



Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 21 Abril de 2019

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

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

Director (a):
Rubén Darío Tamayo Ramírez

Línea de Investigación:
Manejo Integrado del Recurso Hídrico

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

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

Acta de sustentación



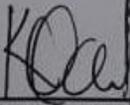
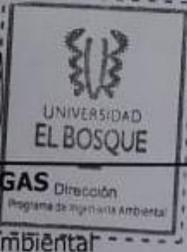
SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA No: 1065

El día **13 MAYO 2019**, en las instalaciones de la Universidad El Bosque, se desarrolló la sustentación del trabajo de grado titulado **PROPUESTA DE DISEÑO: UNIDADES DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA CAPTADA POR EL CENTRO POBLADO PALONEGRO DEL MUNICIPIO DE MONTERREY, CASANARE.**, escrito por **LUISA FERNANDA FIGUEREDO GARCIA, CÉDULA 1118124772** y **MARIO ANDRÉS MARTÍNEZ GARCÍA, CÉDULA 1019119530**, bajo la dirección de **RUBEN DARIO TAMAYO RAMIREZ, CÉDULA 162052**, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental. El trabajo fue evaluado por los jurados **GINA PAOLA GONZALEZ ANGARITA CÉDULA 52,236,426** y **JOHANN ENRIQUE GIL TOQUICA CÉDULA 80926823**, quienes deliberaron y concluyeron que cumple con los criterios de calidad.

Por lo tanto, el trabajo es: **Aprobado.**

En constancia, se firma en Bogotá, D.C. **13 MAYO 2019**


KENNETH OCHOA VARGAS Dirección
Director Programa de Ingeniería Ambiental



GERMÁN AGUDELO ASCENCIO
Secretario Académico
Facultad de Ingeniería


Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

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

A Dios por permitirnos culminar esta etapa y nuestros padres por su entrega y compromiso durante nuestra formación universitaria.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios primeramente por guiarnos en este proceso universitario, a nuestros padres y familiares por su apoyo y dedicación con nosotros. También agradecemos al Ingeniero Ruben Dario Tamayo por su colaboración y compromiso con el desarrollo de nuestro proyecto que gracias a su experiencia permitió darle un mejor rumbo a esta investigación.

Al igual agradecemos al concejal Rober Rodriguez por su colaboración en la búsqueda de información y acercamiento con la comunidad. Al presidente de la junta de acción comunal del centro poblado de Palonegro Daniel Cortez, por su acompañamiento e interés durante la visita de campo.

1. Tabla de Contenido

1. Tabla de Contenido	8
2. Listado de Tablas	10
3. Listado de Figura	12
4. Listado de anexos	13
5. Resumen.....	14
6. Abstract	15
7. Introducción	16
8. Planteamiento del problema	17
9. Justificación.....	18
10. Objetivo general y específicos.....	19
10.1. Objetivo general	19
10.2. Objetivos específicos	19
11. Marco de referencia.....	20
11.1. Estado del arte	20
11.2. Marco teórico - Conceptual	23
11.2.1. Gestión Integral del Recurso Hídrico	24
11.2.2. Calidad del agua	25
11.2.3. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua - IRCA	29
11.2.4. Potabilización del agua	31
11.2.4.1. Pretratamiento	32
11.2.4.2. Mezclado hidráulico rápido - Coagulación.....	32
11.2.4.3. Floculación hidráulica	32
11.2.4.4. Sedimentación hidráulica después de coagulación y floculación.....	32
11.2.4.5. Filtración rápida.....	33
11.2.4.6. Filtración lenta	33
11.2.4.7. Productos químicos y alimentadores de productos químicos.....	33
11.3. Marco normativo	34
11.4. Marco geográfico	36
11.5. Marco Institucional	40
12. Metodología	41
12.1. Enfoque de la investigación	41
12.2. Alcance de la investigación	41
12.3. Unidad de Análisis	41

