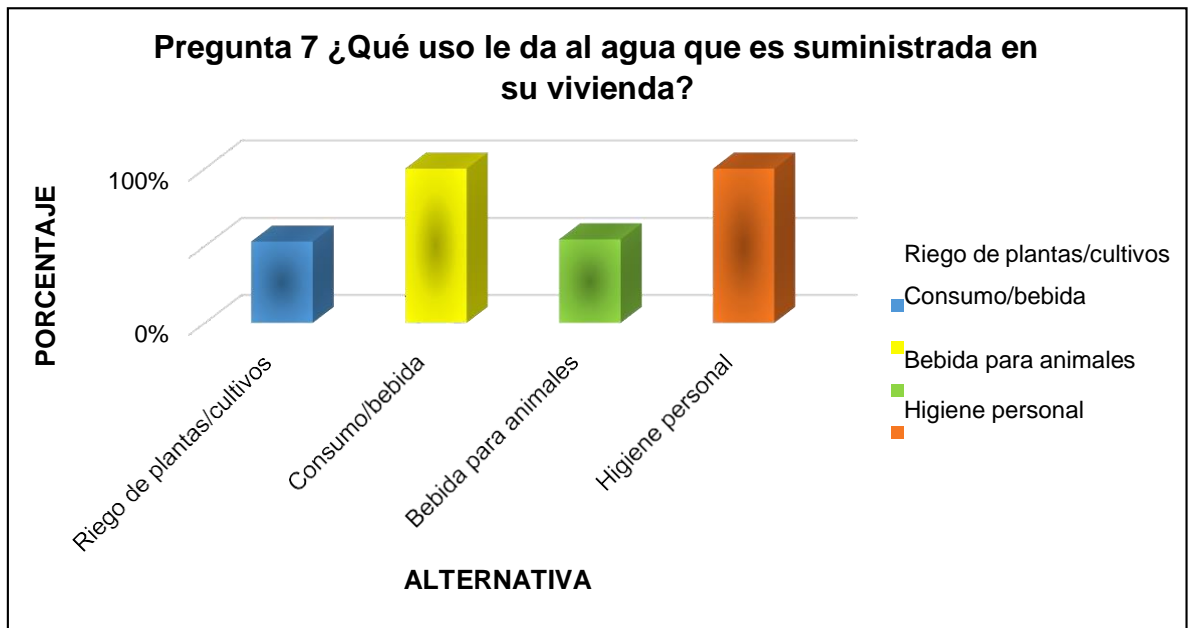
El abastecimiento de agua para la totalidad de las personas encuestadas proviene principalmente de pozo y no se evidencian viviendas cuya procedencia del líquido sea diferente a esta.

**Pregunta 7** ¿Qué uso le da al agua que es suministrada en su vivienda? Puede seleccionar más de una opción.

**Tabla 19.** Uso que se le da al agua.

ALTERNATIVA	MUESTRA (120 Habs.)	PORCENTAJE
Riego de plantas/cultivos	64	53%
Consumo/bebida	120	100%
Bebida para animales	65	54%
Higiene personal	120	100%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>----</b>

Fuente: Autores,2021.



**Figura 7. Uso del agua en su vivienda**  
**Fuente: Autores,2021**

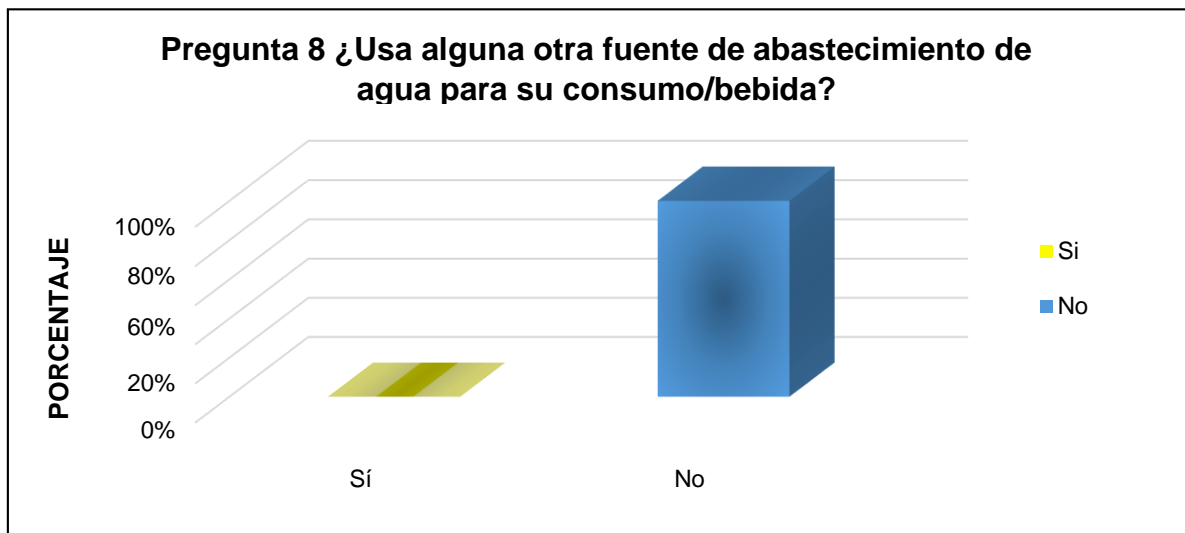
En cuanto al uso que se le da al agua suministrada, se observa que la totalidad de las personas encuestadas la emplean para consumo/bebida y para higiene personal, en cambio el 53 % de estas consideran su uso para el riego de plantas/cultivos y el 54 % para bebida de animales.

**Pregunta 8** ¿Usa alguna otra fuente de abastecimiento de agua para su consumo/bebida?

**Tabla 20. Uso de otra fuente de abastecimiento de agua para consumo.**

ALTERNATIVA	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Si	0	0%
No	120	100%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

**Fuente: Autores,2021**



**Figura 8.** Fuente de abastecimiento  
Fuente: Autores,2021

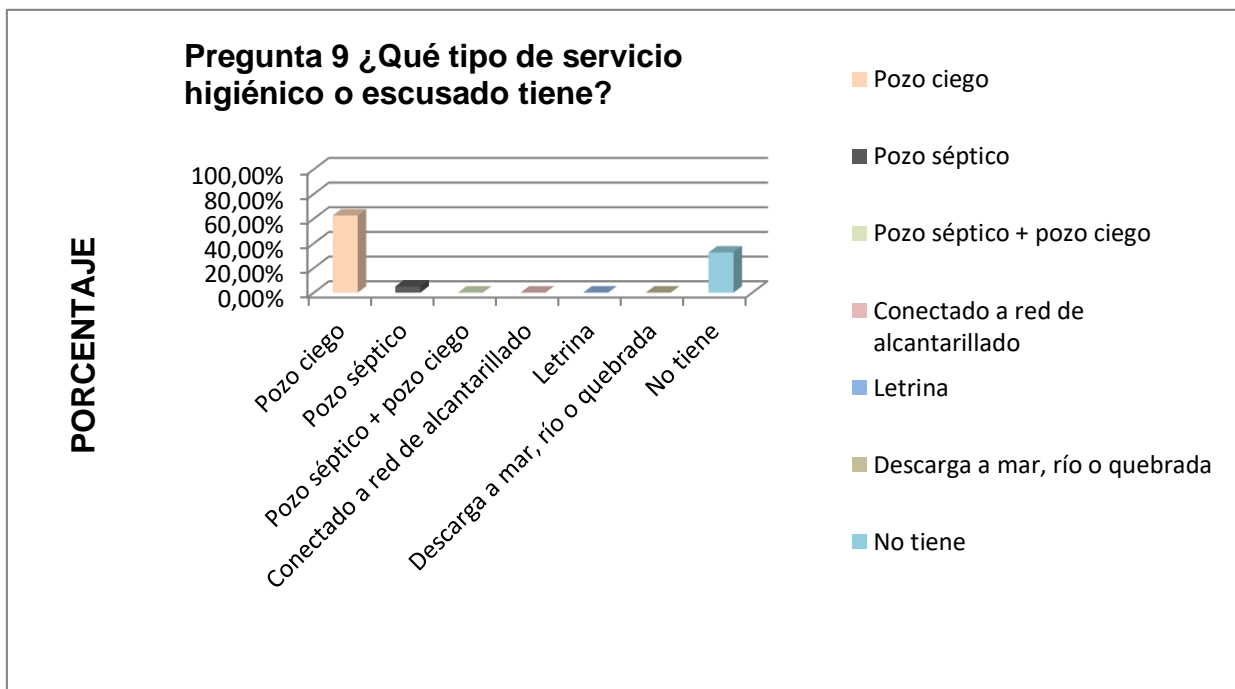
El 100 % de las personas encuestadas manifiestan que no usa otra fuente de abastecimiento de agua para consumo/bebida.

**Pregunta 9** ¿Qué tipo de servicio higiénico o escusado tiene?

**Tabla 21.** Servicio higiénico o escusado

ALTERNATIVA	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Pozo ciego	75	62.5%
Pozo séptico	6	5%
Pozo séptico + pozo ciego	0	0%
Conectado a red de alcantarillado	0	0%
Letrina	0	0%
Descarga a mar, río o quebrada	0	0%
No tiene	39	32.5%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores,2021



**Figura 9.** Servicio higiénico o escusado (El Cedro)

**Fuente:** Autores,2021

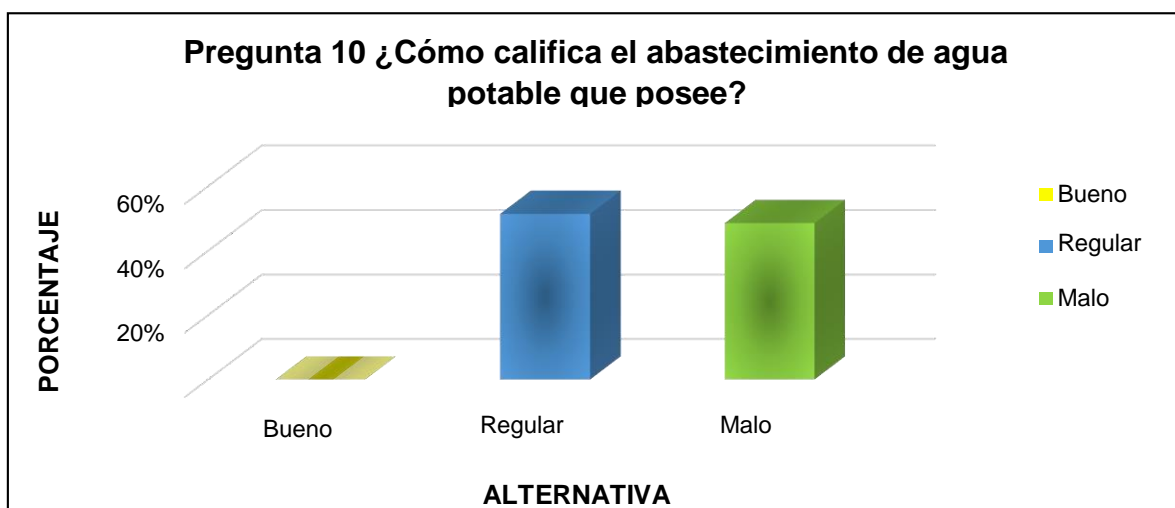
En un 62.5% de las personas encuestadas manifiestan tener instalados en sus casas pozos ciegos para el servicio higiénico, Un 5% pertenece a personas que manifiestan tener construidos pozos sépticos en sus casas y por último un 32.5% manifiestan no tener ningún servicio higiénico en sus casas.

**Pregunta 10** ¿Cómo califica el abastecimiento de agua potable que posee?

**Tabla 22.** Calificación del abastecimiento de agua

ALTERNATIVA	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Bueno	0	0%
Regular	61	51%
Malo	59	49%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Autores,2021.



**Figura 10.** Servicio de abastecimiento de Agua Potable

**Fuente:** Autores,2021

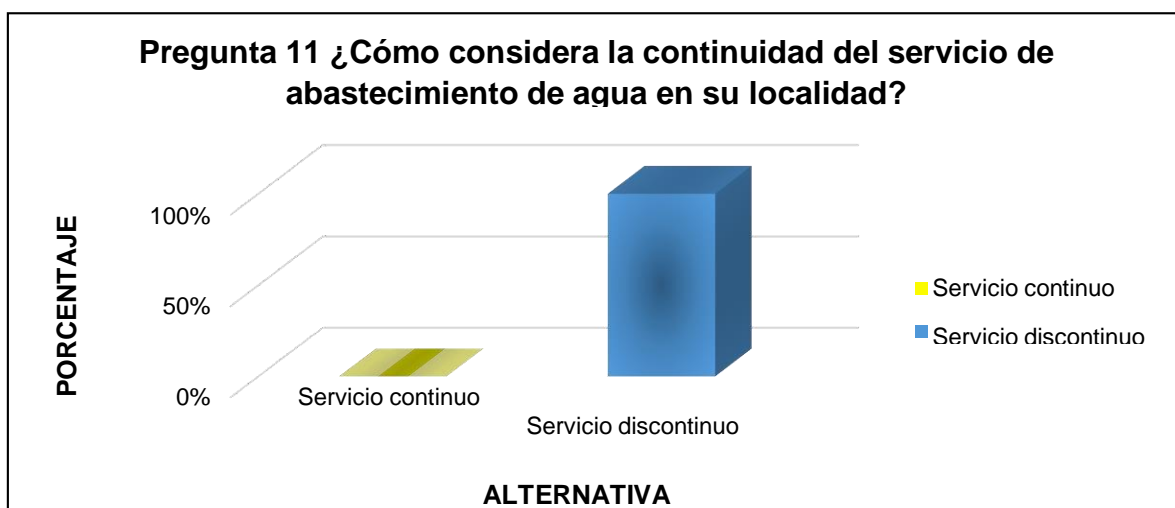
El 51 % de los encuestados manifiestan que el servicio de abastecimiento de agua potable en la comunidad es regular, mientras que el 49 % afirma que es malo. Cabe resaltar que no se registraron personas que calificaran el servicio como bueno.

**Pregunta 11** ¿Cómo considera la continuidad del servicio de abastecimiento de agua en su localidad?

**Tabla 23.** Continuidad del servicio de abastecimiento de agua

ALTERNATIVA	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Servicio continuo	0	0%
Servicio discontinuo	120	100%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Autores,2021



**Figura 11.** Servicio higiénico o escusado  
**Fuente:** Autores,2021

El servicio de abastecimiento de agua potable en la localidad es discontinuo según lo manifestado por la totalidad de las personas encuestadas.

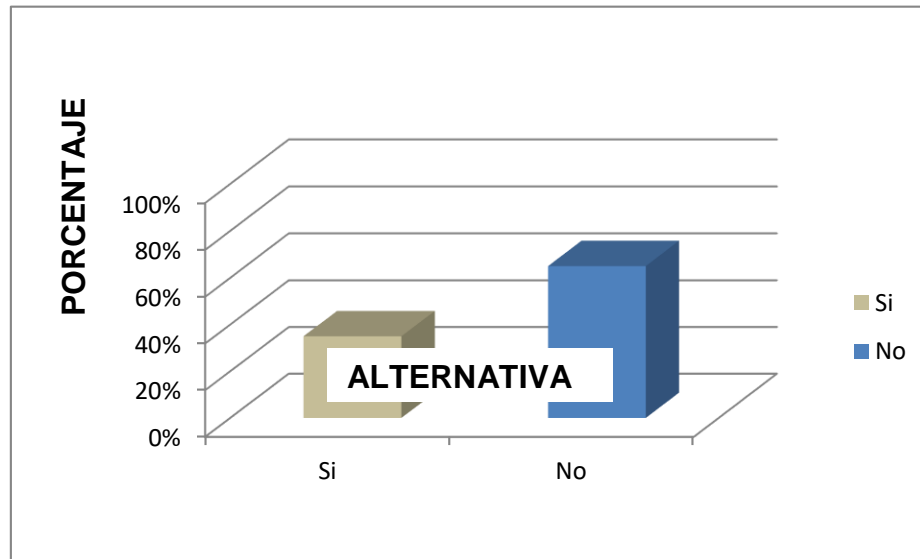
**Pregunta 12** ¿Paga actualmente una tarifa por el servicio de abastecimiento de agua de su vivienda?

**Tabla 24.** Pago de tarifa por el servicio de abastecimiento de agua (El Cedro).

ALTERNATIVA	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Si	42	35%
No	78	65%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Autores,2021

**Pregunta 12 ¿Paga actualmente una tarifa por el servicio de abastecimiento de agua de su vivienda?**



**Figura 12.** Tarifa del servicio de agua potable

Fuente: Autores,2021

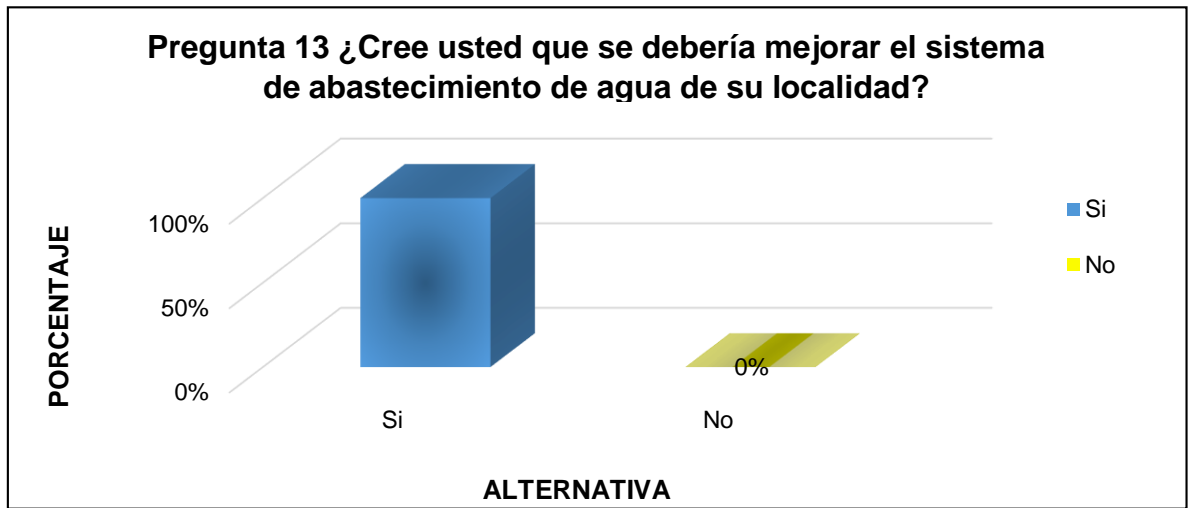
Actualmente el 35% de las personas manifiestan que hacen pago por el servicio de abastecimiento de agua, el otro 65% manifiestan que no hacen pago del servicio de abastecimiento de agua.

**Pregunta 13** ¿Cree usted que se debería mejorar el sistema de abastecimiento de agua de su localidad? Tenga en cuenta que un mejor sistema generará una mejor calidad de agua para consumo.

**Tabla 25.** Mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable

ALTERNATIVA	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Si	120	100%
No	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores,2021



**Figura 13. Mejoramiento del servicio**  
Fuente: Autores, 2021

Los resultados determinan que el 100 % de las personas encuestadas creen que se debería mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable en su localidad.

**Pregunta 14** ¿Estaría dispuesto a colaborar en la mejora del sistema de abastecimiento de agua de su localidad?

**Tabla 26. Actitud de colaborar en la mejora (El Cedro).**

ALTERNATIVA	MUESTRA (Habitantes)	PORCENTAJE
Si	120	100%
No	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores, 2021

ALTERNATIVA	MUESTRA (120 Habitantes)	PORCENTAJE
Mano de obra	58	48.33%
Pago tarifa mensual	62	51.66%
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores,2021.

Figura 16. Actitud de colaborar en la mejora (El Cedro).

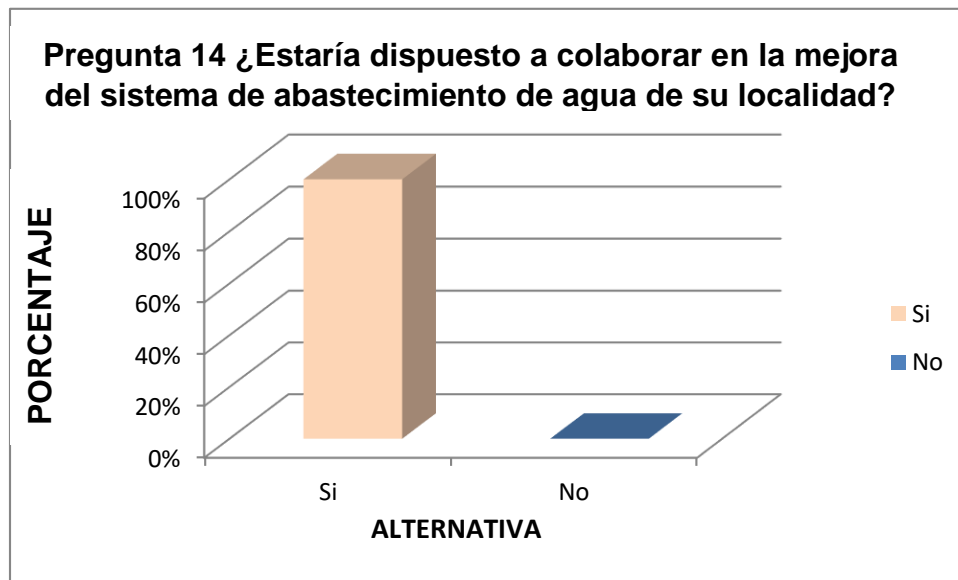


Figura 14. Disposición para mejorar el servicio

Fuente: Autores,2021

El 100 % de las personas encuestadas están dispuestas a colaborar en la mejora del sistema de abastecimiento de agua de su corregimiento, considerando la opción de mano de obra y el pago de la tarifa mensual por el mejoramiento del sistema.

## **6.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOSQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA TOMANDO COMO REFERENCIA LA RESOLUCIÓN 2115 DE 2007**

A continuación, se plasman los resultados obtenidos del análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para cada una de las muestras tomadas, teniendo como referencia la resolución 2115 de 2007. Esta fue llevada a cabo el día 05 de enero de 2020, época de verano en la zona. Cabe resaltar que en esta jornada se realizó una dilución de 1/100 sobre las muestras para análisis microbiológico en el laboratorio de control de calidad de los laboratorios Nancy florez S.A.S por tratarse de aguas crudas y considerar que son aguas concentradas. Es importante mencionar que a aquellos valores que no cumplen con los valores máximos o mínimos permisibles por la resolución 2115 de 2007, se les asignó un color rojo como indicativo de incumplimiento.

**Tabla 27. Resultados análisis de laboratorio**

Lugar:			Corregimiento El Cedro			
Punto:			Salida Bomba	Grifo Casa más Próxima (Flia.Perez Amador)	Grifo Casa Central (Flia. Month Pedrozo)	Grifo Casa más Alejada (Flia. Miranda Martínez)
Hora:			10:43 a.m.	01:46 p.m.	02:19 p.m.	02:37 p.m.
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			M- 1	M- 2	M-3	M-4
Parámetros	Expresado Como	Valor Máximo Aceptable				
Color Aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15	3	1	1	1
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT)	2	1,98	0,59	1,41	0,51
Conductividad	Microsiemens/cm	1000	6820	1404	1389	1326
pH	Potencial de Hidrógeno	6,5 - 9,0	7,42	7,37	7,33	7,36
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS			Mx 1	Mx 3	Mx 4	Mx 5
Parámetros	Expresado Como	Valor Máximo Aceptable (mg/L)				
Nitritos	NO <sub>2</sub>	0,1	0,15	0,03	0,03	0,03
Fluoruros	F	1,0	0,07	6,60	6,00	0,08
Alcalinidad Total	CaCO <sub>3</sub>	200	117	344	342	345
Acidez	CaCO <sub>3</sub>	50	23	40	39	36
Cloruros	Cl	250	2075	1200	270	270
Dureza Total	CaCO <sub>3</sub>	300	995	180	178	197
Dureza Calcica	-----	N/A	760	74	69	75
Dureza Magnésica	-----	N/A	235	106	109	122
Hierro Total	Fe	0,3	0,24	0,04	0,03	0,03

**TABLA 27. (CONTINUACIÓN)**

<b>Lugar:</b>			<b>Corregimiento El Cedro</b>			
<b>Punto:</b>			Salida Bomba	Grifo Casa más Próxima (Flia. Perez Amador)	Grifo Casa Central (Flia. Month Pedrozo)	Grifo Casa más Alejada (Flia. Miranda Martínez)
<b>Hora:</b>			10:40 a.m.	01:48 p.m.	02:21 p.m.	02:39 p.m.
<b>CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS*</b>			<b>M- 1</b>	<b>M-3</b>	<b>M-4</b>	<b>M- 5</b>
<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Valor Máximo Aceptable (mg/L)</b>				
Coliformes Totales	UFC/100 Cm3	0	0	0	0	0
Escherichia Coli	UFC/100 Cm3	0	0	0	0	0

**Fuente:** Autores,2021

Como podemos observar todas las muestras sobrepasan los valores permisibles por la resolución 2115 de 2007 en cuanto al parámetro físico de conductividad. Este parámetro es más fuerte en las muestras tomadas en la salida de toma de agua de la bomba y el de la casa más próxima a la localización de esta (**M-1**, **M-2** respectivamente). Por otra parte, la muestra tomada en el punto de salida de la bomba (**M-1**), presenta valores inadmisibles para Nitritos, cloruros y dureza total. Para la muestra tomada en el grifo de la casa más próxima al punto de la bomba (**M-2**) y la casa más central a esta (**M-3**), se tiene que los valores de fluoruros alcalinidad total y cloruros se pasan de los valores máximos admisibles por la resolución. Para la muestra tomada en la casa más lejana al punto de la bomba (**M-4**), vemos que sus propiedades físicas varían con respecto a las demás, sólo presenta valores inadmisibles para la conductividad y los cloruros, aun así, sigue siendo de mala calidad para el consumo humano.

### 6.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS INDICES DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO (IRCA)

*Tabla 28. Puntaje de Riesgo M-1*

Parámetro	Resultado de análisis	Límite permitido por la resolución 2115 de 2007	Puntaje de riesgo
Color Aparente (UPC)	3	15	0
Turbiedad (UNT)	1,98	2	0
pH	7,42	6,5 – 9,0	0
Nitritos (Mg de NO <sub>2</sub> /L)	0,15	0,1	3
Fluoruros (Mg de F/L)	0,07	1,0	0
Alcalinidad Total (Mg de CaCO <sub>3</sub> /L)	117	200	0
Cloruros (Mg de Cl/L)	2075	250	1
Dureza Total (Mg de CaCO <sub>3</sub> /L)	995	300	1
Hierro Total (Mg de Fe/L)	0,24	0,3	0
Coliformes Totales (UFC/100 cm <sup>3</sup> )	0	0	0

Escherichia Coli (UFC/100 cm <sup>3</sup> )	0	0	0
<b>Total Puntaje de Riesgo</b>			<b>5</b>

Fuente: Autores,2021

Tenemos que,

$$IRCA(M - 1) = \frac{5}{71} \times 100 = 7\%$$

El índice porcentual en la muestra Mx 1 de la primera jornada presentó un valor de 7 % el cual según la Tabla 14 se valora como un tipo de agua de riesgo BAJO y que no es apta para consumo humano directo, pero es susceptible de mejoramiento.

**Tabla 29.** Puntaje de Riesgo M-2

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado de análisis</b>	<b>Límite permitido por la resolución <u>2115 de 2007</u></b>	<b>Puntaje de riesgo</b>
Color Aparente (UPC)	5	15	0
Turbiedad (UNT)	3,61	2	15
pH	8,04	6,5 – 9,0	0
Nitritos (Mg de NO <sub>2</sub> /L)	0,03	0,1	0
Fluoruros (Mg de F/L)	0,80	1,0	0
Alcalinidad Total (Mg de CaCO <sub>3</sub> /L)	48	200	0
Cloruros (Mg de Cl/L)	210	250	0
Dureza Total (Mg de CaCO <sub>3</sub> /L)	64	300	0
Hierro Total (Mg de Fe/L)	0,10	0,3	0
Coliformes Totales (UFC/100 cm <sup>3</sup> )	5x10 <sup>-3</sup>	0	15
Escherichia Coli (UFC/100 cm <sup>3</sup> )	2x10 <sup>-3</sup>	0	25
<b>PUNTAJE DE RIESGO</b>			<b>55</b>

Fuente: Autores,2021

Tenemos que,

$$IRCA(M - 2) = \frac{55}{71} \times 100 = 77,5\%$$

En la muestra M-2 el índice porcentual arrojó un valor de 77,5 % lo cual según la Tabla 14 se valora como un tipo de agua de riesgo ALTO y que no es apta para consumo humano. Asimismo, se debe hacer gestión directa de acuerdo a la competencia de la persona prestadora del servicio, de los alcaldes y gobernadores respectivos

*Tabla 30. Puntaje de Riesgo M-3*

Parámetro	Resultado de análisis	Límite permitido por la resolución 2115 de 2007	Puntaje de riesgo
Color Aparente (UPC)	1	15	0
Turbiedad (UNT)	0,59	2	0
pH	7,37	6,5 – 9,0	0
Nitritos (Mg de NO <sub>2</sub> /L)	0,03	0,1	0
Fluoruros (Mg de F/L)	6,60	1,0	1
Alcalinidad Total (Mg de CaCO <sub>3</sub> /L)	344	200	1
Cloruros (Mg de Cl/L)	220	250	0
Dureza Total (Mg de CaCO <sub>3</sub> /L)	180	300	0
Hierro Total (Mg de Fe/L)	0,04	0,3	0
Coliformes Totales (UFC/100 cm <sup>3</sup> )	0	0	0
Escherichia Coli (UFC/100 cm <sup>3</sup> )	0	0	0
<b>Total Puntaje de Riesgo</b>			<b>2</b>

Fuente: Autores,2021

Tenemos que,

$$IRCA(M - 3) = \frac{2}{71} \times 100 = 2,8\%$$

La muestra **M-3** de la primera jornada presentó un índice porcentual de 2,8 %, el cual según la Tabla 14 se valora como un tipo de agua de riesgo SIN RIESGO y que es apta para consumo humano. Por consiguiente, se debe continuar con el control y la vigilancia.

Tabla 31. Puntaje de Riesgo M-4

Parámetro	Resultado de análisis	Límite permitido por la resolución <u>2115 de 2007</u>	Puntaje de riesgo
Color Aparente (UPC)	1	15	0
Turbiedad (UNT)	1,41	2	0
pH	7,33	6,5 – 9,0	0
Nitritos (Mg de NO <sub>2</sub> /L)	0,03	0,1	0
Fluoruros (Mg de F/L)	6,00	1,0	1
Alcalinidad Total (Mg de CaCO <sub>3</sub> /L)	342	200	1
Cloruros (Mg de Cl/L)	220	250	0
Dureza Total (Mg de CaCO <sub>3</sub> /L)	178	300	0
Hierro Total (Mg de Fe/L)	0,03	0,3	0
Escherichia Coli (UFC/100 cm <sup>3</sup> )	0	0	0
<b>Total Puntaje de Riesgo</b>			<b>2</b>

Fuente: Autores,2021

Tenemos que,

$$IRCA(M - 4) = \frac{2}{71} \times 100 = 2,8\%$$

La muestra **M-4** presentó un índice porcentual de 2,8 %, índice similar al observado en la muestra **M-3**, el cual se valora como un tipo de agua de riesgo SIN RIESGO y que es apta para consumo humano. Por consiguiente, se debe continuar con el control y la vigilancia.

### **6.3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL CORREGIMIENTO DE EL CEDRO.**

En esta etapa se hizo un diagnóstico y se revisó el estado de cada uno de los componentes del sistema de abastecimiento que posee en la actualidad la población objeto de estudio.

#### **6.3.1. FUENTE DE ABASTECIMIENTO.**

Los habitantes del corregimiento de El Cedro se abastecen de agua subterránea. Esta posee una temperatura promedio de 33,2 °C (según lo registrado en los resultados de las muestras recogidas en las jornadas de recolección de muestras).

La principal característica de esta agua es que es salobre, deducción sacada por los altos valores de conductividad y Cloruros que mostraron los resultados de los análisis de las muestras recolectadas, los cuales exceden lo estipulado en la resolución 2115 de 2007. Esto pudo ser causado porque la fuente puede provenir de un acuífero al cual de forma natural se le incorporaron sedimentos o por actividad antropogénica. Según Ribera 2016 *“La profundidad del agua subterránea suele relacionarse directamente con la salinidad de la misma y, en paralelo, con la viabilidad técnica o el coste del abastecimiento y riego con agua subterránea está fuertemente condicionado por su salinidad”*, pero existen muchos casos en el que el agua se ve afectada por una alta salinidad en sus características aun cuando esta está a muy poca profundidad.

#### **6.3.2. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA.**

Del sistema de captación de agua presente en el lugar no se tiene una información muy detallada debido a que no existen registros por parte de la empresa de servicios públicos que opera en el sector, pero, se pudo acceder a cierta información de las obras de operación del sistema gracias al encargado de la operación del sistema.

Según datos entregados por la persona encargada de asegurar la correcta operación del sistema (quién es habitante de la zona) y los tomados en campo, obtuvimos que

la captación de agua se da mediante un pozo perforado de unos 180 metros de profundidad, un diámetro de perforación de 12 pulgadas y un entubado de 6 pulgadas; además de esto, el pozo cuenta con:

- Tuberías de ascenso y distribución del agua.
- Tanque de almacenamiento de 2000Lts en polietileno que se encuentra un poco desgastado.
- No cuenta con un sello sanitario.
- El pozo se encuentra dentro de un “cuarto” protegido con llave y candado, por lo que en la zona sólo entra el encargado de la operación del sistema y se evita también la circulación de animales dentro del lugar.
- La zona se encuentra rodeada por vegetación.
- No hay una zanja de coronación para drenaje de aguas.
- El pozo se encuentra totalmente sellado.

Entre otros aspectos relacionados con los resultados de los análisis, cabe destacar que, al comparar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con los valores permitidos por la resolución 2115 de 2007, se obtuvo una calificación para ambas muestras de “NO APTA PARA CONSUMO HUMANO” porque el valor porcentual del IRCA es de 50,3%, es decir, un nivel de riesgo ALTO; Por lo que se hace necesario tomar las medidas pertinentes para mejorar la situación de la calidad de los componentes del sistema de abastecimiento y asimismo, la construcción de aquellos elementos que hacen falta.

El caudal promedio que suministra el pozo varía según las condiciones climáticas y según la época (ya sea verano o invierno) por la que esté atravesando el corregimiento. Actualmente (época de verano) el caudal promedio que se produce es de 22 Lt/s según lo dicho por el operador encargado. El agua suministrada por el pozo es netamente para uso agrícola y ganadero.

#### **6.4. COMPONENTES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EXISTENTE EN EL CORREGIMIENTO.**

Según la información suministrada por el operador del sistema, hay un bombeo directo de agua hacia las redes de distribución, por lo que es de común entendimiento que no se cuenta con una línea de aducción, que es la encargada de transportar el agua hacia la planta de tratamiento y de ahí hacia las viviendas. Las tuberías que hacen parte de la red de distribución a simple vista se encuentran en buenas condiciones, no se observaron fugas visibles en ningún tramo de la red. Estas tuberías tienen un diámetro de 2" y 3" cuyo material es de policloruro de vinilo (PVC); Concretamente no se tiene la medida exacta de la longitud de la red, esto debido a que no se cuenta con planos estructurales ni con los diseños de la misma.

Según lo mencionado anteriormente y los datos recopilados en campo (ANEXO.) se realizó la valoración del riesgo de contaminación. Aquí se cuantificaron los incumplimientos y cada uno de los aspectos que se observaron en la visita. Por ende, se obtuvo un nivel de riesgo MEDIO (teniendo en cuenta que los componentes faltantes en el sistema de abastecimiento como lo son la red de aducción y el reservorio afectaron en la valoración). En relación a eso, se hace necesario corregir y tomar las acciones pertinentes que permitan mejorar las condiciones actuales del sistema.

**Figura 15.** Componentes obra de captación presente en la zona



En esta etapa se analizaron las posibles alternativas para los diseños de optimización del sistema de abastecimiento de agua potable según las condiciones actuales de la zona y la que mejor se adapte las necesidades de los habitantes que se deben subsanar. Cabe resaltar otros aspectos que se tienen en cuenta como lo son los costos mínimos de operación, simplicidad y seguridad de operación.

A continuación, se describen las alternativas propuestas.

#### **6.4.1. FUENTE DE ABASTECIMIENTO.**

En este caso el número de alternativas para la fuente de abastecimiento se encuentra sujeto a la disponibilidad y cantidad de lugares presentes en la zona de las que se pueda hacer uso; Gracias a la visita e inspección que se realizó en la zona, obtuvimos que se pueden usar dos fuentes de las cuales se puede abastecer el sistema, estas son:

- Agua Subterránea.
- Agua proveniente de las precipitaciones (agua de lluvia).

Como el corregimiento de El Cedro presenta precipitaciones a finales de año, esta es una alternativa no viable ya que la cantidad de agua que ofrecería, no sería abundante, por lo que no garantiza que cumpla con la demanda de agua para la zona. Por lo anteriormente expuesto, el agua subterránea es la opción más viable, además, se estaría aprovechando la obra de captación de pozo perforado presente en la zona con la cual se abastecen en la actualidad.

#### **6.4.2. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.**

Para este caso se tuvieron en cuenta los resultados de los análisis físico-químicos, microbiológicos de las muestras evaluadas, además del caudal necesario para abastecer la totalidad de la población. Como no podemos apartarnos de la realidad de las condiciones de la comunidad, se tuvo mucho cuidado a la hora de plantear las alternativas con respecto al sistema de tratamiento que hará parte de nuestro diseño, ya que hay factores limitantes tanto económicos para la construcción del sistema

como técnicos que dificultan la tarea de operación al que será el encargado de controlarlo.