12.4. Método de la investigación	42
12.5. Técnicas e instrumentos	42
12.6. Variables e indicadores	43
12.7. Matriz metodológica	44
12.8. Metodología por objetivo	46
12.8.1. <i>Objetivo específico 1. Diagnosticar las condiciones sociales y ambientales del centro poblado de Palonegro.</i>	46
12.8.2. <i>Objetivo específico 2. Identificar las unidades de tratamiento necesarias para la potabilización del agua en relación con las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua y el diagnóstico realizado.</i>	49
12.8.3. <i>Objetivo específico 3. Realizar el dimensionamiento y esquematización de las unidades de tratamiento requeridas para la potabilización del agua.</i>	50
12.9. Flujo metodológico	52
13. Cronograma	55
14. Resultados, análisis y discusión	57
14.1. <i>Objetivo específico 1. Diagnosticar las condiciones sociales y ambientales del centro poblado Palonegro.</i>	57
14.1.1. <i>Diagnóstico social</i>	57
14.1.2. <i>Diagnostico ambiental</i>	68
14.2. <i>Objetivo específico 2. Identificar las unidades de tratamiento necesarias para la potabilización del agua en relación con las características fisicoquímicas del agua y el diagnóstico realizado.</i>	75
14.3. <i>Objetivo específico 3. Realizar el dimensionamiento y esquematización de las unidades de tratamiento requeridas para la potabilización del agua.</i>	78
14.3.1. <i>Estimación del caudal de diseño para la comunidad del centro poblado Palonegro</i> 78	
14.3.2. <i>Determinación de la dotación neta máxima, dotación bruta, caudal medio diario, caudal máximo diario.</i>	79
14.3.3. <i>Dimensionamiento de las unidades de tratamiento</i>	80
15. Conclusiones	110
15.1. <i>Objetivo 1. Diagnosticar las condiciones sociales y ambientales del centro poblado Palonegro.</i>	110
15.2. <i>Objetivo 2. Identificar las unidades de tratamiento necesarias para la potabilización del agua en relación con las características fisicoquímicas del agua y el diagnóstico realizado.</i> 110	
15.3. <i>Objetivo 3. Realizar el dimensionamiento y esquematización de las unidades de tratamiento requeridas para la potabilización del agua.</i>	110
16. Recomendaciones	112
17. Referencias Bibliográficas	113
18. Anexos	116

2. Listado de Tablas

Tabla 1. Clasificación de las aguas según su dureza.....	28
Tabla 2. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse.....	29
Tabla 3. Puntaje de riesgo para características de calidad del agua cruda.....	30
Tabla 4. Matriz legal.....	34
Tabla 5. Variables e indicadores.....	43
Tabla 6. Matriz metodológica.....	44
Tabla 7. Clasificación de las coberturas del área de estudio.....	47
Tabla 8. Ecuaciones de costos para tratamientos unitarios.....	49
Tabla 9. Costos medios de filtros lentos de arena.....	50
Tabla 10. Asignación del nivel de complejidad.....	51
Tabla 11. Dotación neta según el Nivel de Complejidad.....	51
Tabla 12. Determinación coeficientes K1 y K2.....	51
Tabla 13. Cronograma.....	55
Tabla 14. Informes cuestionados.....	59
Tabla 15. Opciones de respuesta pregunta 1.....	60
Tabla 16. Actividades laborales.....	61
Tabla 17. Rango de ingresos mensuales.....	62
Tabla 18. Material de las paredes de la casa.....	63
Tabla 19. Material de los pisos.....	63
Tabla 20. Servicios públicos.....	64
Tabla 21. Uso principal del agua.....	65
Tabla 22. Casos de enfermedades por el consumo de agua sin tratar.....	66
Tabla 23. Evidencia del olor, color y/o sabor inusual del agua de consume.....	67
Tabla 24. Personas de acuerdo con pagar una tarifa por el servicio de agua potable.....	67
Tabla 25. Informe de resultados.....	68
Tabla 26. Comparación de los parámetros con la Resolución 2115 de 2007.....	69
Tabla 27. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que insume el agua captada para consumo según la Res. 2115 de 2007.....	70
Tabla 28. Nivel de riesgo de la calidad del agua proveniente del Río Túa en el sector Palonegro.....	70
Tabla 29. Clasificación de las coberturas de la zona de estudio.....	74
Tabla 30. Parámetros físicos y microbiológicos no conformes de acuerdo con lo establecido en el decreto 2115 de 2007.....	75
Tabla 31. Tecnologías de tratamiento sugeridas por el RAS 2017 para características no conformes.....	76
Tabla 32. Criterios de diseño para el Coagulador.....	82

Tabla 33. Consolidación de resultados para el diseño del Coagulador.....	85
Tabla 34. Criterios de diseño para floculador.	87
Tabla 35. Consolidación de resultados para el diseño del Floculador flujo horizontal.	89
Tabla 36. Criterios de diseño para el sedimentador.	92
Tabla 37. Consolidación de resultados para el diseño del Sedimentador.	94
Tabla 38. Criterios de diseño para filtros lentos de arena.	95
Tabla 39. Consolidación de resultados para el diseño del tanque de filtración.	98
Tabla 40. Consolidación de materiales necesarios para la construcción.	107
Tabla 41. Estimación de costos de materiales.....	108
Tabla 42. Cuantificación de costos de las unidades de tratamiento.....	109

3. Listado de Figura

Figura 1. Jerarquización de las teorías de investigación.	23
Figura 2. Fases de planificación e implementación de la GIRH (ONU-Agua, 2014).	24
Figura 3. Mapa ubicación Monterrey Casanare.	36
Figura 4. Mapa Monterrey casanare con sus respectivas veredas.	38
Figura 5. Subzona hidrográfica del río Túa.	39
Figura 6. Formato encuestas.	47
Figura 7. Flujo metodológico.	52
Figura 8. Zonas de riesgo identificadas en el centro poblado.	58
Figura 9. Uso del suelo.	58
Figura 10. Mapa levantamiento usos del suelo Palonegro.	59
Figura 11. Actividades laborales.	61
Figura 12. Rangos de ingresos mensuales.	62
Figura 13. Servicios públicos.	65
Figura 14. Uso principal del agua.	66
Figura 15. Estructura de almacenamiento de agua.	71
Figura 16. Estructura de almacenamiento de agua.	72
Figura 17. Toma aérea de la zona de estudio.	73
Figura 18. Ubicación del punto de captación y el tanque de almacenamiento.	73
Figura 19. Zonificación del Centro poblado Palonegro.	75
Figura 20. Unidades de tratamiento convencional.	77
Figura 21. Unidades de tratamiento de filtración directa.	77
Figura 22. Unidades de tratamiento de filtración directa (Variación).	77
Figura 23. Esquema vertedero triangular.	82
Figura 24. Esquema floculador vista en planta.	91
Figura 25. Esquema Floculador horizontal en corte frontal.	91
Figura 26. Esquema floculador horizontal corte lateral.	92
Figura 27. Triángulo de referencia para el cálculo de la profundidad de la tolva.	93
Figura 28. Esquema unidad sedimentación.	94
Figura 29. Esquema vista en planta, frontal y lateral del sedimentador.	95
Figura 30. Esquema tanque de almacenamiento.	101
Figura 31. Esquema vista en planta, frontal y lateral del tanque de almacenamiento.	101

4. Listado de anexos

Anexo 1. Informe de resultados pruebas físico-químicas del agua.....	116
Anexo 2. Referencia de la motobomba.....	117
Anexo 3. Referencia de la motobomba.....	117
Anexo 4. Entrevistas a la comunidad.....	118
Anexo 5. Panorámica Palonegro.....	118