“Una planta compacta de tratamiento de agua es apropiada para pequeñas comunidades o campos (petroleros o constructores) que no tienen acceso a tratamientos centrales de agua potable como los de un municipio pequeño o una ciudad.” (ACUATECNICA S.A.S, 2016).

Por lo anteriormente descrito y como la población objetivo es relativamente pequeña, la opción más viable es una planta de tratamiento compacta con osmosis inversa, esta trae consigo muchas ventajas entre ellas, una fácil instalación, son económicas, fáciles de operar por lo que no requieren de personal especializado.

#### **6.4.3. Sistema de energía para la bomba.**

En este punto tenemos dos factores claves que nos pueden servir de mucha ayuda para suplir de energía suficiente para que la bomba pueda funcionar correctamente. Uno de ellos es el viento, por lo general en el municipio de El Banco, Magdalena suelen presentarse ráfagas de viento muy fuertes, según un artículo publicado en el 2017 por EL TIEMPO acerca de las ciudades con los vientos más fuertes en Colombia, dice que *“El Banco, en el Magdalena, es el municipio con la velocidad del viento más rápida en Colombia. Al año sus ráfagas registran un promedio de 5,1 metros por segundo”* y el corregimiento de El Cedro no es ajeno a esta característica, según los habitantes de la zona hay días en los que la mayoría del tiempo hay fuertes corrientes de aire (aspecto que pudimos constatar el día que visitamos la zona); Por esta razón surgió la alternativa del funcionamiento del sistema mediante aerogeneradores, ya que estos son capaces de transformar la fuerza del viento en electricidad.

Por otra parte, está el aprovechar la energía o radiación solar la cual es abundante en la zona y se aprovecharía al máximo mediante un sistema fotovoltaico. *“En Colombia se encuentran zonas donde la radiación incidente está entre 3,0 Kw/h/día y 6,0 Kw/h/día por metro cuadrado, razón por la cual las condiciones del país son*

*favorables para la implementación de esta tecnología debido a su buen nivel de radiación incidente, en especial en las zonas del norte del país como en los departamentos del Cesar, Magdalena, Atlántico y la Guajira.” (Báez & Forero, 2018).*

Por lo anteriormente descrito y analizando las diferentes opciones, se llegó a la conclusión de que, si bien las dos alternativas proveen energía renovable, un sistema fotovoltaico es la mejor opción, pues los aerogeneradores tienen un alto costo de construcción y además de eso, pueden ser muy ruidosos y generar molestias a los habitantes del corregimiento.

#### **6.4.4. Sistema de almacenamiento de agua.**

Un tanque de almacenamiento, como su nombre lo indica, es el encargado de almacenar el agua, cuyo principal objetivo es el de cubrir las necesidades de la demanda de agua, permitiendo que en horas donde aumente el consumo de agua, siempre exista un flujo normal del líquido.

Realizando las respectivas investigaciones hay varios sistemas de almacenamiento como los tanques de almacenamiento enterrados, semienterrados, elevados, etc. pero teniendo en cuenta aspectos como las condiciones del terreno, economía, demanda del agua e infraestructura existente se consideró como mejor opción un tanque de almacenamiento elevado. Estos se caracterizan por encontrarse por encima del nivel del terreno natural, soportados mediante columnas, pilotes o por paredes.

### **6.5. ETAPA DE DISEÑO.**

#### **6.5.1. PROYECCION DE LA POBLACION**

Las proyecciones para la población se realizaron a partir del 2021, y según los datos entregados por la líder de junta comunal y los tomados en campo, tenemos que:

- Para el año 2020 había un total de 24 viviendas, con un promedio de 5 personas viviendo en ellas, por lo que el número total de habitantes es de 120.

La población futura se determinó mediante el método aritmético, debido a que es el que se ajustaba a las condiciones de la información con la que se tenía y se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} X (T_f - T_{uc})$$

Donde:

$P_f$  = 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 con información.

$T_f$  = Año al cual se quiere proyectar la información.

Como,

$$r = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}}$$

Entonces,

$$P_f = P_{uc} + [(r)X (T_f - T_{uc})]$$

Donde,

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

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

$r$  = Tasa de crecimiento anual en forma decimal(habitantes).

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

$T_{ci}$  = Año correspondiente al censo inicial con información.

$T_f$  = Año al cual se quiere proyectar la información.

Según los datos reportados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), obtuvimos que:

**Figura 16.** Censo población rural según DANE para municipio de El Banco al año 1993.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA									
INFORMACIÓN ESTADÍSTICA									
XVI CENSO NACIONAL DE POBLACION Y V DE VIVIENDA - 1993									
Población total censada, por área y sexo, según departamentos y municipios									
Departamentos y municipios	Total			Cabecera			Resto		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	
Total Nacional	33.109.840	16.296.539	16.813.301	23.514.070	11.211.708	12.302.362	9.595.770	5.084.831	
El Banco	54.992	28.408	26.584	36.801	18.357	18.444	18.191	10.051	
El Pinon	14.867	7.908	6.959	4.341	2.229	2.112	10.526	5.679	
Fundacion	51.251	25.368	25.883	36.315	17.437	18.878	14.936	7.931	

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE),2020

**Figura 17.** Censo población rural según DANE para el municipio de El Banco al año 2005

692	MAGDALENA	1.136.819	573.639	563.180	785.801	384.294	401.507	351.018	189.345	161.673
693	Santa Marta	414.387	199.761	214.626	383.991	183.818	200.173	30.396	15.943	14.453
694	Algarrobo	11.556	6.102	5.454	7.319	3.781	3.538	4.237	2.321	1.916
695	Aracataca	34.929	17.752	17.177	19.915	9.933	9.982	15.014	7.819	7.195
696	Arguaní	30.568	15.875	14.693	18.170	9.017	9.153	12.398	6.858	5.540
697	Cerro San Antonio	8.058	4.202	3.856	4.258	2.203	2.055	3.800	1.999	1.801
698	Chibolo	16.018	8.615	7.403	10.263	5.363	4.900	5.755	3.252	2.503
699	Ciénaga	100.908	49.983	50.925	87.355	42.507	44.848	13.553	7.476	6.077
700	Concordia	9.922	5.298	4.624	3.950	2.081	1.869	5.972	3.217	2.755
701	El Banco	53.544	27.250	26.294	32.556	16.079	16.477	20.988	11.171	9.817

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE),2020

**Figura 18. Censo población rural según DANE para el municipio de El Banco al año 2018**

Año	COD_DPTO	NOMBRE DPTO	COD_MPIO	NOMBRE MPIO	SEXOS	CERA			CENTROS POBLADOS Y RURAL DISPERSO				
						2021	2022	2023	2018	2019	2020	2021	2022
1999	47	Magdalena	47205	Concordia	HOMBRES	2.313	2.293	2.272	3.361	3.493	3.597	3.687	3.764
2000	47	Magdalena	47205	Concordia	MUJERES	2.100	2.079	2.056	2.967	3.098	3.206	3.301	3.378
2001	47	Magdalena	47245	El Banco	AMBOS SEX	42.860	42.944	42.998	23.576	25.606	27.180	27.923	28.540
2002	47	Magdalena	47245	El Banco	HOMBRES	21.042	21.061	21.065	12.402	13.461	14.283	14.668	14.991

**Fuente:** Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE),2020

**Tabla 32. Cálculo Tasa de Crecimiento según censos realizados por el DANE para El Banco, Magdalena en la zona rural**

POBLACIÓN ZONA RURAL					
Año	Población	Metodo Geometrico		Metodo Exponencial	
1993	18191	r1	0,012	k1	0,012
2005	20988	r2	0,009	k2	0,009
2018	23576	<b>r</b>	<b>0,010</b>	<b>k</b>	<b>0,0104</b>

**Fuente:** Autores,2020

Los resultados de los cálculos realizados, nos indica que la tasa de crecimiento para la zona rural de El Banco es igual a  $r = 0.0104$  ----  $> 1\%$

Utilizando esa tasa de crecimiento para la población de El Cedro, la proyección de la población nos da:

**Tabla 33. Población proyectada a 25 años.**

Año de proyección	Población Proyectada
2021	121
2026	128
2031	135
2036	142
2041	149
2046	157

**Fuente:** Autores,2020

157, sería la población proyectada a 25 años.

### 6.5.2. NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

En este punto se tuvieron en cuenta tres factores claves definidos en el título A más específicamente en el literal A.3., para la selección del nivel de complejidad del sistema y estos son el número de habitantes, la capacidad económica y el grado de exigencia técnica. En la tabla. Se muestran las variables que permiten definir el nivel de complejidad del sistema.

*Tabla 34. Nivel de complejidad según población y actividad económica.*

<b>Nivel de complejidad</b>	<b>Población en la zona urbana (habitantes)</b>	<b>Capacidad económica de los usuarios</b>
Bajo	< 2500	baja
medio	2501 a 12500	baja
Medio alto	12501 a 60000	Media
alto	> 60000	alta

*Fuente: RAS 2000, Literal A.3.1, Tabla A.3.1.*

• **Número de habitantes:** Según el dato obtenido en los cálculos para la proyección de la población, se clasifica como un nivel de complejidad bajo ya que la población es menor a 2500 habitantes.

• **Capacidad económica de los usuarios:** Debido a que el corregimiento de El Cedro es una zona rural y además de eso su principal actividad se basa en la agricultura y labores artesanales, la clasificación es un nivel de complejidad bajo.

El grado de exigencia técnica es bajo, porque la mayoría de los habitantes de esta zona no poseen una preparación avanzada.

### 6.5.3. Periodo de Diseño para componentes del sistema de abastecimiento.

Según lo establecido en la resolución 0330 de 2017 el periodo de diseño de todos los componentes es de 25 años.

#### 6.5.4. Dotación Neta y Bruta.

Como no se cuenta con datos históricos de consumo de agua potable, ni se cuenta con un registro de suscriptores y por ende no se tiene una facturación, calculamos la dotación neta por habitante. Para tal efecto, se hizo necesario chequear el artículo 43 de la resolución 0330 de 2017, la cual nos indica en la tabla 1 (de ese mismo artículo). que este valor, va a depender de la altura promedio sobre el nivel del mar de la zona. Los valores establecidos son los siguientes:

**Tabla 35.** Dotación neta según altura promedio sobre el nivel del mar de la zona

<b>altura promedio sobre el nivel del mar de la zona</b>	<b>Dotación neta (L/hab*día)</b>
<b>&gt;2.500 m.s.n.m</b>	120
<b>1000 – 2000</b>	130
<b>&lt;1000 m.s.n.m</b>	140

*Fuente:* Resolución 0330 de 2017, artículo 43, tabla 1.

Como el corregimiento de El Cedro se encuentra por debajo de los 1000 m.s.n.m, y la dotación neta es de 140 L/hab\*día.

Para la dotación bruta, De acuerdo con la Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, para el diseño de cada uno de los elementos que conforman un sistema de acueducto, indistintamente del nivel de complejidad, se debe calcular teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

Donde,

$d_{bruta}$  = Dotación bruta (L/hab\*día).

$d_{neta}$  = Dotación neta (L/hab\*día).

%  $p$  = Pérdidas máximas admisibles

El porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25 %.

Reemplazando datos tenemos que,

$$d_{bruta} = \frac{157 \text{ L/hab} * \text{día}}{1 - 0,25} = 186,7 \text{ L/hab} * \text{día}$$

### 6.5.5. Demanda de agua.

#### 6.5.5.1. Caudal medio diario ( $Q_{md}$ )

Para el cálculo del caudal medio diario se tomó como referencia la resolución 0330 de 2017 la cual nos dice que es el caudal calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada y corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año. Este se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{P \times d_{bruta}}{86400}$$

Donde,

$Q_{md}$  = Caudal medio diario (L/s).

$p$  = Número de habitantes proyectado.

$d_{bruta}$  = Dotación bruta (L/hab\*día).

Cabe resaltar que el 100 % del abastecimiento del agua es para uso residencial, por lo que el valor para los caudales de uso comercial, industrial, rural, fines públicos, escolar, institucional y contra incendios será igual a cero (caudales otros usos).

Reemplazando valores, tenemos que:

$$Q_{md} = \frac{157 \text{ Hab} \times 186,7 \frac{\text{L}}{\text{hab}} * \text{Dia}}{86400}$$

$$Q_{md} = 0,34 \text{ L/s}$$

#### **6.5.5.2. Caudal Máximo Diario (QMD)**

Según el literal B.2.8.2.2 del RAS (2010), este corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario,  $K_1$ , como se indica en la siguiente ecuación:

$$QMD = Qmd \times K_1$$

Donde,

QMD: Caudal máximo diario (L/s).

Qmd: Caudal medio diario (L/s).

$K_1$ : Coeficiente de consumo máximo diario, será 1,30 (valor tomado de la resolución 0330 de 2017).

Reemplazando valores, tenemos que:

$$QMD = 0,34 \text{ L/s} \times 1,30$$

$$QMD = 0,44 \text{ L/s}$$

#### **6.5.5.3. Caudal Máximo Horario (QMH)**

Según el literal B.2.8.2.3 del RAS 2010, este corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario,  $K_2$ , según la siguiente ecuación:

$$QMH = QMD \times K_2$$

Donde,

QMH: Caudal máximo horario (L/s).

QMD: Caudal máximo diario (L/s).

$K_2$ : Coeficiente de consumo máximo horario. Según la resolución 0330 este valor no podrá ser mayor a 1,6.

$$QMH = 0,44L/s \times 1,6$$

$$QMH = 0,71 L/s$$

### **6.5.6. Caudales de Diseño para cada Componente del Sistema de Abastecimiento de Agua.**

#### **6.5.6.1. Captación de Agua Subterránea.**

Para pozos excavados se tendrá un período de diseño de 15 años para los niveles de complejidad del sistema bajo. Las obras de captación de agua subterránea deben tener una capacidad igual al caudal máximo diario (QMD), si el sistema de abastecimiento cuenta con almacenamiento (literal B.5.4.2 del RAS, 2010). Para el caudal de diseño tenemos que:

$$Q = QMD = 0,44L/s$$

#### **6.5.6.2. Caudal de la Bomba a Instalar en el Pozo.**

Si el bombeo es a un tanque de almacenamiento, el caudal de diseño es el Caudal Máximo Diario (QMD), si el bombeo es de 24 horas. En caso que el bombeo no se realice en forma continua durante 24 horas, el caudal de diseño corresponderá al QMD multiplicado por el factor de horas de bombeo. (literal B.8.4.2 del RAS, 2010). Según lo anterior tenemos que:

$$Q = \left[ \frac{QMD * N}{24} \right]$$

Donde,

N = Número de horas de bombeo.

Se recomienda que, para los niveles de complejidad del sistema Bajo, el tiempo de bombeo recomendado para el caudal de diseño es de 12 h/día. Pero este valor puede ajustarse realizando una evaluación económica con base en el costo del bombeo por hora. (literal B.8.4.3, RAS 2010)

Según lo anterior, teniendo en cuenta que el nivel de complejidad de la zona es bajo y el bombeo no se realizará de manera continua durante 24 horas, tenemos que:

$$Q = \left[ \frac{QMD * 12}{24} \right]$$

$$Q = 0,22 L/s$$

**Tabla 36.** Caudales de diseño para cada componente

<b>COMPONENTE</b>	<b>CAUDAL DE DISEÑO</b>
CAPTACIÓN FUENTE SUPERFICIAL	Hasta 2 veces QMD
CAPTACIÓN FUENTE SUBTERRÁNEA	QMD
DESARENADOR	QMD
ADUCCIÓN	QMD
CONDUCCIÓN	QMD
TANQUE	QMD
RED DE DISTRIBUCIÓN	QMH

*Fuente:* Artículo 47, Resolución 0330 de 2018

### **6.5.6.3. Caudal de Entrada al Tanque de Almacenamiento.**

En aquellos casos en que los tanques se encuentren abastecidos por gravedad desde el sistema de conducciones, el caudal de entrada al tanque es igual al caudal máximo diario (QMD), calculado de acuerdo con la demanda proyectada al período de diseño de la red de distribución localizada inmediatamente aguas abajo del tanque. (literal B.9.4.2 del RAS, 2010). Por lo tanto, tenemos que:

$$Q_{Entrada} = QMD$$

La capacidad de almacenamiento debe ser igual a 1/3 del volumen distribuido en la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo. La capacidad de

regulación se debe estimar a partir de los patrones de consumo de cada zona abastecida, mediante el empleo de métodos gráficos o analíticos.

$$V_R = \left(\frac{1}{3}\right) * (QMD) * (86,4)$$

Donde,

$V_R$  = Volumen de regulación del tanque de almacenamiento (m3).