5. Resumen

El siguiente trabajo se realizó teniendo en cuenta la necesidad que tiene la comunidad del centro poblado de Palonegro con respecto a la calidad que presenta el agua que están captando para uso doméstico y su incidencia en la salud. Por lo tanto, el objetivo principal de este proyecto es proponer el diseño de unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare. La metodología del proyecto consistió en el levantamiento de información primaria y secundaria, por medio de una visita técnica al área de estudio y revisión de documentos técnicos, consolidando un diagnóstico. Posterior a eso se procedió a realizar la selección de las unidades de tratamiento más adecuadas de acuerdo con la información previamente identificada teniendo en cuenta los parámetros que establece el RAS, la calidad del agua y algunos referentes teóricos, para lo cual se definieron las unidades de coagulación, floculación, sedimentación, filtración lenta de arena, además de unas estructuras auxiliares (tanque auxiliar, tanque para bombeo y tanque de almacenamiento final). Finalmente se realizó el dimensionamiento y esquematización de dichas unidades, teniendo en cuenta que el caudal de diseño fue de 0,5 L/s para el año 2044, asimismo del diseño estructural de las mismas.

Palabras clave: Potabilización del agua, calidad del agua, IRCA, procesos unitarios de tratamiento.

6. Abstract

The following work was carried out considering the need of the community of the town of Palonegro regarding the quality of the water they are capturing for domestic use and its impact on health. Therefore, the main objective of this project is to propose the design of treatment units for the purification of the water captured by the Palonegro town center in the municipality of Monterrey, Casanare. The methodology of the project consisted of the collection of primary and secondary information, through a technical visit to the study area and review of technical documents, consolidating a diagnosis. After that, the selection of the most appropriate treatment units was carried out according to the information previously identified, taking into account the parameters established by the RAS, water quality and some theoretical references, for which the units of coagulation, flocculation, sedimentation, slow sand filtration, as well as auxiliary structures (auxiliary tank, pumping tank and final storage tank). Finally, the sizing and schematization of said units was carried out, bearing in mind that the design flow rate was 0.5 liters per second for the year 2044, as well as the structural design of the same.

Keywords: Water purification, water quality, Water Quality Risk Index, Unit Treatment Processes

7. Introducción

Este proyecto de investigación busca realizar una propuesta de diseño de unidades de tratamiento para el agua que es captada por la comunidad del centro poblado Palonegro, en el municipio de Monterrey, Casanare. Esta comunidad capta el agua proveniente del río Túa utilizando una motobomba que sube el recurso a un tanque elevado y es distribuida sin realizar ningún tratamiento. Esto implica un problema, ya que la comunidad se ha visto afectada por enfermedades asociadas al agua como parasitismos y enfermedades diarreicas agudas.

El documento busca presentar la propuesta de diseño, por medio de la formulación de una serie de objetivos que permiten realizar un diagnóstico de las condiciones sociales y ambientales de la zona de estudio, que permita contextualizar las posibles alternativas; un proceso de análisis de la información obtenida para decidir sobre las unidades de tratamiento a utilizar; y, por último, el dimensionamiento y la esquematización de las unidades de tratamiento seleccionadas, es decir, el diseño hidráulico y el diseño estructural.

La finalidad de este documento es brindar un aporte técnico a la comunidad del centro poblado de Palonegro de acuerdo con la situación que poseen, para así evitar los problemas de sociales, ambientales y jurídicos que dicha prroblematica genera y afecta la calidad de vida de las personas.

8. Planteamiento del problema

El agua es un recurso vital para el desarrollo socioeconómico, la energía, la agricultura, los ecosistemas saludables y en general de la vida de las personas, que de faltar puede generar problemas en la salud de estos, en gran parte porque la demanda es mucho mayor que la oferta disponible en ciertos casos.