El volumen de diseño debe ser la mayor cantidad obtenida entre la capacidad de regulación y la capacidad de almacenamiento (Artículo 81, Resolución 0330 de 2017)

**Tabla 37. CÁLCULO DE LA POBLACIÓN, DOTACIONES Y DEMANDAS AL HORIZONTE DEL PROYECTO**

AÑO	NÚMERO VIVIENDAS	B.2.4.3.4			B.2.4.3.4	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	B.2.8.3.1	B.2.5.3.1	B.2.5.3.2	B.2.5.3.3	B.2.5.3.4	B.2.5.3.5	B.2.5.3.6	B.2.9	B.2.8.3.1	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017
		METODO ARITMETICO	METODO GEOMETRICO	METODO EXPONENCIA L	POBLACIÓN (hab)	DOT. NETA (L/hab*día)	% P	DOT. BRUTA (L/hab*día)	Qmd Residencial (l/s)	Qmd Comercial (l/s)	Qmd Industrial (l/s)	Qmd Rural (l/s)	Qmd Fines Públicos (l/s)	Qmd Escolar (l/s)	Qmd Institucional (l/s)	DEMANDA CONTRA INCENDIOS (l/s)	Qmd (l/s)	COEFICIENTE CONSUMO MÁXIMO DIARIO (K1)	QMD (l/s)	COEFICIENTE CONSUMO MÁXIMO DIARIO (K2)	QMH (l/s)
2021	24	335	121	121	121	140	25%	186,7	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,30	1,60	0,54	
2022	25	551	123	123	123	140	25%	186,7	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26			0,55	
2023	25	766	124	124	124	140	25%	186,7	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27			0,56	
2024	25	982	125	125	125	140	25%	186,7	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27			0,56	
2025	25	1197	126	126	126	140	25%	186,7	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27			0,57	
2026	26	1412	128	128	128	140	25%	186,7	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28			0,57	
2027	26	1628	129	129	129	140	25%	186,7	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28			0,58	
2028	26	1843	130	130	130	140	25%	186,7	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28			0,59	
2029	26	2059	132	132	132	140	25%	186,7	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28			0,59	
2030	27	2274	133	133	133	140	25%	186,7	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29			0,60	
2031	27	2489	135	135	135	140	25%	186,7	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29			0,60	
2032	27	2705	136	136	136	140	25%	186,7	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29			0,61	
2033	27	2920	137	137	137	140	25%	186,7	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30			0,62	
2034	28	3136	139	139	139	140	25%	186,7	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30			0,62	
2035	28	3351	140	140	140	140	25%	186,7	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30			0,63	
2036	28	3566	142	142	142	140	25%	186,7	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31			0,64	
2037	29	3782	143	143	143	140	25%	186,7	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31			0,64	
2038	29	3997	145	145	145	140	25%	186,7	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31			0,65	
2039	29	4213	146	146	146	140	25%	186,7	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32			0,66	
2040	30	4428	148	148	148	140	25%	186,7	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32			0,66	
2041	30	4643	149	149	149	140	25%	186,7	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,67			
2042	30	4859	151	151	151	140	25%	186,7	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,68			
2043	31	5074	153	153	153	140	25%	186,7	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,69			
2044	31	5290	154	154	154	140	25%	186,7	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,69			
2045	31	5505	156	156	156	140	25%	186,7	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,70			
2046	31	5720	157	157	157	140	25%	186,7	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,44	0,71		
2020	24				120																

Fuente: Autores,2021

**Tabla 38.** Capacidad de diseño de los componentes del sistema de abastecimiento

Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Art. 99. Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	Resolución 0330 de 2017	CAPACIDAD INSTALADA (m <sup>3</sup> )	DÉFICIT ALMACEN. (m <sup>3</sup> )
Q <sub>DISEÑO</sub> CAPTACIÓN (l/s)	Q <sub>DISEÑO</sub> CAUDAL BOMBA (l/s)	Q <sub>DISEÑO</sub> ADUCCIÓN (l/s) (Captación-PTAT)	Q <sub>DISEÑO</sub> PTAT (l/s)	Q <sub>DISEÑO</sub> CONDUCCIÓN (l/s) (PTAT-Tanque)	Q <sub>DISEÑO</sub> TANQUE (caudal de entrada) (l/s)	Q <sub>DISEÑO</sub> EST. BOMBEO (l/s) (Tanque-Red)	Q <sub>DISEÑO</sub> RED DIST. (l/s)	CAPACIDAD DE REGULACIÓN (m <sup>3</sup> )	CAUDAL CONTRA INCENDIOS REQUERIDO (m <sup>3</sup> /s)	CAPACIDAD CONTRA INCENDIO (m <sup>3</sup> )	VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACEN. (m <sup>3</sup> )		
0,34	0,17	0,34	0,34	0,34	0,34	0,17	0,54	9,81	0,00	0,00	9,81	2,00	7,81
0,34	0,17	0,34	0,34	0,34	0,34	0,17	0,55	9,91	0,00	0,00	9,91	2,00	7,91
0,35	0,17	0,35	0,35	0,35	0,35	0,17	0,56	10,02	0,00	0,00	10,02	2,00	8,02
0,35	0,18	0,35	0,35	0,35	0,35	0,18	0,56	10,12	0,00	0,00	10,12	2,00	8,12
0,36	0,18	0,36	0,36	0,36	0,36	0,18	0,57	10,23	0,00	0,00	10,23	2,00	8,23
<b>0,36</b>	<b>0,18</b>	<b>0,36</b>	<b>0,36</b>	<b>0,36</b>	<b>0,36</b>	0,18	<b>0,57</b>	<b>10,33</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>10,33</b>	<b>2,00</b>	<b>8,33</b>
0,36	0,18	0,36	0,36	0,36	0,36	0,18	0,58	10,44	0,00	0,00	10,44	2,00	8,44
0,37	0,18	0,37	0,37	0,37	0,37	0,18	0,59	10,55	0,00	0,00	10,55	2,00	8,55
0,37	0,19	0,37	0,37	0,37	0,37	0,19	0,59	10,66	0,00	0,00	10,66	2,00	8,66
0,37	0,19	0,37	0,37	0,37	0,37	0,19	0,60	10,77	0,00	0,00	10,77	2,00	8,77
<b>0,38</b>	<b>0,19</b>	<b>0,38</b>	<b>0,38</b>	<b>0,38</b>	<b>0,38</b>	0,19	<b>0,60</b>	<b>10,89</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>10,89</b>	<b>2,00</b>	<b>8,89</b>
0,38	0,19	0,38	0,38	0,38	0,38	0,19	0,61	11,00	0,00	0,00	11,00	2,00	9,00
0,39	0,19	0,39	0,39	0,39	0,39	0,19	0,62	11,12	0,00	0,00	11,12	2,00	9,12
0,39	0,20	0,39	0,39	0,39	0,39	0,20	0,62	11,23	0,00	0,00	11,23	2,00	9,23
0,39	0,20	0,39	0,39	0,39	0,39	0,20	0,63	11,35	0,00	0,00	11,35	2,00	9,35
<b>0,40</b>	<b>0,20</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	0,20	<b>0,64</b>	<b>11,47</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>11,47</b>	<b>2,00</b>	<b>9,47</b>
0,40	0,20	0,40	0,40	0,40	0,40	0,20	0,64	11,59	0,00	0,00	11,59	2,00	9,59
0,41	0,20	0,41	0,41	0,41	0,41	0,20	0,65	11,71	0,00	0,00	11,71	2,00	9,71
0,41	0,21	0,41	0,41	0,41	0,41	0,21	0,66	11,83	0,00	0,00	11,83	2,00	9,83
0,42	0,21	0,42	0,42	0,42	0,42	0,21	0,66	11,96	0,00	0,00	11,96	2,00	9,96
<b>0,42</b>	<b>0,21</b>	<b>0,42</b>	<b>0,42</b>	<b>0,42</b>	<b>0,42</b>	0,21	<b>0,67</b>	<b>12,08</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>12,08</b>	<b>2,00</b>	<b>10,08</b>
0,42	0,21	0,42	0,42	0,42	0,42	0,21	0,68	12,21	0,00	0,00	12,21	2,00	10,21
0,43	0,21	0,43	0,43	0,43	0,43	0,21	0,69	12,34	0,00	0,00	12,34	2,00	10,34
0,43	0,22	0,43	0,43	0,43	0,43	0,22	0,69	12,47	0,00	0,00	12,47	2,00	10,47
0,44	0,22	0,44	0,44	0,44	0,44	0,22	0,70	12,60	0,00	0,00	12,60	2,00	10,60
<b>0,44</b>	<b>0,22</b>	<b>0,44</b>	<b>0,44</b>	<b>0,44</b>	<b>0,44</b>	0,22	<b>0,71</b>	<b>12,73</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>12,73</b>	<b>2,00</b>	<b>10,73</b>

Fuente: Autores,2021

Cabe resaltar que el corregimiento cuenta con obras de captación, el cual se vio en condiciones regulares. Aparte se propone un punto de abastecimiento comunitario.

#### **6.5.7. Diseño del Tanque de Almacenamiento Elevado.**

En este punto, se llevó a cabo el proceso de diseño del tanque de almacenamiento elevado, el cual irá soportado por una estructura de concreto reforzado de 10 metros de altura, esto en base a garantizar la altura especificada en la resolución 0330 en el artículo 61 indica que para poblaciones con poblaciones hasta 12500 habitantes la presión dinámica mínima en la red de distribución debe ser de 98,1 kPa (10 m.c.a). A continuación, se muestran los cálculos para las dimensiones del tanque.

Para sistemas con poblaciones menores a 12500 habitantes, los hidrantes deben instalarse en tuberías capaces de conducir al menos 5L/s y deben descargar como mínimo un caudal de 5L/s (Art. 70, Resolución 0330 de 2017)

Datos:

- Volumen del tanque de almacenamiento (V) = 12,73 m<sup>3</sup>.
- Altura de lámina de agua en el tanque (H.L.A) = 2 m.
- Diámetro de la tubería de desagüe (d) = 6" (0,16004 m) tubería sanitaria Durman.
- Coeficiente de contracción del desagüe (m) = 0,6 este coeficiente debe estar entre 0,5 y 0,6).
- Gravedad (g) = 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Primero, hallamos el área superficial del tanque.

$$A = \frac{V}{HLA}$$

$$A = \frac{12,73m^3}{2m} = m^2$$

$$A = 6,37 m^2$$

Segundo, determinamos el ancho útil del tanque.

$$B = \sqrt{A}$$

$$B = \sqrt{29,04m^2}$$

$$B = 2,52 \text{ m} \cong 3$$

$$\mathbf{B = 2,52 \text{ m}}$$

Se halla el largo útil del tanque. Como B=L entonces,

$$L = 2,57 \text{ m}$$

Determinamos el área de desagüe.

$$a = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$a = \frac{(3,1416)}{4} * (0,16004)^2$$

$$a = 0,0201 \text{ m}^2$$

Se halla el tiempo de vaciado del tanque, el cuál debe ser menor a 8 horas según lo estipulado en el literal B 9.4.14.

$$T = \frac{2xAx\sqrt{H.L.A}}{m x a x \sqrt{2g}}$$

$$T = \frac{2 x 6,37m^2 x \sqrt{2}}{(0,6)x(0,0201m^2)x\sqrt{2\left(\frac{9,81m}{s^2}\right)}}$$

$$T = 337,27 \text{ s}$$

Se pasan los segundos a minutos y tenemos que,

$$337,27s x \frac{1 \text{ min}}{60s} = 5,62 \approx 6 \text{ mins}$$

Entonces,

$T = 6 \text{ mins.}$  ---->Cumple con lo estipulado en el RAS.

En resumen, las dimensiones del tanque elevado de  $12,73 \text{ m}^3$  son:

H.L.A = 2 m.

Largo interior = 5,00 m.

Ancho interior = 5,00 m.

Espesor de tapa = 0,15 m.

Espesor de pared = 0,30 m. (los muros con altura de 3 m o más deben tener un espesor mínimo de 30 cm según el literal G del RAS 2000, Pág. 111)

Espesor de loza = 0,20 m

### **6.5.8. Diseño de la Línea de Aducción o Impulsión (Captación - PTAP)**

#### **6.5.8.1. Caudal de Diseño (Q).**

Para la línea de aducción o impulsión el caudal de diseño proyectado es de 0,44 L/s =  $0,00044 \text{ m}^3/\text{s}$  (ver tabla 36.)

#### **6.5.8.2. Diámetro de la Tubería (D).**

Siguiendo los lineamientos del RAS en su literal B.6.4.4.9 para diámetros económicos para las tuberías de aducción y/o impulsión cuando la conducción sea por bombeo, mediante la siguiente ecuación:

$$D_e = 1.2 \sqrt{Q \left( \frac{t}{24} \right)^{1/2}}$$

Donde,

t = Número de horas de bombeo por día (s).

Q = Caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s).

De = Diámetro económico interno (m).

Entonces tenemos que,

$$D_e = 1.2 \sqrt{0,00022 \text{ m}^3/\text{s} \left(\frac{12}{24}\right)^{1/2}}$$

$$D_e = 0,01496\text{m} = 14,96 \text{ mm}$$

Según el literal B.6.4.4.8 del RAS (2010), el Diámetro Nominal mínimo de la tubería de impulsión para flujo a presión debe ser de 75 mm (2 1/2”), para este caso se escogen dos (2) diámetros comerciales en torno al valor obtenido, con velocidades mínimas de 1 m/s y máxima de 6 m/s (valores establecidos en el título B del RAS).

La elección del diámetro depende también de la velocidad en la tubería, en donde velocidades muy bajas permiten la sedimentación de partículas y velocidades altas producen vibraciones en la tubería, así como pérdidas de carga importantes, lo que repercute en un costo elevado de operación.

- Seleccionamos los diámetros comerciales entorno al valor obtenido.

**D1 (2.1/2”)** = DN 75 mm, DI 67,45 mm, Espesor 2,79 mm, Tubería de PVC RDE 26 (11,24 Kg/cm<sup>2</sup> – 150 psi – 105 m.c.a).

**D2 (3”)** = DN 88 mm, DI 82,04 mm, Espesor 3,43 mm, Tubería de PVC RDE 26 (11,24 Kg/cm<sup>2</sup> – 150 psi – 105 m.c.a).

- Se determina la velocidad media del fluido (aplicando la ecuación de continuidad):

$$Q = V \times A$$

Teniendo que  $A = \pi \times R^2$ ; a su vez  $R = \frac{D}{2}$ ; entonces:

$Q = V \times \pi \times D^2$  ; despejando la velocidad (V) nos queda:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

Donde,

V= velocidad del fluido

Q= Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

D= diámetro de la tubería

- Calculamos velocidad media del fluido

Con el diámetro #1 (D1):

D1= 0,06745 m

Q=0,00044 $m^3/s$

Reemplazando estos valores tenemos que:

$$V = \frac{4 \times 0,00044m^3/s}{3,1416 \times (0,06745m)^2}$$

$$V = 0,12m/s$$

Con el **D1** la velocidad del fluido es de **0,12 m/s**.

Ahora se hace el mismo cálculo, pero esta vez usando el diámetro #2 (D2).

D2=0,08204m

Q=0,00044 $m^3/s$

Reemplazando los valores, tenemos que:

$$V = \frac{4 \times 0,00044m^3/s}{3,1416 \times (0,08204m)^2}$$

$$V = 0,083\text{m/s}$$

Con el **D2** la velocidad del fluido es de **0,083 m/s**.

De acuerdo a lo anterior y tomando en cuenta los resultados de las velocidades del fluido para cada diámetro, se escoge el diámetro con el valor más aproximado a las velocidades permisibles según los criterios de diseño, en este caso el diámetro #1 (D1) que tiene un diámetro interno (DI) de 67,45 mm, Diámetro Nominal (DN) es de 75 mm (2.1/2") RDE 26 (105 m.c.a).

### 6.5.8.3. Pérdidas de carga en la línea de impulsión o aducción ( $\Delta h_i$ )

- **Pérdidas por fricción ( $h_f$ )**

El cálculo de las pérdidas por fricción dentro de las tuberías, se halló mediante la ecuación de Darcy – Weisbach.

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Donde,

$f$  = Factor de fricción (adimensional)

$L$  = Longitud de la tubería (m).

$D$  = Diámetro de la tubería (m).

$v$  = Velocidad media del fluido (m/s).

$g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

El coeficiente de fricción de Darcy  $f$ , para tuberías de sección circular se obtiene utilizando las siguientes ecuaciones:

1. Flujo laminar (Re menor que 2000)

$$f = \frac{64}{Re}$$

Donde,

Re = Número de Reynolds (adimensional).

f = Factor de fricción (adimensional).

2. Flujo Turbulento (Re mayor que 4000), desde flujo hidráulicamente liso a flujo hidráulicamente rugoso.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{K_s}{3,7 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Donde,

Ks = Rugosidad absoluta de la tubería (m).

f = Factor de fricción (adimensional).

D = Diámetro de la tubería (m).

Re = Número de Reynolds (adimensional).

El número de Reynolds (Re) está definido por la ecuación:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$$

Donde,

$\rho$  = Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>).

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido (Pa•s).

v = Velocidad media del fluido (m/s).

D = Diámetro de la tubería (m).

En todo caso el diseño debe evitar, para todas las condiciones normales de operación, la operación de la línea de conducción para flujos en la zona de transición (2000 < Re < 4000).

A continuación, se muestran los valores de viscosidad y densidad según la temperatura del agua.

**Tabla 39.** Valores de viscosidad y densidad según la temperatura del agua

Temperatura (°C)	Densidad, $\rho$ (kg/ $m^3$ )	Viscosidad, $\mu$ ((x 10 – 3 Pa • s)
0	999.9	1.792
5	1000.0	1.519
10	999.7	1.308
15	999.1	1.140
20	998.2	1.005
30	995.7	0.801
40	992.2	0.656
50	988.1	0.549

*Fuente:* RAS 2010, Literal B.6.5.4.1., Tabla B.6.28.

Luego de la información anterior procedemos a calcular las pérdidas por fricción en la tubería de aducción, los datos son los siguientes:

Temperatura del agua = 30°C

Densidad del fluido = 995,7 kg/m<sup>3</sup>

Viscosidad dinámica del fluido = 0,801x10<sup>-3</sup> Pa\*s

Diámetro tubería = 0,06745 m

Longitud tubería = 72,00 m

Velocidad media del fluido = 0,12 m/s

Aceleración de la gravedad = 9,81 m/s<sup>2</sup>

El valor de Reynolds será:

$$Re = \frac{995,7 \text{ kg/m}^3 \times (0,12 \text{ m/s}) \times (0,06745 \text{ m})}{(0,801 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s})}$$

$$Re = 10061,41 > 4000; \text{Flujo turbulento}$$

Para flujos turbulentos, el cálculo del factor de fricción  $f$ , normalmente se realiza se debe utilizar un proceso iterativo tal como el Método de Iteración de un Punto o el Método de Newton-Raphson. Pero existe una modificación a la ecuación Colebrook-White, que se ajusta perfectamente a los calculados por la fórmula implícita (Hansen, Arreguín, Guerrero, 2000).

Dicha fórmula es la siguiente:

$$f = \frac{0,25}{[\log\left(\frac{K_s}{3,71D} + \frac{G}{Re^T}\right)]^2}$$

Donde,

$K_s$  = Rugosidad absoluta de la tubería (m), para PVC es 0,0000015 m.

G y T parámetros de ajuste:

<b>G= 4,555</b>	<b>T=0,8764</b>	<b>Para <math>4000 \leq Re \leq 10^5</math></b>
G= 6,732	T=0,9104	Para $10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6$
G= 8,982	T=0,93	Para $3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^6$

Reemplazando valores, tenemos que:

$$f = \frac{0,25}{[\log\left(\frac{0,0000015m}{3,71(0,06745m)} + \frac{4,555}{(10061,41)^{0,8764}}\right)]^2}$$

$$f = 0,030$$

Reemplazando en la fórmula de Darcy – Weisbach, tenemos:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = 0,021 \times \frac{(72m)}{(0,06745m)} \times \frac{(0,57)^2}{2(9,81m/s^2)}$$

$$h_f = 0,53m$$

- **Pérdidas menores ( $h_m$ )**

Para el cálculo de las pérdidas menores producidas en curvas, tees, válvulas y otros accesorios debe utilizarse la ecuación:

$$h_m = K_m \times \frac{V^2}{2g}$$

Donde,

$K_m$  = Coeficiente de pérdidas menores (adimensional).

$V$  = Velocidad media del fluido (m/s).

$g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

En la siguiente tabla se muestran los accesorios para cálculo de pérdidas menores en línea de aducción.