La escasez de agua es un problema que viene afectando a más del 40% de la población mundial, 2.100 millones de personas carecen del servicio de agua potable, más de 4.500 millones carecen del acceso a servicios de saneamiento y cerca de 1000 niños mueren por enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento inapropiados (Organización Mundial de la Salud, 2017). Por lo tanto, el acceso a agua potable y los sistemas de saneamiento se hacen igual de importantes; ya que son vitales para reducir enfermedades y mejorar la salud, educación y economía de las regiones.

La falta de planificación en los sistemas de apoyo a inversiones territoriales, ha dado como resultado un mal manejo en los recursos invertidos por parte del estado que le han apostado a los servicios públicos de las regiones más vulnerables del país, para ser más exactos cerca de una décima parte de la población no cuenta con acceso a agua potable ni alcantarillado (Clavijo, 2017). El problema no radica tanto en el hecho de no contar con la disponibilidad del líquido, si no en la falta de mecanismos de distribución y gestión, situación que limita el bienestar de la población del país (Domínguez Calle, 2012). Adicionalmente, resaltando que el agua debe ser un derecho fundamental según lo estipulado en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (*Obj 6*): *Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*.

A partir de lo anterior y analizando la situación del municipio de Monterrey Casanare, específicamente el centro poblado de la vereda de Palonegro, encontramos que ésta cuenta con un área aproximada de 4.7 hectáreas y una población de 160 personas (Proyectos Consultoría, 2018). Este centro poblado de Palonegro carece de cobertura de servicios básicos como agua potable (acueducto), saneamiento básico, infraestructura vial, entre otros, situación que influye de manera directa e indirecta en el deterioro de la calidad de vida de los habitantes.

Dentro del recurso más importante que carece esta comunidad, se encuentra el agua potable, ya que no cuentan con red de abastecimiento de la misma, viéndose en la necesidad de recolectar este recurso en aljibes, o en su defecto agua proveniente del Río Túa mediante una motobomba, situación que les permite traer el líquido hasta un tanque de almacenamiento ubicado en la escuela del centro poblado, para su posterior distribución sin ningún tipo de tratamiento previo (Proyectos Consultoría, 2018).

Otro aspecto relevante es que Corporinoquia mediante el Auto No 200.57.11.0050 del 21 de Enero de 2011 formuló cargos al municipio de Monterrey Casanare por captación de aguas subterráneas para el abastecimiento del acueducto de la vereda Guafal - sector la Horqueta y Palonegro sin su respectivo permiso, además del incumplimiento en requerimientos establecidos por Corporinoquia relacionados con ausencia de pruebas fisicoquímicas, solicitud formal de las concesión de aguas, mediciones de caudal extraído de los pozos y optimización de las instalaciones hidráulicas y sanitarias de los sitios de almacenamiento; por lo cual mediante la Resolución 200.41-15.0862 de 12 de Junio de 2015 el ente falla y declara responsable al municipio, imponiendo la sanción económica correspondiente (Corporinoquia, 2015).

Por lo tanto, al ser el agua potable un recurso vital para el desarrollo de la vida humana, se hace necesario que esta comunidad pueda contar con acceso a dicho recurso, con el fin de reducir la propagación de enfermedades y otros aspectos que se pueden desencadenar por la falta de saneamiento en la zona, principalmente en la población infantil menor de 5 años priorizada en la legislación colombiana, ya que se aumenta el riesgo de casos de parasitismo y enfermedades diarreicas agudas que deterioran no sólo su estado de salud, sino que interrumpen los procesos educativos de los mismos por incapacidades asociadas (ESAP, S.f).

9. Justificación

En esta sección se aborda la relevancia que tiene el proyecto de investigación, resaltando los aportes sociales, ambientales y económicos que se pueden generar por su implementación.

El aporte social de este proyecto radica en contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las personas del centro poblado de Palonegro, por medio de la adecuación de las condiciones del agua captada, permitiendo reducir los altos índices de morbilidad específicamente en la población infantil, como parasitismo y enfermedades diarreicas aguas (ESAP, S.f).