**Tabla 40.** Coeficientes de pérdidas menores “Captación – PTAT”

Accesorios	Cantidad	$K_m$	Total
Codo de 90° estándar	4	0,54	2,16
Válvula de retención horizontal (check)	1	1,80	1,80
Válvula de compuerta (Completamente abierta)	1	0,14	0,14
<b>Sumatoria de <math>K_m</math></b>			<b>4,10</b>
<b>Velocidad en el tramo (m/s)</b>			<b>0,12</b>

Fuente: Autores,2021

$$h_m = 4,10 \times \frac{(0,12\text{m/s})^2}{2(9,81\text{m/s})} = 0,030\text{m}$$

Por consiguiente, las pérdidas de carga en la tubería de impulsión ( $\Delta hi$ ) están dadas por la suma de las pérdidas por fricción ( $hf$ ) y las pérdidas menores ( $hm$ ).

$$\Delta hi = hf + hm = 0,37\text{ m} + 0,030\text{ m} = 0,40\text{ m}$$

$$\Delta hi = 0,40\text{ m}$$

Para el caso de bombeo con bombas sumergibles, la carga dinámica o altura manométrica total ( $H_m$ ) es igual a la suma de la altura de impulsión o carga estática ( $H_i$ ) más la pérdida de carga en la tubería de impulsión ( $\Delta hi$ ) y la energía de velocidad en el conducto de impulsión ( $V_i^2/2g$ ).

$$H_m = H_i + \Delta hi + \frac{V_i^2}{2g}$$

El valor de la altura de impulsión o carga estática ( $H_i$ ) es calculado con los siguientes datos:

Altura del terreno en el Pozo = 13 m

Nivel Dinámico (altura de lámina de agua con la bomba en funcionamiento) = 15 m

Altura del terreno en el Tanque Elevado = 10 m

Altura de Descarga = 12,62 m (distancia vertical entre la descarga de la bomba hasta el punto al que tengo que llevar el agua.)

$$H_i = (\text{Altura Tanque} + \text{Altura Descarga}) - (\text{Altura Pozo} - \text{Nivel Dinámico})$$

$$H_i = (10\text{ m} + 12,62\text{ m}) - (13\text{ m} - 15\text{ m}) = 24,62\text{ m} + 6\text{ m} = 30,62\text{ m}$$

$$H_i = 30,62\text{m}$$

Entonces,

$$H_m = H_i + \Delta hi + \frac{V_i^2}{2g}$$

Donde;

$H_m$  = Altura manométrica

$H_i$  = Altura de impulsión o carga estática.

$\Delta h_i$  = Pérdida de carga en la tubería de impulsión.

$\frac{v_i^2}{2g}$  = la energía de velocidad en el conducto de impulsión.

$$H_m = 30,62 + 0,40m + \frac{(0,12)^2}{2(9,81)} = 31,02 m$$

#### 6.5.8.4. Cálculo del fenómeno de ariete

Para determinar la resistencia de la tubería por sobrepresión, se deben emplear las ecuaciones de Allieve, Michaud o Mendiluce, según sea el caso se considerarán los siguientes parámetros:

Diámetro interior (DI) = 0,06745 m

Espesor (e) = 0,00279 m

Material = PVC

Módulo de elasticidad del material ( $\epsilon$ ) = 280421958,57 Kg/m<sup>2</sup>

Longitud de la tubería (L) = 72 m

- Se Halla el Coeficiente K en función del módulo de elasticidad ( $\epsilon$ ) del material constitutivo de la tubería a partir de la siguiente ecuación.

$$K = \frac{10^{10}}{\epsilon}$$
$$K = \frac{10^{10}}{280421958,57 \text{ Kg/m}^2}$$
$$K = 35,66$$

- Se determina la pendiente hidráulica de la tubería (m).

$$m = \frac{H_m}{L} \times 100$$

$$m = \frac{31,02m}{72} \times 100$$

$$m = 43,08\%$$

- Se calcula la celeridad (a). Esta se define como la velocidad de propagación de la ondate presión a través del agua contenida en la tubería.

Esta se calcula mediante una ecuación dada por Allievi, y es la siguiente:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \times \frac{D}{e}}}$$

Donde,

K = Coeficiente función del módulo de elasticidad ( $\epsilon$ ) del material constitutivo de la tubería, que representa principalmente el efecto de la inercia del grupo motobomba.

D = Diámetro interior de la tubería (m).

e = Espesor de la tubería (m).

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + \left(35,66 \times \frac{0,06745}{0,00279}\right)}}$$

$$a = 328,10m/s$$

- Se determina el tiempo que tarda la onda de presión en dar una oscilación completa.

$$T = \frac{2L}{a}$$

$$T = \frac{2(72m)}{328,10} = 0,43s$$

- Se calcula el tiempo de cierre de la válvula y tiempo de parada de bombas. (Cierre lento y cierre rápido). Se define el tiempo (t) como el intervalo entre el inicio y el término de la maniobra, sea cierre o apertura, total o parcial, ya que durante este tiempo se produce la modificación del régimen de movimiento del fluido.

Para el cálculo del tiempo, Mendiluce propone la siguiente ecuación:

$$t = C + \frac{K \times L \times V}{g \times H_m}$$

Donde,

K y C = Coeficientes de ajuste empíricos.

L = Longitud de la tubería de aducción (m).

V = Velocidad media del fluido (m/s).

g = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

H<sub>m</sub> = Altura manométrica o dinámica (m).

**Tabla 41.** Coeficiente K y C según Mendiluce

Coeficiente K		Coeficiente C	
Longitud Tubería (m)	K	PendienteHidráulica	C
< 500	2	< 20 %	1
≈ 500	1,75		
500 < L < 1500	1,5	≈ 30 %	0,6
≈ 1500	1,25		
> 1500	1	≥ 40 %	0
Longitud Tubería (m)	K	PendienteHidráulica	C

Fuente: Cátedra de ingeniería rural, cap.3.

Como la longitud de nuestra tubería es 72 m, es decir, <500, el coeficiente K es igual a 2; asimismo, como nuestra pendiente es 43,15%, es decir, > 40%, el coeficiente C es igual a 0.

Conociendo estos datos, entonces se procede a hallar el tiempo de cierre de la bomba:

$$t = 0 + \frac{2 \times 72m \times 0,12m/s}{9,81m/s^2 \times 31,02}$$
$$t = 0,056s$$

Como  $t < T$ , entonces podemos concluir que la maniobra habrá terminado cuando se produzca el retorno de la onda de presión, por lo que tendremos un **cierre rápido**.

- Se calcula la longitud crítica de la tubería para determinar si esta es una impulsión corta o larga.

$$Lc = \frac{a \times t}{2}$$
$$Lc = \frac{328,10 \times 0,27}{2}$$
$$Lc = 9,18m$$

Como  $L > Lc$ , se clasifica como una impulsión larga. Cuando se da este caso, podemos hallar el fenómeno de golpe de ariete, mediante la ecuación propuesta por Allievi. Dicha ecuación es la siguiente:

$$\Delta H = \frac{a \times V}{g}$$
$$\Delta H = \frac{328,10 \times 0,12}{9,81}$$
$$\Delta H = 4,01 m$$

#### 6.5.8.5. Cálculo de presión en la tubería de aducción.

La presión interna de diseño de las tuberías que conforman las aducciones a presión o conducciones debe calcularse como el mayor valor que resulte entre la presión

estática y la máxima sobrepresión ocurrida por causas de un fenómeno de golpe de ariete, multiplicado por un factor de seguridad (literal B.6.4.4.6, RAS 2010). En este orden de ideas, se tiene que:

$$P_{max} = \max(P_{estática}, P_{transiente})$$

Donde,

$$P_{estática} = 30,62 \text{ m. c. a}$$

$$P_{transiente} = 4,01 \text{ m. c. a}$$

Por lo que nuestra  $P_{máx}$  es igual a 30,62 m.c.a

La presión de diseño estará determinada por la siguiente ecuación:

$$P_{diseño} = K \times P_{max}$$

Donde, K = Factor de seguridad (igual que 1,10 para conducciones por gravedad; igual que 1,30 para conducciones/aducciones por bombeo).

$$P_{diseño} = 1,30 \times 30,62 \text{ m}$$

$$P_{diseño} = 39,80 \text{ m. c. a}$$

En conclusión, teniendo en cuenta el valor de la presión de diseño de la tubería y la tubería PVC seleccionada que tiene un Diámetro Nominal 75 mm (2.1/2") RDE 26 Tipo I Grado I soporta una Presión Nominal de 11,24 Kg/cm<sup>2</sup>, lo que equivale aproximadamente a 105 m.c.a. se tiene a relación diámetro – espesor correcto para las condiciones de trabajo requeridas.

#### **6.5.8.6. Cálculo de la potencia de la bomba (Pi)**

A continuación, se procede a calcular la potencia que se requiere en el sistema de bombeo, para que este pueda entregar el agua y, asimismo, este pueda llegar a abastecer el tanque de almacenamiento de una manera efectiva.

#### **• Potencia de consumo (Pc)**

Está definida como la energía entregada por la bomba al fluido y está determinada por la siguiente fórmula:

$$P_c = \frac{Q_b \times H_m}{76 \times n_b}$$

Donde,

$H_m$  = Altura Dinámica o Manométrica Total

$Q_b$  = Caudal de Bombeo (ver tabla 36).

$n_b$  = eficiencia de la bomba (va determinada por el fabricante, en este caso será de 58,5%).

$$P_c = \frac{0,22L/s \times 31,07 m}{76 \times 0,585}$$

$$P_c = 1 HP$$

- **Potencia instalada (Pi)**

$$P_i = \frac{Q_b \times H_m}{76 \times n_c}$$

La potencia instalada, es la energía que se le da en condiciones ideales al motor eléctrico para que este pueda funcionar correctamente.

Para ello, se necesita conocer la eficiencia del sistema en conjunto de la bomba y el motor ( $n_c$ ). La eficiencia del motor ( $n_m$ ) depende del fabricante, y para este caso es de 76%.

En ese orden de ideas, tenemos que:

$$n_c = n_b \times n_m$$

$$n_c = 0,0585 \times 0,076 = 44,5\%$$

Entonces,

$$P_i = \frac{(0,22) \times 30,62}{76 \times 0,445}$$

$$P_i = 1 \text{ HP}$$

Se tomó este resultado y los datos de caudal y altura dinámica o manométrica para seleccionar la bomba comercial. Además, se tuvo en cuenta que la dimensión de descarga de la bomba coincidiera con el diámetro de la tubería comercial seleccionada (2.1/2") para que el empalme sea el más adecuado. En este sentido la bomba seleccionada es la SAER modelo NR-152A/3R y sus características técnicas pueden observarse en el ANEXO 3.

#### **6.5.9. Diseño de la Línea de Conducción “Planta de Tratamiento – Tanque de Almacenamiento”.**

##### **6.5.9.1. Caudal de Diseño (Q).**

Para la línea de conducción el caudal de diseño proyectado es de 0,44 L/s = 0,00044 m<sup>3</sup>/s (ver tabla 36.).

##### **6.5.9.2. Diámetro de la Tubería (D).**

Para hallar el diámetro de la tubería, se utilizó la ecuación B.6.3 del literal B.6.4.4.9 del RAS, 2010 que va representada de la siguiente manera:

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times J^{0,54}$$

Donde, Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup> /s).

C = Coeficiente de rugosidad de Williams & Hazen (140 - 150 para PVC).

D = Diámetro de la tubería (m).

J = Pérdida de carga unitaria (m/m)

Despejando el diámetro, la ecuación nos queda:

$$D = \left( \frac{Q}{0,2785 \times C \times J^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}}$$

La pérdida de carga unitaria (J) está dada por:

$$J = \frac{C.L.A.P - C.L.A.T}{L}$$

Donde,

C.L.A.P = Cota de lámina de agua en la planta (m.s.n.m).

C.L.A.T = Cota de lámina de agua en el tanque (m.s.n.m).

L = Longitud de la tubería (m)

Para ello necesitamos los siguientes valores:

Altura del terreno en el tanque elevado = 10m

Altura de la estructura de soporte del tanque elevado = 12,20 m

Altura de la lámina de agua en el tanque (H.L.A.T) = 2 m

Borde libre = 0,30 m

Espesor de la tapa del tanque = 0,15 m

Altura de la lámina de agua en la planta (H.L.A.P) = 1,50 m

Longitud de la tubería (L) = 2,70 m

$$C.L.A.P = (\text{Altura terreno en el tanque} + \text{Altura estructura} + H.L.A.T \\ + \text{Borde libre} + \text{Espesor tapa} + H.L.A.P)$$

$$C.L.A.P = 10 \text{ m} + 12,20 \text{ m} + 2 \text{ m} + 0,30 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 26,15 \text{ m}$$

$$C.L.A.P = 26,15 \text{ m}$$

$$C.L.A.T = (\text{Altura terreno en el tanque} + \text{Altura estructura} + H.L.A.T)$$

$$C.L.A.T = 10 \text{ m} + 12,20 \text{ m} + 2 \text{ m} = 24,20 \text{ m}$$

$$J = \frac{26,15 \text{ m} - 24,20 \text{ m}}{2,70}$$

$$J = 0,72 \text{ m/m}$$

Ahora el diámetro de la tubería será igual a:

$$D = \left( \frac{0,00044 \text{ m}^3/\text{s}}{0,2785 \times 150 \times (0,72)^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}}$$

$$D = 0,01370 \text{ m} = 13,70 \text{ mm}$$

Según el literal B.6.4.4.8 del RAS (2010), el Diámetro Nominal mínimo de la tubería de impulsión para flujo a presión debe ser de 75 mm (2 ½”), para este caso se escogen dos (2) diámetros comerciales en torno al valor obtenido, con velocidades mínimas de 1 m/s y máxima de 6 m/s (valores establecidos en el título B del RAS).

La elección del diámetro depende también de la velocidad en la tubería, en donde velocidades muy bajas permiten la sedimentación de partículas y velocidades altas producen vibraciones en la tubería, así como pérdidas de carga importantes, lo que repercute en un costo elevado de operación.

- Seleccionamos los diámetros comerciales entorno al valor obtenido.

**D1 (2.1/2”)** = DN 75 mm, DI 67,45 mm, Espesor 2,79 mm, Tubería de PVC RDE 26 (11,24 Kg/cm<sup>2</sup> – 150 psi – 105 m.c.a).

**D2 (3”)** = DN 88 mm, DI 82,04 mm, Espesor 3,43 mm, Tubería de PVC RDE 26 (11,24 Kg/cm<sup>2</sup> – 150 psi – 105 m.c.a).

- Se determina la velocidad media del fluido (aplicando la ecuación de continuidad):

$$Q = V \times A$$

Teniendo que  $A = \pi \times R^2$ ; a su vez  $R = \frac{D}{2}$ ; entonces:

$Q = V \times \pi \times D^2$ ; despejando la velocidad (V) nos queda:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

Donde,

V= velocidad del fluido

Q= Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

D= diámetro de la tubería

- Calculamos velocidad media del fluido

Con el diámetro #1 (D1):

D1= 0,06745m

Q=0,00044 $m^3/s$

Reemplazando estos valores tenemos que:

$$V = \frac{4 \times 0,00044m^3/s}{3,1416 \times (0,06745m)^2}$$

$$V = 0,12m/s$$

Con el **D1** la velocidad del fluido es de **0,12 m/s**.

Ahora se hace el mismo cálculo, pero esta vez usando el diámetro #2 (D2).

D2=0,08342 m

Q=0,00044 $m^3/s$

Reemplazando los valores, tenemos que:

$$V = \frac{4 \times 0,00044m^3/s}{3,1416 \times (0,08342m)^2}$$

$$V = 0,083m/s$$

Con el **D2** la velocidad del fluido es de **0,083 m/s**.

De acuerdo a lo anterior y tomando en cuenta los resultados de las velocidades del fluido para cada diámetro, se escoge el diámetro con el valor más aproximado a las velocidades permisibles según los criterios de diseño, en este caso el diámetro #1 (D1) que tiene un diámetro interno (DI) de 67,45 mm, Diámetro Nominal (DN) es de 75 mm (2.1/2") RDE 26 (105 m.c.a).

### **6.5.9.3. Pérdidas de carga en la línea de conducción ( $\Delta h_i$ )**

Bajo el mismo concepto del procedimiento empleado para la línea de captación - PTAT, se procede a hallar las pérdidas de carga de la línea de conducción. Para esto se tienen los siguientes datos:

Temperatura del agua = 30°C

Densidad del fluido = 995,7 Kg/m<sup>3</sup>

Viscosidad dinámica del fluido = 0,801x10<sup>-3</sup> Pa\*s

Diámetro tubería = 0,06745 m

Longitud tubería = 2,70 m

Velocidad media del fluido = 0,12 m/s

Aceleración de la gravedad = 9,81 m/s<sup>2</sup>

- **Pérdidas por fricción ( $h_f$ )**

El cálculo de las pérdidas por fricción dentro de las tuberías, se halló mediante la ecuación de Darcy – Weisbach.

El valor de Reynolds será:

$$Re = \frac{995,7kg/m^3 \times (0,12m/s) \times (0,06745)}{(0,801 \times 10^{-3} Pa * s)}$$

$$Re = 10061,41 > 4000; \text{Flujo turbulento}$$

Se determina el coeficiente de fricción ( $f$ )

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{0,0000015m}{3,71(0,08342m)} + \frac{4,555}{(10061,41)^{0,8764}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,030$$

Reemplazando en la fórmula de Darcy – Weisbach, tenemos:

$$h_f = 0,030 \times \frac{(2,70m)}{(0,06745m)} \times \frac{(0,12)^2}{2(9,81m/s^2)}$$

$$hf = 0,0088m$$

- **Pérdidas menores ( $h_m$ )**

En la siguiente tabla se muestran los accesorios para cálculo de pérdidas menores en línea de conducción.

**Tabla 42.** Coeficientes de pérdidas menores “PTAT – Tanque alm.”

<b>Accesorios</b>	<b>Cantidad</b>	<b><math>K_m</math></b>	<b>Total</b>
Codo de 90° estándar	3	0,54	1,62
<b>Sumatoria de <math>K_m</math></b>			<b>1,62</b>
<b>Velocidad en el tramo (m/s)</b>			<b>0,12</b>

Fuente: Autores,2021

$$h_m = (1,62) \times \frac{(0,12)^2}{(2)(9,81)} = 0,0011$$

Por consiguiente, las pérdidas de carga en la tubería de impulsión ( $\Delta h_i$ ) están dadas por la suma de las pérdidas por fricción ( $h_f$ ) y las pérdidas menores ( $h_m$ ).

$$\Delta h_i = h_f + h_m = 0,0088 \text{ m} + 0,0011 \text{ m} = 0,01 \text{ m}$$

$$\Delta h_i = 0,01 \text{ m}$$

Para el caso de bombeo con bombas sumergibles, la carga dinámica o altura manométrica total ( $H_m$ ) es igual a la suma de la altura estática ( $H_g$ ) más la pérdida de carga en la tubería de conducción ( $\Delta h_i$ ) y la energía de velocidad en el conducto en el conducto ( $V_i^2/2g$ ).

$$H_m = H_g + \Delta h_i + \frac{V_i^2}{2g}$$

El valor de la altura estática o diferencia de nivel ( $H_g$ ) es calculado con los siguientes datos:

$$H_g = (C.L.A.P - C.L.A.T)$$

Entonces, reemplazando valores tenemos que

$$H_g = (26,15 - 24,20)$$

$$H_g = 1,95 \text{ m}$$

Entonces,

$$H_m = 1,95 + 0,01 \text{ m} + \frac{(0,12)^2}{2(9,81)} = 1,96 \text{ m}$$

#### 6.5.9.4. Cálculo del fenómeno de ariete

Para determinar la resistencia de la tubería por sobrepresión, se deben emplear las ecuaciones de Allieve, Michaud o Mendiluce, según sea el caso se considerarán los siguientes parámetros:

Diámetro interior (DI) = 0,06745 m

Espesor (e) = 0,00274 m

Material = PVC

Módulo de elasticidad del material ( $\epsilon$ ) = 280421958,57 Kg/m<sup>2</sup>

Longitud (L) = 2,70 m

- Se Halla el Coeficiente K en función del módulo de elasticidad ( $\varepsilon$ ) del material constitutivo de la tubería a partir de la siguiente ecuación.

$$K = \frac{10^{10}}{\varepsilon}$$

$$K = \frac{10^{10}}{280421958,57 \text{ Kg/m}^2}$$

$$K = 35,66$$

- Se determina la pendiente hidráulica (m).

$$m = \frac{H_m}{L} \times 100$$

$$m = \frac{2m}{2,70} \times 100$$

$$m = 74,07\%$$

- Se calcula la celeridad (a). Esta se calcula mediante una ecuación dada por Allievi, y es la siguiente:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \times \frac{D}{e}}}$$

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + \left(35,66 \times \frac{0,06547}{0,00279}\right)}}$$

$$a = 328,10 \text{ m/s}$$

- Se determina el tiempo que tarda la onda de presión en dar una oscilación completa.

$$T = \frac{2L}{a}$$

$$T = \frac{2(2,70)}{328,10} = 0,016s$$

- Se calcula el tiempo de cierre de la válvula y tiempo de parada de bombas.  
Para el cálculo del tiempo, Mendiluce propone la siguiente ecuación:

$$t = C + \frac{K \times L \times V}{g \times H_m}$$

Como la longitud de nuestra tubería es 2,70 m, es decir, <500, el coeficiente K es igual a 2; asimismo, como nuestra pendiente es 74,07%, es decir, > 40%, el coeficiente K es igual a 0.

Conociendo estos datos, entonces se procede a hallar el tiempo de cierre de la bomba:

$$t = 0 + \frac{2 \times 2,70 \times 0,12}{9,81 \times 1,96}$$

$$t = 0,033s$$

Como  $t > T$ , entonces podemos concluir que tiempo de parada de la bomba es mayor al tiempo que tarda la onda de presión en dar una vuelta, por lo que se concluye que tiene un **cierre lento**.

- Se calcula la longitud crítica de la tubería para determinar si esta es una impulsión corta o larga.

$$L_c = \frac{a \times t}{2}$$

$$L_c = \frac{328,10 \times 0,033}{2}$$

$$L_c = 5,41m$$

Como  $L < L_c$ , se clasifica como una conducción corta. Cuando se da este caso, podemos hallar el fenómeno de golpe de ariete, mediante la fórmula propuesta por Michaud. Dicha fórmula es la siguiente:

$$\Delta H = \frac{2 \times L \times V}{g \times t}$$

$$\Delta H = \frac{2 \times 2,70 \times 0,12}{9,81 \times 0,033}$$

$$\Delta H = 2 \text{ m}$$

#### 6.5.9.5. Cálculo de presión en la tubería de aducción.

La presión interna de diseño de las tuberías que conforman las aducciones a presión o conducciones debe calcularse como el mayor valor que resulte entre la presión estática y la máxima sobrepresión ocurrida por causas de un fenómeno de golpe de ariete, multiplicado por un factor de seguridad (literal B.6.4.4.6, RAS 2010). En este orden de ideas, se tiene que:

$$P_{\max} = \max(P_{\text{estática}}, P_{\text{transiente}})$$

Donde,

$$P_{\text{estática}} = 1,95 \text{ m.c.a}$$

$$P_{\text{transiente}} = 2 \text{ m.c.a}$$

Por lo que nuestra  $P_{\max}$  es igual a 2 m.c.a

La presión de diseño estará determinada por la siguiente ecuación:

$$P_{\text{diseño}} = K \times P_{\max}$$

Donde, K = Factor de seguridad (igual que 1,10 para conducciones por gravedad; igual que 1,30 para conducciones/aducciones por bombeo).

$$P_{\text{diseño}} = 1,10 \times 2 \text{ m}$$

$$P_{\text{diseño}} = 2,2 \text{ m. c. a}$$

De acuerdo a lo anterior y tomando en cuenta los resultados de las velocidades del fluido para cada diámetro, se escoge el diámetro con el valor más aproximado a las velocidades permisibles según los criterios de diseño, en este caso el diámetro #1 (D1) que tiene un diámetro interno (DI) de 67,45 mm, Diámetro Nominal (DN) es de 75 mm (2.1/2") RDE 26 (105 m.c.a).

#### **6.5.10. Diseño línea de conducción “Tanque de Almacenamiento – Punto de abastecimiento comunitario”.**

Para la línea de aducción o impulsión el caudal de diseño proyectado es de 0,44 L/s = 0,00044  $m^3/s$  (ver tabla 36)

##### **6.5.10.1. Diámetro de la Tubería (D).**

Para hallar el diámetro de la tubería, se utilizó la ecuación B.6.3 del literal B.6.4.4.9 del RAS, 2010 que va representada de la siguiente manera:

$$D = \left( \frac{Q}{0,2785 \times C \times J^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}}$$

La pérdida por carga unitaria (J), está dada por:

$$J = \frac{C.L.A.P - C.L.A.Tu}{L}$$

Para ello, necesitamos conocer los valores de:

Altura del terreno en el tanque elevado = 10 m

Altura del terreno en la tubería del punto de toma = 10 m

Altura de la estructura de soporte del tanque elevado = 12,20 m

Altura de la lámina de agua en el tanque (H.L.A.T) = 2 m

Altura de la lámina de agua sobre el suelo (H.L.A.Tu) = 0,08 m

Longitud de la tubería (L) = 16,90 m

$$C.L.A.T = (\text{Altura terreno en el tanque} + \text{Altura estructura} + H.L.A.T)$$

$$C.L.A.T = 10\text{ m} + 12,20\text{ m} + 2\text{ m} = 26,15\text{ m}$$

$$C.L.A.T = 26,15\text{ m}$$

$$C.L.A.T = (\text{Cota terreno en la tubería del punto de toma H.L.A.Tu})$$

$$C.L.A.T = 10\text{ m} + 0,08 = 10,08\text{ m}$$

Según el literal B.6.4.4.8 del RAS (2010), el Diámetro Nominal mínimo de la tubería de impulsión para flujo a presión debe ser de 75 mm (2 1/2”), para este caso se escogen dos (2) diámetros comerciales en torno al valor obtenido, con velocidades mínimas de 1 m/s y máxima de 6 m/s (valores establecidos en el título B del RAS).

La elección del diámetro depende también de la velocidad en la tubería, en donde velocidades muy bajas permiten la sedimentación de partículas y velocidades altas producen vibraciones en la tubería, así como pérdidas de carga importantes, lo que repercute en un costo elevado de operación.

- Seleccionamos los diámetros comerciales entorno al valor obtenido.

**D1 (2.1/2”)** = DN 75 mm, DI 67,45 mm, Espesor 2,79 mm, Tubería de PVC RDE 26 (11,24 Kg/cm<sup>2</sup> – 150 psi – 105 m.c.a).

**D2 (3”)** = DN 88 mm, DI 82,04 mm, Espesor 3,43 mm, Tubería de PVC RDE 26 (11,24 Kg/cm<sup>2</sup> – 150 psi – 105 m.c.a).

- Se determina la velocidad media del fluido (aplicando la ecuación de continuidad):

$$Q = V \times A$$

Teniendo que  $A = \pi \times R^2$ ; a su vez  $R = \frac{D}{2}$ ; entonces:

$Q = V \times \pi \times D^2$ ; despejando la velocidad (V) nos queda:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

Donde,

V= velocidad del fluido

Q= Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

D= diámetro de la tubería

- Calculamos velocidad media del fluido

Con el diámetro #1 (D1):

D1= 0,06745 m

Q=0,00202 $m^3/s$

Reemplazando estos valores tenemos que:

$$V = \frac{4 \times 0,00044m^3/s}{3,1416 \times (0,06745m)^2}$$

$$V = 0,12 m/s$$

Con el **D1** la velocidad del fluido es de **0,12 m/s**.

Ahora se hace el mismo cálculo, pero esta vez usando el diámetro #2 (D2).

D2=0,08204m

Q=0,00044 $m^3/s$

Reemplazando los valores, tenemos que:

$$V = \frac{4 \times 0,00044m^3/s}{3,1416 \times (0,08204m)^2}$$

$$V = 0,083m/s$$

Con el **D2** la velocidad del fluido es de **0,083 m/s**.

De acuerdo a lo anterior y tomando en cuenta los resultados de las velocidades del fluido para cada diámetro, se escoge el diámetro con el valor más aproximado a las velocidades permisibles según los criterios de diseño, en este caso el diámetro #1 (D1) que tiene un diámetro interno (DI) de 67,45 mm, Diámetro Nominal (DN) es de 75 mm (2.1/2") RDE 26 (105 m.c.a).

- **Pérdidas de carga en la línea de conducción ( $\Delta h_i$ )**

Bajo el mismo concepto del procedimiento empleado para la línea de captación - PTAT, se procede a hallar las pérdidas de carga de la línea de conducción. Para esto se tienen los siguientes datos:

Temperatura del agua = 30°C

Densidad del fluido = 995,7 Kg/m<sup>3</sup>

Viscosidad dinámica del fluido = 0,801x10<sup>-3</sup> Pa\*s

Diámetro tubería = 0,06745 m

Longitud tubería = 16,90 m

Velocidad media del fluido = 0,12 m/s

Aceleración de la gravedad = 9,81 m/s<sup>2</sup>

- **Pérdidas por fricción ( $h_f$ )**

El cálculo de las pérdidas por fricción dentro de las tuberías, se halló mediante la ecuación de Darcy – Weisbach.

El valor de Reynolds será:

$$Re = \frac{995,7 \text{ kg/m}^3 \times (0,12 \text{ m/s}) \times (0,06745)}{(0,801 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s})}$$

$$Re = 10061,41 > 4000; \text{Flujo turbulento}$$

Se determina el coeficiente de fricción ( $f$ )

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{0,0000015m}{3,71(0,06745m)} + \frac{4,555}{(10061,41)^{0,8764}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,030$$

Reemplazando en la fórmula de Darcy – Weisbach, tenemos:

$$h_f = 0,030 \times \frac{(16,90m)}{(0,06745m)} \times \frac{(0,12)^2}{2(9,81m/s^2)}$$

$$h_f = 0,0055m$$

- **Pérdidas menores ( $h_m$ )**

En la siguiente tabla se muestran los accesorios para cálculo de pérdidas menores en línea de aducción.

**Tabla 43.** Coeficientes de pérdidas menores “Aducción – PTAT”

Accesorios	Cantidad	$K_m$	Total
Codo de 90° estándar	3	0,54	1,62
<b>Sumatoria de <math>K_m</math></b>			<b>1,62</b>
<b>Velocidad en el tramo (m/s)</b>			<b>0,12</b>

Fuente: Autores, 2021

$$h_m = (1,62) \times \frac{(0,12)^2}{(2)(9,81)} = 0,0012m$$

Por consiguiente, las pérdidas de carga en la tubería de impulsión ( $\Delta hi$ ) están dadas por la suma de las pérdidas por fricción ( $h_f$ ) y las pérdidas menores ( $h_m$ ).

$$\Delta hi = h_f + h_m = 0,0055 m + 0,0012 m = 0,0067 m$$

$$\Delta h_i = 0,0067 \text{ m}$$

Para el caso de bombeo con bombas sumergibles, la carga dinámica o altura manométrica total ( $H_m$ ) en la tubería de conducción es igual a la suma de la altura estática ( $H_g$ ) más la pérdida de carga en la tubería de conducción ( $\Delta h_i$ ) y la energía de velocidad en el conducto en el conducto ( $V_i^2/2g$ ).

$$H_m = H_g + \Delta h_i + \frac{V_i^2}{2g}$$

El valor de la altura estática ( $H_g$ ) es calculado con los siguientes datos:

$$H_g = (C.L.A.T - C.L.A.Tu)$$

Reemplazando valores, obtenemos que:

$$H_g = (C.L.A.T - C.L.A.Tu)$$

$$H_g = (26,15 - 10,08)$$

$$H_g = 16,07 \text{ m}$$

Entonces,

$$H_m = 16,07 + 0,0067 \text{ m} + \frac{(0,44)^2}{2(9,81)} = 16,08 \text{ m}$$

#### **6.5.10.2. Cálculo del fenómeno de ariete**

Para determinar la resistencia de la tubería por sobrepresión, se deben emplear las ecuaciones de Allieve, Michaud o Mendiluce, según sea el caso se considerarán los siguientes parámetros:

Diámetro interior (DI) = 0,06745 m

Espesor (e) = 0,00279 m

Material = PVC

Módulo de elasticidad del material ( $\epsilon$ ) = 280421958,57 Kg/m<sup>2</sup>

Longitud (L) = 16,90 m

- Se Halla el Coeficiente K en función del módulo de elasticidad ( $\epsilon$ ) del material constitutivo de la tubería a partir de la siguiente ecuación.

$$K = \frac{10^{10}}{\epsilon}$$

$$K = \frac{10^{10}}{280421958,57 \text{ Kg/m}^2}$$

$$K = 35,66$$

- Se determina la pendiente hidráulica (m).

$$m = \frac{H_m}{L} \times 100$$

$$m = \frac{16,08m}{16,90} \times 100$$

$$m = 95,14\%$$

- Se calcula la celeridad (a). Esta se calcula mediante una ecuación dada por Allievi, y es la siguiente:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \times \frac{D}{e}}}$$

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + \left(35,66 \times \frac{0,06745}{0,00274}\right)}}$$

$$a = 328,11m/s$$

- Se determina el tiempo que tarda la onda de presión en dar una oscilación completa.

$$T = \frac{2L}{a}$$

$$T = \frac{2(16,90)}{328,11} = 0,10s$$

- Se calcula el tiempo de cierre de la válvula y tiempo de parada de bombas.  
Para el cálculo del tiempo, Mendiluce propone la siguiente ecuación:

$$t = C + \frac{K \times L \times V}{g \times H_m}$$

Como la longitud de nuestra tubería es 16,90 m, es decir, <500, el coeficiente K es igual a 2; asimismo, como nuestra pendiente es 95,14%, es decir, > 40%, el coeficiente K es igual a 0.

Conociendo estos datos, entonces se procede a hallar el tiempo de cierre de la bomba:

$$t = 0 + \frac{35,66 \times 16,90 \times 0,12}{9,81 \times 16,08}$$

$$t = 0,46s$$

Como  $t > T$ , entonces podemos concluir que tiempo de parada de la bomba es mayor al tiempo que tarda la onda de presión en dar una vuelta, por lo que se concluye que tiene un **cierre lento**.

- Se calcula la longitud crítica de la tubería para determinar si esta es una impulsión corta o larga.

$$L_c = \frac{a \times t}{2}$$

$$L_c = \frac{328,11 \times 0,46}{2}$$

$$L_c = 75,46m$$

Como  $L < L_c$ , se clasifica como una conducción corta. Cuando se da este caso, podemos hallar el fenómeno de golpe de ariete, mediante la fórmula propuesta por Michaud. Dicha fórmula es la siguiente:

$$\Delta H = \frac{2 \times L \times V}{g \times t}$$

$$\Delta H = \frac{2 \times 16,90 \times 0,12}{9,81 \times 0,46}$$

$$\Delta H = 0,90 \text{ m}$$

### 6.5.10.3. Cálculo de presión en la tubería de aducción.

La presión interna de diseño de las tuberías que conforman las aducciones a presión o conducciones debe calcularse como el mayor valor que resulte entre la presión estática y la máxima sobrepresión ocurrida por causas de un fenómeno de golpe de ariete, multiplicado por un factor de seguridad (literal B.6.4.4.6, RAS 2010). En este orden de ideas, se tiene que:

$$P_{\max} = \max(P_{\text{estática}}, P_{\text{transiente}})$$

Donde,

$$P_{\text{estática}} = 16,08 \text{ m. c. a}$$

$$P_{\text{transiente}} = 0,90 \text{ m. c. a}$$

Por lo que nuestra  $P_{\text{máx}}$  es igual a 16,08 m.

La presión de diseño estará determinada por la siguiente ecuación:

$$P_{\text{diseño}} = K \times P_{\max}$$

Donde, K = Factor de seguridad (igual que 1,10 para conducciones por gravedad; igual que 1,30 para conducciones/aducciones por bombeo).

$$P_{\text{diseño}} = 1,10 \times 16,08 \text{ m}$$

$$P_{\text{diseño}} = 17,68 \text{ m.c.a}$$

De acuerdo a lo anterior y tomando en cuenta los resultados de las velocidades del fluido para cada diámetro, se escoge el diámetro con el valor más aproximado a las velocidades permisibles según los criterios de diseño, en este caso el diámetro #1 (D1) que tiene un diámetro interno (DI) de 67,45 mm, Diámetro Nominal (DN) es de 75 mm (2.1/2") RDE 26 (105 m.c.a).

#### **6.5.11. Simulación hidráulica en el software EPANET de la red de distribución.**

La modelación de la red de distribución se llevó a cabo mediante el uso de la herramienta informática EPANET en su versión 2.0, este es un programa de ordenador para el análisis de sistemas de distribución de agua potable y además permite el cálculo de los caudales, la velocidad y pérdidas unitarias del fluido en las tuberías. La red consta de tuberías, nodos (conexiones entre tuberías), bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos.

Se tuvieron en cuenta las curvas de nivel o elevaciones relacionadas en el plano. Estas curvas fueron sacadas mediante un sistema satelital que referenciaba la zona estudio.

En cumplimiento con lo estipulado en la resolución 0330 de 2017 y el título B del RAS, los parámetros de diseño son:

Para la presión de los nodos dentro de la red, La resolución 0330 en su artículo 61, nos indica que para los niveles de complejidad bajo y medio la presión dinámica mínima para poblaciones de hasta 12500 habitantes debe ser 10 m.c.a. y para sistemas nuevos u optimizaciones, la presión estática máxima debe ser de 50 m.c.a (490,5 kPa).

- La resolución 0330 nos indica en el artículo 63, que el diámetro interno real mínimo de la red de distribución para zonas rurales no deberá ser menores a 50mm.

- El diámetro nominal mínimo en las redes menores o redes secundarias para los NCS Bajo y Medio es de 50 mm, utilizando el diámetro real interno a la hora del cálculo hidráulico (literal B.7.4.7.2 del RAS 2010).
- El diámetro nominal mínimo de los hidrantes contra incendios según el artículo 72 de la resolución 0330, es de 75 mm en zonas residenciales con densidades menores de 200 Hab/Ha.
- La velocidad mínima en las tuberías debe ser de 0,5 m/s (artículo 56, resolución 0330 de 2017). La velocidad máxima en las tuberías de la red de distribución depende del material de la misma, siendo para el caso de PVC de 6 m/s. (literal B.7.4.8 del RAS 2010).