Dentro del aporte ambiental este proyecto, se destaca que permitirá tener un mayor control en los volúmenes de captación de agua, ayudando a conservar la fuente de la cual se abastecen del recurso y reduciendo los impactos ambientales asociados a la disminución del caudal en la misma. Por otro lado, es posible utilizar esta información para fortalecer los procesos de planificación del municipio para la conservación del cuerpo de agua del que se extrae el líquido (río Túa) y la reducción de captaciones ilegales de otros cuerpos de agua superficiales y subterráneos, promoviendo la planeación de los requerimientos en cuanto al recurso en cuestión para las principales vocaciones y necesidades de la zona.

El aporte económico del proyecto, se enfoca en brindar herramientas que permitan posteriormente al municipio formular estrategias que eviten sanciones ante las autoridades ambientales, dado que el municipio de Monterrey ha presentado sanciones frente a Corporinoquia en cuanto a multas económicas debido a la no formalización de requerimientos frente al uso del agua, como lo son la concesión de caudales y permisos de captación, con lo que se espera a largo plazo trasladar estos dineros a capacidad de inversión en demás recursos básicos para la población.

10. Objetivo general y específicos

10.1. Objetivo general

Proponer el diseño de unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

10.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar las condiciones sociales y ambientales del centro poblado Palonegro.
- Identificar las unidades de tratamiento necesarias para la potabilización del agua en relación con las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua y el diagnóstico realizado.
- Realizar el dimensionamiento y esquematización de las unidades de tratamiento requeridas para la potabilización del agua.

11. Marco de referencia

A continuación, se presentan los respectivos marcos que orientan el desarrollo del proyecto, iniciando con el estado del arte, en donde se realizó una recopilación de diferentes artículos y trabajos que resultaron relevantes para la investigación; siguiendo con el marco teórico-conceptual, donde se plantearon las teorías en las cuales se encuentra enmarcado el proyecto y se realizó un análisis de los conceptos cuyo dominio y entendimiento resultan imperativos para el planteamiento de la propuesta de la que trata el trabajo.

En el marco normativo se especifican las normas nacionales aplicables que se deben tener en cuenta para el desarrollo de trabajos para esta línea de investigación al momento de su planteamiento; el marco geográfico parte de la delimitación de la zona de estudio por medio de una descripción del territorio y los aspectos demográficos del mismo y finalmente; el marco institucional presenta las instituciones u organizaciones que influyen o se ven influidas por el trabajo de manera directa o indirecta, desde el orden nacional hasta el orden local en el desarrollo del proyecto propuesto.

11.1. Estado del arte

Proyecto de planta potabilizadora para agua en la Cidade Velha. Cabo Verde – España.

Este proyecto tuvo como fin solucionar la problemática de la población ***Cidade Velha. Cabo Verde – España*** por la falta del suministro de agua potable, destacando su ubicación como un factor determinante que definía a la misma, ya que ésta se encuentra ubicada en una zona costera del extremo sur de la Isla de Santiago en España. Su objetivo principal era mejorar la calidad de vida de la población e incentivar el turismo en la región.

Dentro de su metodología en primera instancia procedieron a identificar el número de personas de la zona, para el cual encontraron 12000 habitantes; Analizaron el agua donde encontraron valores superiores a los permisibles como bacterias y coliformes teniendo en cuenta lo establecido en la normativa española. Por lo que tomaron como referencia la categorización Tipo A2 para el tratamiento (Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección) (Segura Pérez, 2012).

Como resultado del análisis se encontró la necesidad de eliminar materia orgánica, sólidos suspendidos, color, turbidez, hierro y manganeso. Por lo tanto, la solución adaptada consistió en primero construir una presa que permita aumentar el caudal del río, conducida por una tubería PVC a las demás unidades, posteriormente construir la ETAP (estación de tratamiento de agua potable) con capacidad de tratamiento de 120 m³/h cercana a la zona de coagulación, floculación, decantación, filtración y cloración, para finalmente seleccionar el lugar de depósito del agua tratada con un tipo semienterrado de 1100 m³ de capacidad y adecuar una planta fotovoltaica con una potencia pico de 9300 vatios (Segura Pérez, 2012).

Principalmente como aporte para el proyecto se tiene en cuenta la adaptación a la normativa establecida en Colombia en cuanto a la ejecución de este tipo de proyectos y la evaluación detallada de las unidades necesarias para la planta potabilizadora de agua que requiera el agua con la que se conformará dicha planta.

Proyecto Estación de Tratamiento de Agua Potable en Santpedor - España.

Este proyecto fue una propuesta para el rediseño de la planta de tratamiento con la que contaba esta población, ya que la primera fue construida en 1970 y la cual, dado el incremento poblacional en los últimos años presentó un requerimiento de cambio en cobertura y además que la antigua no contaba con los tratamientos requeridos al momento del estudio. Por lo tanto, el objetivo principal del autor era diseñar, dimensionar, describir y valorar las obras necesarias para la construcción de la planta

potabilizadora de agua, para que produjera 30 l/seg con una vida útil no menor de 40 años (Briones Laguna, 2015).

Dentro del estudio se evaluaron diferentes alternativas donde se eligió una secuencia con tratamiento físico-químico y desinfección que está compuesto por: peroxidación y desinfección inicial, coagulación-floculación, decantación, filtración, desinfección final y una línea de tratamiento de fangos. En cuanto a estudios globales, realizaron estudios de viabilidad, afectaciones al medio ambiente y, estudios de seguridad y salud para todo el manejo de la ETAP (Briones Laguna, 2015).

Estudios y diseño del sistema de agua potable del barrio San Vicente, parroquia Nambacola, cantón Gonzanamá.

La finalidad de este proyecto radicaba en construir un sistema de potabilización del agua y poderle brindar ese servicio a 55 familias residentes en la comunidad, siendo proyectados los sistemas de infraestructura hidrológica, ambiental, económica e hidráulica a 20 años. Dentro de la metodología tenida en cuenta se encuentra en primera instancia la identificación detallada de la zona (ubicación geográfica, clima, topografía, población y estado sanitario).

Seguidamente, el cálculo de criterios de diseño para el sistema de agua potable, donde se basaron principalmente de la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental (SSA) “Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural” en el apartado de poblaciones menores a 1000 habitantes, tuvieron datos de la población futura, demanda y consumo de agua, dotación media futura, elección del nivel de servicio (Alvarado Espejo , 2013). Se realizó el análisis físico, química y microbiológico del agua captada, obteniendo resultados fuera del rango superior al límite permisible según la norma en cuanto a gérmenes totales y coliformes totales, por lo que dedujeron realizar el diseño de una unidad de desinfección (Alvarado Espejo , 2013).

Como resultado de toda su investigación, identificaron las unidades necesarias para el tratamiento del agua, conformadas por captación, desarenador, filtro lento descendente (2 unidades), desinfección y tanque de reserva; además del dimensionamiento de todas estas unidades requeridas de acuerdo con los datos obtenidos en los cálculos de diseño. Por último, se encuentra el dimensionamiento de las especificaciones técnicas para la construcción del sistema (Alvarado Espejo , 2013).

De este proyecto se rescata la metodología empelada en la tesis como aporte directo a nuestro proyecto, en cuanto a la estructura utilizada en la obtención de datos de población futura, demanda y consumo de agua y el análisis físico químico y microbiológico del agua.

Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la Universidad de Piura.