Los datos de entrada que exige el Programa para su funcionamiento son:

- Los caudales establecidos para cada nodo.
- Las longitudes de los tramos de tubería.
- Las cotas del terreno en los nodos.
- Los diámetros de la tubería.

Del mismo modo, se empleó la expresión matemática de Williams & Hazen para realizar la simulación hidráulica.

**Nota:** no fue posible realizar la simulación de la red actual que permitiera determinar su estado, debido a la poca información existente de la misma, por lo que se planteó el diseño de una nueva red de distribución con tubería de Policloruro de vinilo (PVC)

- **Cálculos:**

Primeramente, se halla el caudal específico por unidad de superficie ( $Q_e$ ), para ello usamos la siguiente fórmula:

$$Q_e = \frac{QM H}{A_T}$$

Donde,

$Q_{MH}$  = Caudal máximo horario (L/s)

$A_T$  = Área de la zona en estudio (ha). Esta fue calculada usando el comando "AREA" de AutoCAD, siendo esta de 100,20 ha.

Reemplazando valores, tenemos que:

$$Q_e = \frac{0,71 \text{ L/s}}{100,20 \text{ ha}} = 0,0070 \text{ L/s/ha}$$

- Se calcula el caudal de consumo de cada nodo ( $Q_i$ )  
Se empleó el método de las áreas por ser el que más se ajusta a la información que se tiene de la población y su ecuación es la siguiente:

$$Q_i = (Q_e) \times (A_i)$$

Donde,

$Q_i$  = Caudal de consumo en cada nodo (L/s)

$Q_e$  = Caudal específico por unidad de superficie (L/s/ha).

$A_i$  = Área abastecida por el nodo  $i$  (ha). Esta al igual que el área de la zona de estudio, también fue determinada usando el comando "AREA" de AutoCAD.

A continuación, Se muestran los datos de entrada para la modelación de la red de distribución y posteriormente se evidencian los resultados de la misma (Tabla 43 y 44).

*Tabla 44. Parámetros de diseño para la modelación de la red de distribución.*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>Resolución 0330/Literal B del Ras</b>
<b>Nivel de Complejidad del Sistema</b>	Medio		
<b>Material de la tubería</b>	PVC		
<b>Número de habitantes a horizonte del proyecto</b>	157	Hab	
<b>Caudal de hidrantes</b>	5	L/s	Artículo 70 resolución 0330
<b>Caudal Máximo Horario (QMH)</b>	0,71	L/s	
<b>Área de la zona de estudio</b>	100,20	ha	
<b>Caudal por unidad de superficie</b>	0,0070	L/s/Ha	
<b>Porcentaje de área residencial</b>	100	%	
<b>Sección del tanque (área)</b>	42,88	m <sup>2</sup>	
<b>Diámetro del tanque (forma cilíndrica)</b>	3,90	m	
<b>Diámetro nominal mínimo de la red</b>	50	mm	resolución 0330
<b>Presión mínima en la red</b>	10	m.c.a	resolución 0330
<b>Presión máxima en la red</b>	<b>50</b>	<b>m.c.a</b>	

Fuente: Autores,2021

**Tabla 45.** Información de los nodos que conforman la red propuesta.

<b>ID Nudo</b>	<b>Cota</b>	<b>Demanda base (L/s)</b>	<b>Demanda (L/s)</b>	<b>Presión m.c.a</b>
<b>Depósito</b>	125,68	-----	-3,23	1,32
<b>Nudo 2</b>	115,68	0,18	0,18	10,70
<b>Nudo 3</b>	115,67	0,2	0,2	10,15
<b>Nudo 4</b>	115,58	0,22	0,22	10,11
<b>Nudo 5</b>	115,64	0,24	0,24	9,95
<b>Nudo 6</b>	115,61	0,26	0,26	9,92
<b>Nudo 7</b>	115,63	0,14	0,14	9,89
<b>Nudo 8</b>	115,65	0,14	0,14	9,88
<b>Nudo 9</b>	115,66	0,13	0,13	9,88
<b>Nudo 10</b>	115,64	0,15	0,15	9,88
<b>Nudo 11</b>	115,63	0,23	0,23	9,87
<b>Nudo 12</b>	115,33	0,16	0,16	10,14
<b>Nudo 13</b>	115,62	0,24	0,24	9,84
<b>Nudo 14</b>	115,6	0,28	0,28	9,75
<b>Nudo 15</b>	114,99	0,22	0,22	10,34
<b>Nudo 16</b>	115,68	0,18	0,18	9,65
<b>Nudo 17</b>	115,65	0,26	0,26	9,68
<b>TOTAL</b>				

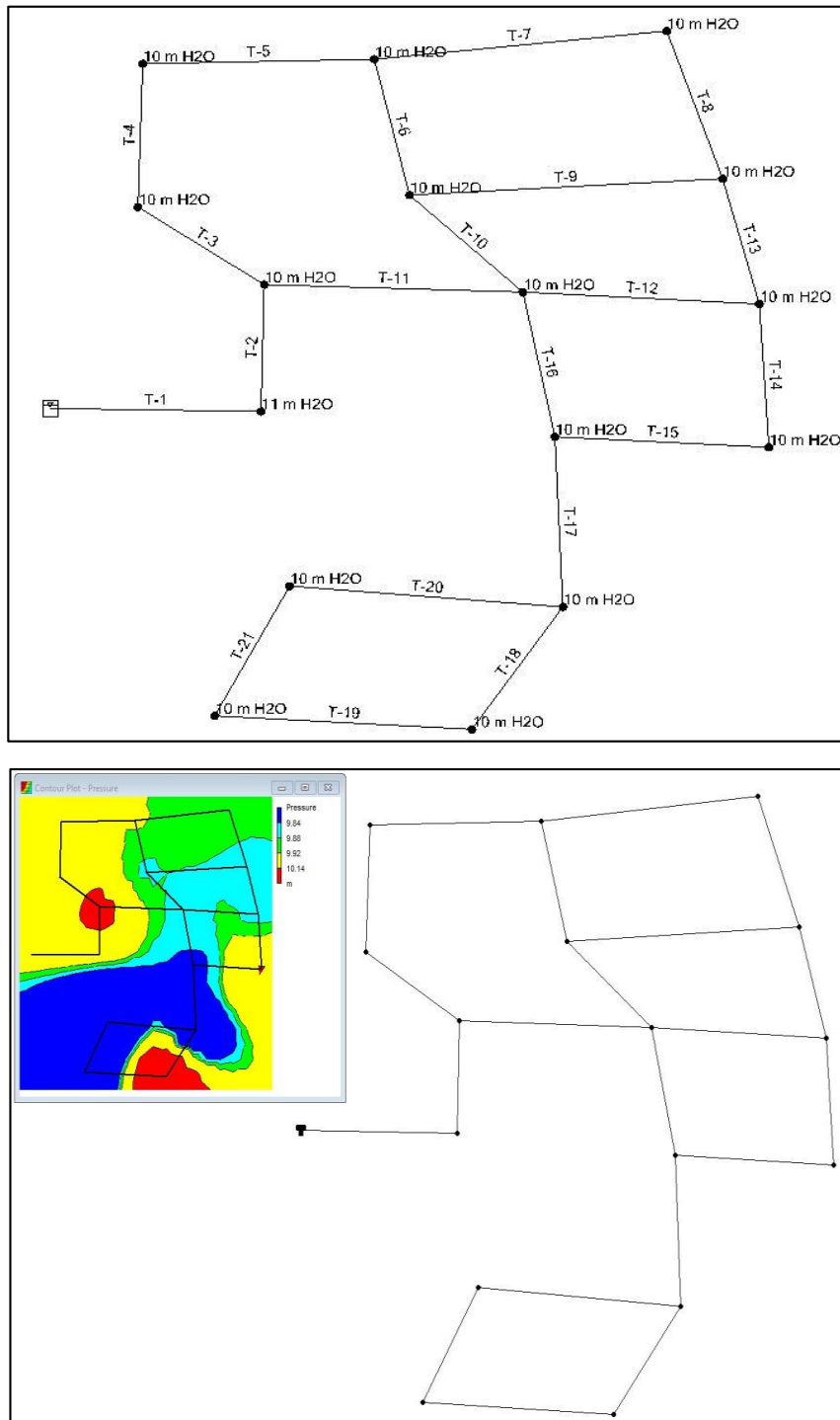
Fuente: Autores,2021

**Tabla 46.** Información tuberías que conforman la red propuesta.

<b>ID Tubería</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Rugosidad (mm)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
<b>Tubería 1</b>	50,45	67,45	0,00152	3,23	0,90
<b>Tubería 2</b>	50,57	67,45	0,00152	3,05	0,85
<b>Tubería 3</b>	71.36	67,45	0,00152	1,12	0,31
<b>Tubería 4</b>	70.67	67,45	0,00152	0,90	0,25
<b>Tubería 5</b>	85.36	67,45	0,00152	0,66	0,18
<b>Tubería 6</b>	72.30	67,45	0,00152	0,13	0,04
<b>Tubería 7</b>	72,30	67,45	0,00152	0,27	0,07
<b>Tubería 8</b>	80,90	67,45	0,00152	0,13	0,04
<b>Tubería 9</b>	64.22	67,45	0,00152	0,28	0,08
<b>Tubería 10</b>	44.78	67,45	0,00152	-0,29	0,08
<b>Tubería 11</b>	69.63	67,45	0,00152	1,73	0,48
<b>Tubería 12</b>	68.65	67,45	0,00152	0,51	0,14
<b>Tubería 13</b>	89.40	67,45	0,00152	0,26	0,07
<b>Tubería 14</b>	60.45	67,45	0,00152	0,54	0,15
<b>Tubería 15</b>	46.31	67,45	0,00152	0,38	0,11
<b>Tubería 16</b>	76.40	67,45	0,00152	0,80	0,22
<b>Tubería 17</b>	79.58	67,45	0,00152	0,94	0,26
<b>Tubería 18</b>	90,04	67,45	0,00152	0,32	0,09
<b>Tubería 19</b>	55,55	67,45	0,00152	0,10	0,03
<b>Tubería 20</b>	70,22	67,45	0,00152	0,34	0,10
<b>Tubería 21</b>	67.85	67,45	0,00152	0,16	0,05
<b>TOTAL</b>	<b>470.03</b>				

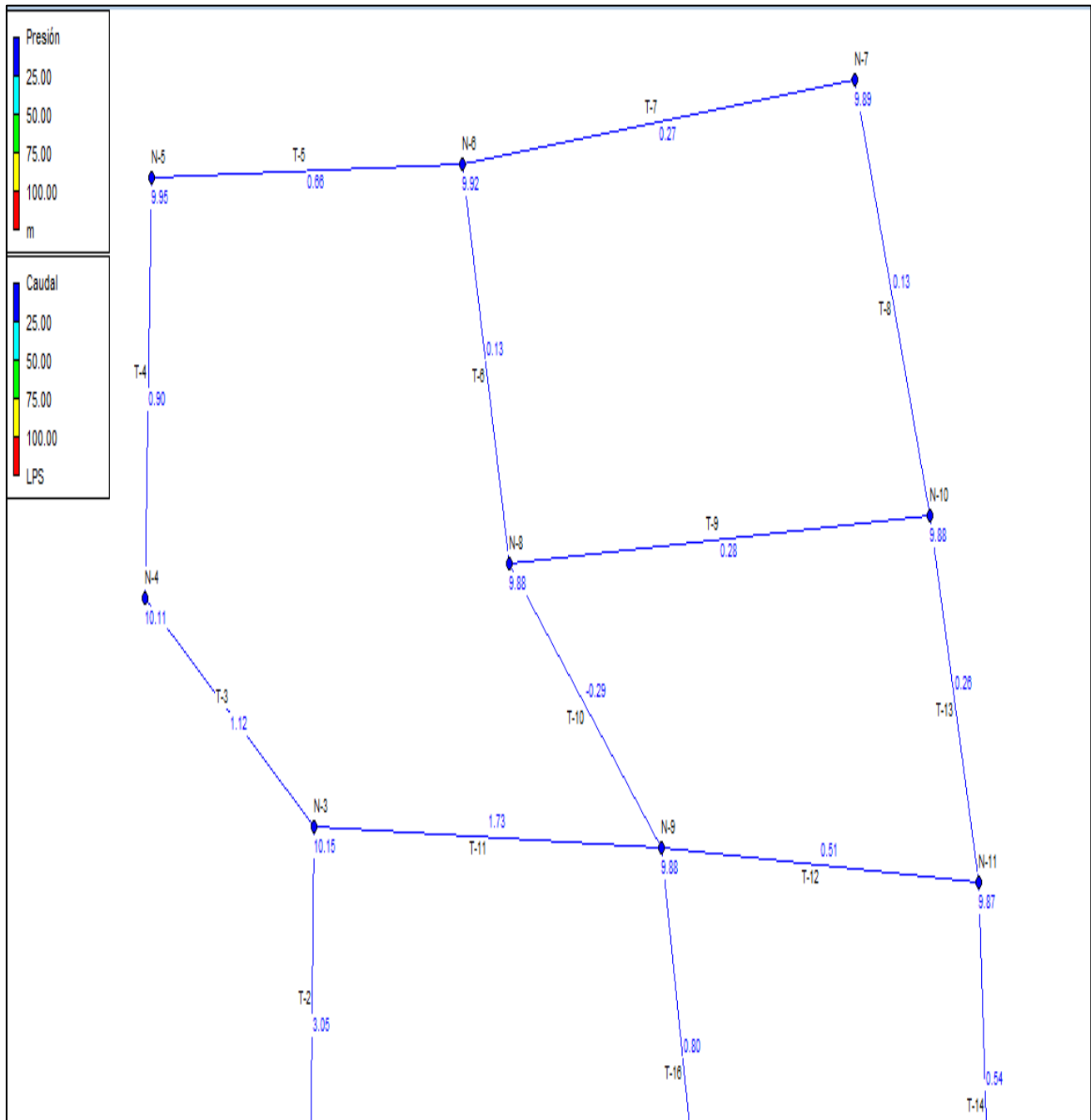
Fuente: Autores,2021

**Figura 19.** Vista General red de distribución propuesta



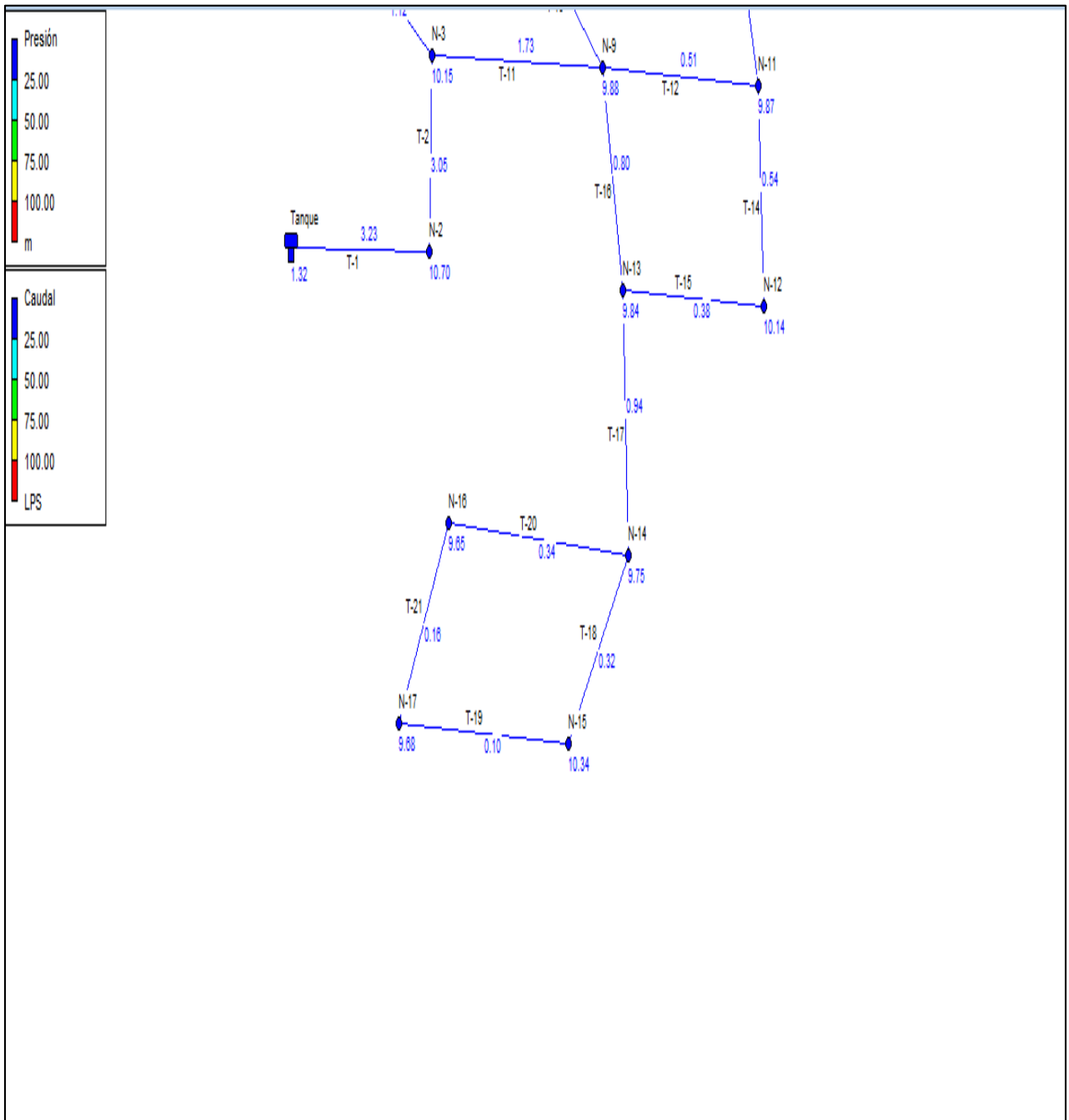
**Fuente:** Autores,2021

Figura 20. Vista de presiones y caudales en las tuberías, nodos (1)



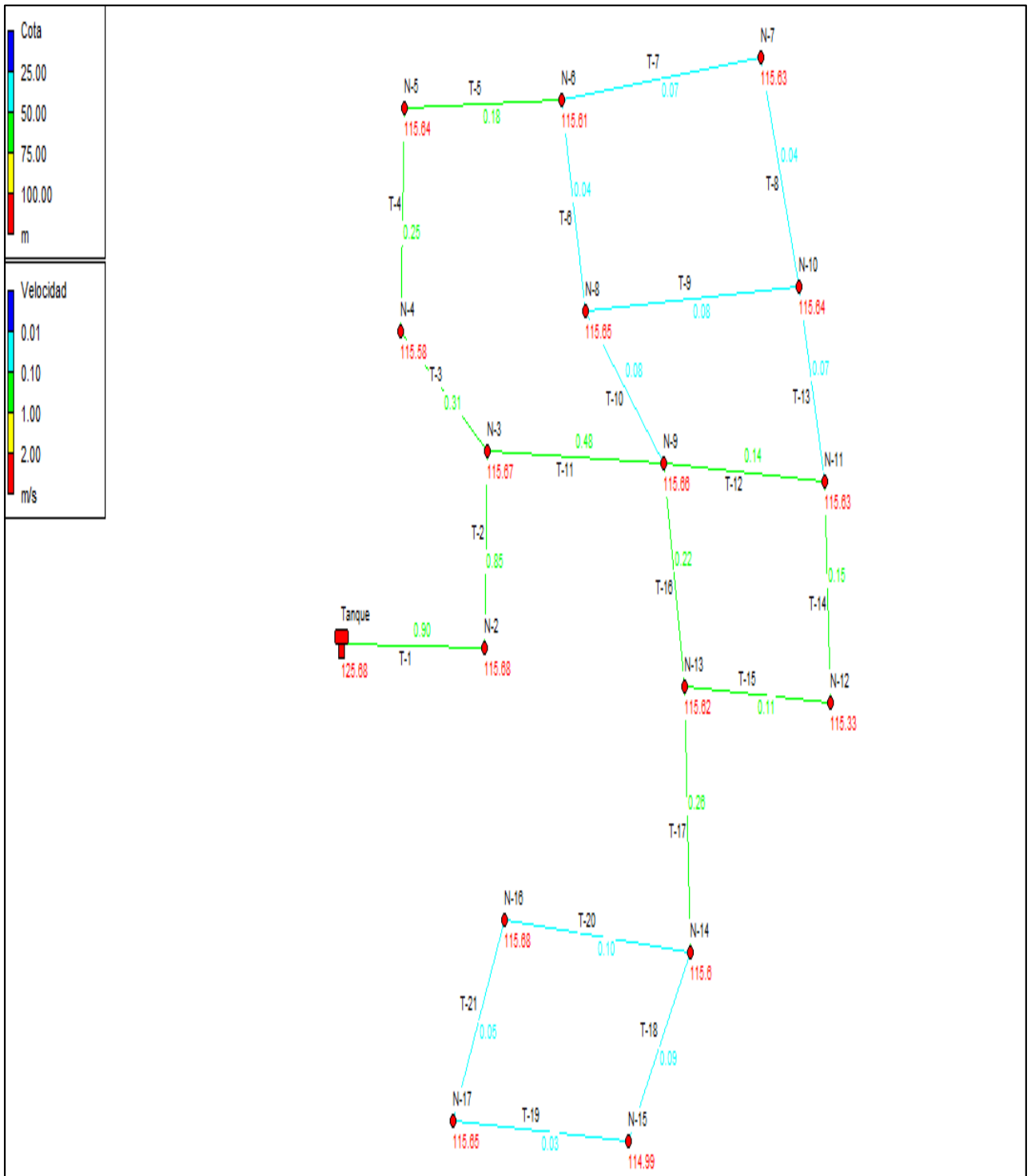
Fuente: Autores,2021

**Figura 21.** Vista de presiones y caudales en las tuberías, nodos (1).



Fuente: Autores,2021

Figura 22. Vista de velocidades y nodos.



Fuente: Autores, 2021

## 7. CONCLUSIONES

Durante la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos realizados en la comunidad del cedro magdalena se logró determinar que el agua suministrada a la comunidad no cumple con las condiciones y parámetros establecidos por la resolución 2115 de 2007.

De igual forma, el diagnóstico de la situación actual del sistema de abastecimiento de esta población permite identificar el mal estado de cada uno de los componentes que integran dicho sistema. De este modo, la alternativa de optimización para el sistema de abastecimiento de agua de la comunidad objeto de estudio garantizan el suministro de un líquido apto para el consumo humano. Resaltando que la unidad de tratamiento es de fácil operación y mantenimiento, por lo que cualquier persona no ajena a esta comunidad con previa capacitación, puede convertirse en el operador del sistema.

Teniendo en cuenta las características topográficas de las áreas en estudio (topografía plana), se logró el diseño por bombeo más óptimo de la línea de aducción de la comunidad del Cedro, esto con base a diferentes autores con experiencia en este tipo de diseños. El trazado y modelación de la red de distribución se llevó a cabo con el software EPANET 2.0.12, debido a la utilidad que brindó como herramienta para el desarrollo de este estudio.

De lo anteriormente mencionado, el diseño de la optimización del sistema de abastecimiento para la Comunidad del Cedro Magdalena, son la base para el adecuado de abastecimiento a la población garantizando un sistema de calidad, eficaz en sus procesos.

## **8. RECOMENDACIONES**

Cumplir con las directrices de diseño planteadas, para así evitar resultados ajenos a los cuales se espera obtener.

Periódicamente debe ser llevado a cabo el mantenimiento de las estructuras por parte del personal encargado.

Es recomendable crear y ejecutar un programa de socialización y toma de conciencia, acerca de la importancia de no usar estos sistemas como suministro de agua para riego y bebida de animales, así como también a no realizar conexiones fraudulentas, ya que elevaría los picos de consumo y colapsaría el sistema.

Para finalizar, se recomienda la creación e implementación de un plan de ahorro y uso adecuado del agua, al igual que un programa de capacitación sobre las medidas de ahorro del agua potable y adaptación al cambio climático. Esto con el fin de lograr la sostenibilidad del sistema en el tiempo.

## 9. Bibliografía

Alcaldía Municipal de El Banco, Magdalena. (20 de Marzo de 2018). *Alcaldía Municipal de El Banco, Magdalena*. Obtenido de Alcaldía Municipal de El Banco, Magdalena: <http://www.elbanco-magdalena.gov.co/municipio/geografia>

Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteras. (2005). Abastecimiento de Agua y Saneamiento. Tecnología para el desarrollo humano y acceso a los servicios básicos. En A. C. Fronteras, *Abastecimiento de Agua y Saneamiento. Tecnología para el desarrollo humano y acceso a los servicios básicos* (pág. 179). Barcelona: Generalist de Catalunya.

Báez, J., & Forero, R. (2018). Energía solar fotovoltaica, una alternativa sustentable para el futuro. *Energía solar fotovoltaica, una alternativa sustentable para el futuro.*, 14.

Barrios Napuri, C., Torres Ruiz, R., Lampoglia, T. C., & Agüero Pittman, R. (2009). Guía de Orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades. En C. Barrios Napuri, R. Torres Ruiz, T. C. Lampoglia, & R. Agüero Pittman, *Guía de Orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades*. (págs. 35-50).

Cátedra de ingeniería rural (2016). Alcobendas Cobo, P.J., Morales Rodríguez, P.A., Núñez de Arenas, J.J., & López Perales, J.A.

Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. En *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. (pág. 8). Coyoacán, México.

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones unidas. (22 de Octubre de 2014). ONU. Obtenido de ONU: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Díaz Fernández, J. M. (2018). Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas. En J. M. Díaz Fernández, *Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas* (pág. 104). España: Ediciones Paraninfo, S.A.

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (2009). Normas de Diseños de Sistemas de Acueducto de EPM. Medellín, Colombia.

Induanálisis. (17 de Mayo de 2019). Obtenido de [https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/agua\\_subterranas\\_y\\_superficial\\_29](https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/agua_subterranas_y_superficial_29)

Abreu, J.M., Cabrera., E. Iglesias, P.L., Izquierdo, J. (1995). El Golpe de Ariete en Tuberías de Impulsión. Comentarios a las expresiones de Mendiluce. Universidad Politécnica de Valencia, España.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título C. Sistemas de Potabilización. Vargas Liévano, Armando (Ed.); Bogotá, D.C. Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título B. Sistemas de Acueducto. Saldarriaga Valderrama, Juan (Ed.); Bogotá, D.C. Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2017). Resolución 0330 "por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector agua potable y saneamiento básico (RAS) y se derogan las resoluciones números 1996 de 2000, 0424 de 2001,0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005, 2320 de 2009"

Pineda, H. M. (2019). Agua Potable para el Magdalena. *El Congreso*.

Rodríguez, C. Z. (28 de Noviembre de 2012). *Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos*. Obtenido de Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos: <http://www.bdigital.unal.edu.co/35845/2/36284-186640-1-PB.html>

Vélez Otálvaro, M. V., Ortiz Pimienta, C., & Vargas Quintero, M. C. (2011). Guía "Las Aguas Subterráneas: Un enfoque Práctico". En M. V. Vélez Otálvaro, C. Ortiz Pimienta, & M. C. Vargas Quintero, *Las Aguas Subterráneas: Un enfoque Práctico* (pág. 27). Bogotá.

Yactayo, V. M. (s.f.). Sedimentación. En V. M. Yactayo, *Sedimentación* (pág. 61). Obtenido de Ingenieroambiental: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/siete.pdf>

## 10. ANEXOS

### ANEXO 1. Formato encuesta

**Nombre:** \_\_\_\_\_ **Fecha:** \_\_\_\_\_

**Dirección/Ubicación:** \_\_\_\_\_

A continuación, señor lector se le realizarán una serie de preguntas relacionadas con la prestación del servicio de agua potable y datos socioeconómicos, que servirán de base para llevar a cabo un estudio académico en el que se pretende evaluar las condiciones actuales del sistema de abastecimiento de agua de su comunidad y plantear las alternativas necesarias para mejorar las condiciones de sus pobladores.

**1. ¿La vivienda en la que vive es?**

Propia y totalmente pagada.....

Propia y la está pagando.....

Prestada o cedida (no pagada).....

Arrendada.....

**2. ¿Qué tipo de vivienda es?**

Casa.....

Rancho.....

Choza.....

Departamento en casa.....

Otra.....

Si seleccionó Otra, especifique cual. \_\_\_\_\_

**3. ¿Qué tipo de estudio posee?**

- Primaria.....
- Secundaria.....
- Tecnológicos.....
- Estudios superiores.....
- Ninguno.....

**4. ¿Cuál es la actividad económica que ejerce actualmente?**

- Agrícola ganadero.....
- Obrero.....
- Jornalero.....
- Empleado.....
- Otro.....

Si seleccionó Otro, especifique cual. \_\_\_\_\_

**5. ¿Cuántas personas viven en su vivienda?**

- Menos de 5 personas.....  Especifique ( )
- Más de 5 personas.....  Especifique ( )

**6. ¿Cuál es la procedencia principal del abastecimiento de agua en su vivienda?**

- De pozo.....
- De río, vertiente, canal o acequia....  Especifique \_\_\_\_\_
- De la red pública.....
- De la lluvia.....
- Otro.....

**7. ¿Qué uso le da al agua que es suministrada en su vivienda? Puede seleccionar más de una opción.**

Riego de plantas/cultivos.....

Consumo/bebida.....

Bebida para animales.....

Higiene personal.....

**8. ¿Usa alguna otra fuente de abastecimiento de agua para su Consumo/bebida?**

Sí.....

No.....

Si seleccionó Sí, especifique ¿cuál? y ¿por qué? \_\_\_\_\_

**9. ¿Qué tipo de servicio higiénico o escusado tiene?**

Pozo ciego.....

Pozo séptico.....

Pozo séptico + pozo ciego.....

Conectado a red de alcantarillado.....

Letrina.....

Descarga a mar, río o quebrada.....

No tiene.....

**10. ¿Cómo califica el abastecimiento de agua potable que posee?**

Bueno.....

Regular.....

Malo.....

**11. ¿Cómo considera la continuidad del servicio de abastecimiento de agua de su localidad?**

Servicio continuo.....

Servicio discontinuo.....

**12. ¿Paga actualmente una tarifa por el servicio de abastecimiento de agua de su vivienda?**

Si.....

No.....

Si seleccionó Si, especifique valor apróx. \_\_\_\_\_

**13. ¿Cree usted que se debería mejorar el sistema de abastecimiento de agua de su localidad? Tenga en cuenta que un mejor sistema tendrá una mejor calidad de agua para consumo.**

Si.....

No.....

**14. ¿Estaría dispuesto a colaborar en la mejora del sistema de abastecimiento de agua de su localidad?**

Si.....

No.....

Si seleccionó Si, indique ¿cuál de las siguientes opciones considera?, de lo contrario omita la pregunta. Puede seleccionar más de una opción.

Mano de obra.....

Traductor.....

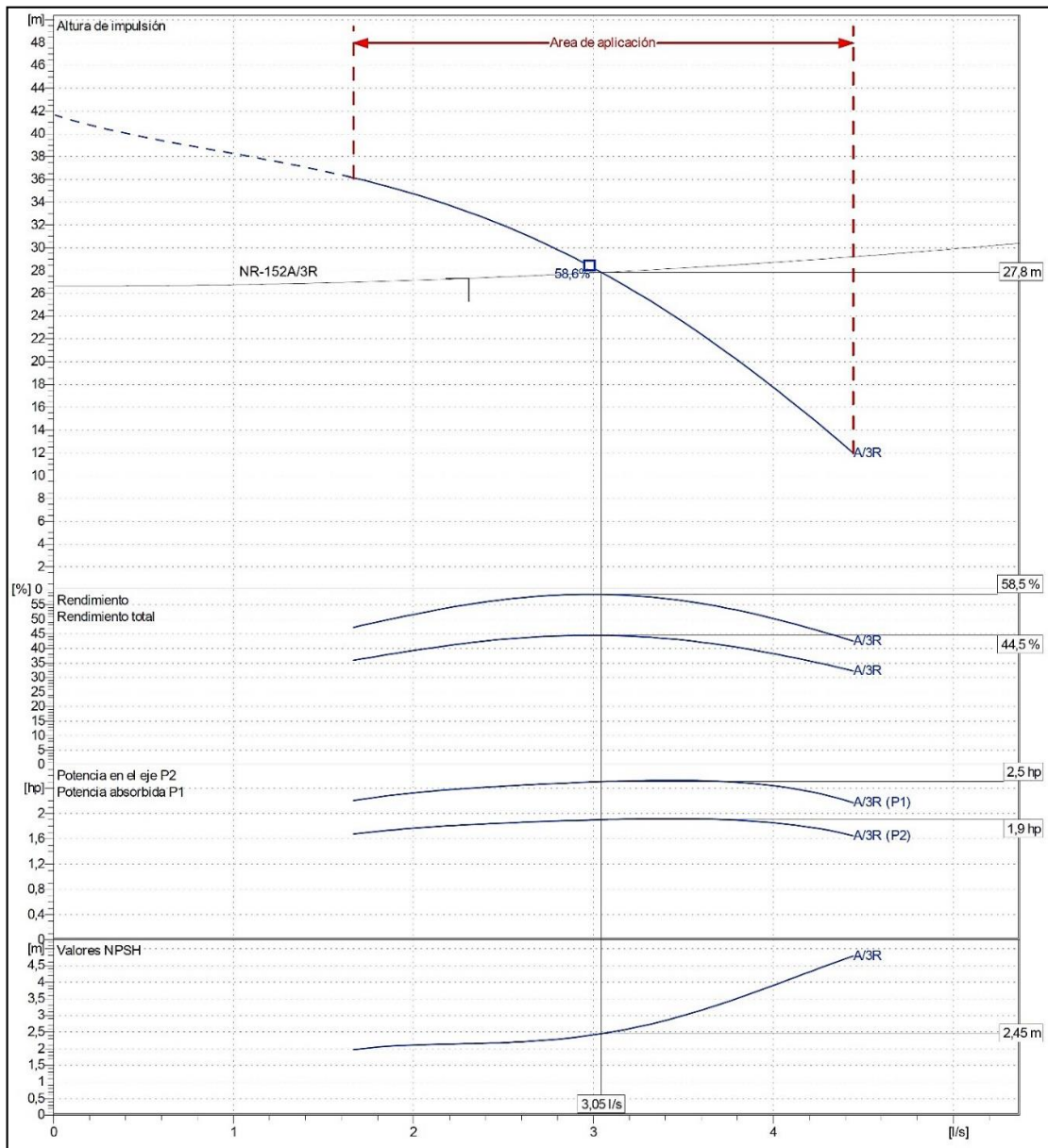
Pago tarifa mensual.....

**Gracias por el tiempo que dedicó para responder este cuestionario**

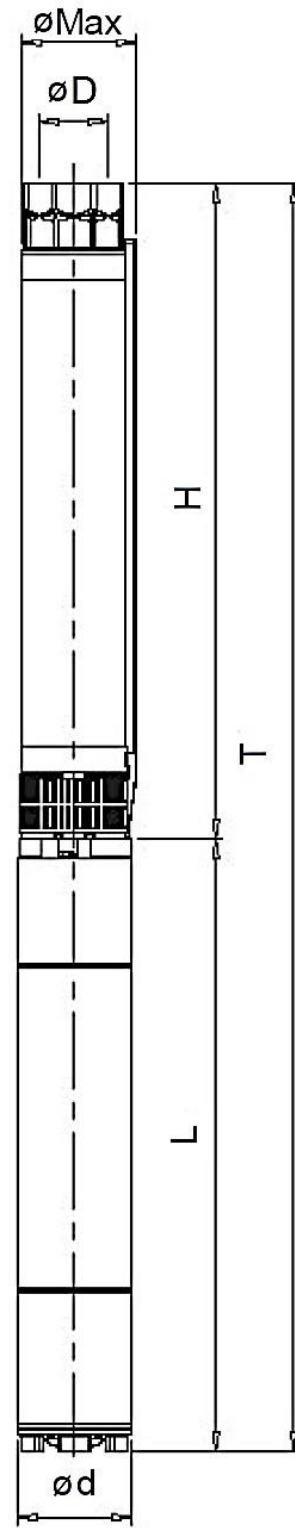
**ANEXO 2. Especificaciones de la bomba seleccionada**

**Tabla 47. Especificaciones de la bomba**

<b>Especificaciones de la Bomba Seleccionada</b>			
Modelo	NR-152A/3R	Preponderancia	27,80 m (Nominal)
Velocidad	2900 rpm		36,10 m
Número estadios	3		12,00 m
Caudal	3,05 L/s (Nominal)	Presión máxima de trabajo	408 kPa
	4,44 L/s	Potencia sobre eje	2,90 HP
	1,67 L/s	Eficiencia	58,50 %
<b>Especificaciones del Motor</b>			
Modelo	SAER CL 95-2T	Velocidad	2900 rpm
Potencia	4,0115 HP	Tipo de arranque	Directo
Rendimiento 4/4	76 %	Grado de protección	IP 68
Corriente Eléctrica	5,7 A	Clase de aislamiento	B
Tensión Eléctrica	230 - V 3 ~ 50 Hz	Tamaño construcción	4"



H	524
L	428
ød	94
øD	3"
øMax	145
T	952



### **ANEXO 3. VISITA DE CAMPO**

*Figura 23. Visita a la obra de captación.*



*Figura 24. Charla con la comunidad.*



**Figura 25.** Charla con el encargado de la obra de captación.



*Figura 26. Interruptor de la bomba presente en la zona*



*Figura 27. Tanque Almacenamiento del sistema presente en la zona.*