Este documento, pertenece a una tesis realizada para analizar y diseñar alternativas de abastecimiento de agua potable para consumo humano en la Universidad de Piura- Perú, esta tesis busca, desarrollar no solo el diseño del sistemas de tratamiento de agua sino también el envasado del agua potable para la comunidad universitaria, con el fin de garantizar agua de calidad y además determinar cuál diseño era más conveniente para la entidad educativa en cuanto a costos y aspectos ambientales (Caminati Briceño & Caqui Febre, 2013).

Como parte de la metodología, el estudio realiza la comparación del agua de bidones tomada del agua de pozo tratada y la implementación de sistemas de purificación en los bebederos. Para lo cual se realizó un análisis del agua en puntos de la universidad, buscando determinar su condición y calidad para la elección del tratamiento más adecuado; a partir de lo cual se logró establecer que el agua del pozo debía ser tratada dados los altos niveles de sales hallados; mientras que para la otra alternativa, se pudo identificar que la red de distribución de agua era muy antigua, por lo que ésta requería una

limpieza para evitar la contaminación del agua del pozo con coliformes totales, situación que afectaría la salud del consumidor (Caminati Briceño & Caqui Febre, 2013).

Posterior a la evaluación realizada, se identificó que la universidad presenta falencias en el agua que está siendo distribuida en cuanto a calidad, por lo cual recomendaron a la universidad tomar medidas para subsanar dichas falencias. También identificó que según las encuestas, la comunidad universitaria estuvo de acuerdo con que se implementara el sistema de bidones por comodidad, pero según el estudio de mercado cualquiera de las dos era viable para implementarla, siempre y cuando contaran con los tratamientos requeridos; no obstante, en términos ambientales arrojó una mayor viabilidad la alternativa de bebederos ya que esto les impediría utilizar plástico y disminuiría en cierto modo la contaminación generada por parte de éstos (Caminati Briceño & Caqui Febre, 2013).

Como aporte principal de este proyecto, se tendrá en cuenta la metodología que utilizaron para el análisis del agua como referencia principal para nuestra metodología en ese aspecto a analizar, además del entendimiento de las dificultades que pueden llegar a generar los mecanismos de abastecimiento basados en el transporte del recurso mediante opciones diferentes a redes globales cerradas y óptimas condiciones.

Propuesta de diseño de una planta de potabilización para la zona veredal del municipio de Apulo Cundinamarca – Colombia.

La investigación del presente trabajo de grado consistió principalmente en plantear el diseño de una planta convencional con capacidad de tratamiento de 3 L/S para la potabilización del agua en la zona veredal, teniendo en cuenta lo establecido en los títulos B y C del RAS 2000, con el fin de abastecer aproximadamente a 500 habitantes de las veredas San Antonio, Chontaduro, el Parral, Santa Ana y la Pita, pertenecientes del municipio Apulo, Cundinamarca. La problemática principal por la que surgió dicha investigación fue por la falta de cobertura y tratamiento del recurso hídrico en esas veredas (García Londoño, 2015).

La metodología de este proyecto fue definida como cuantitativa por los diferentes aspectos en los cuales se usó información cuantificable y análisis de datos. La autora realizó una matriz metodológica de acuerdo a las actividades, técnicas e instrumentos necesarios para el proyecto. Dentro del aspecto más relevante de este ítem fue el aporte de los títulos B y C del Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000), por los cuales la autora se guio en todo el desarrollo del diseño (García Londoño, 2015).

Por otro lado, también se llevó a cabo la comparación y elección de alternativas de la planta de tratamiento más útil para la región, mediante una evaluación comparativa entre una planta convencional y una compacta, teniendo en cuenta un análisis de vida útil, costos de mantenimiento, facilidad de construcción, posibilidad de ampliación y análisis de costos; a partir de esto se pudo determinar como la alternativa más viable, a la planta de potabilización convencional, compuesta por: tratamiento de sedimentación, filtración y tanque almacenamiento (clarificador tipo intraflujo), además de las obras civiles.

La contribución de este proyecto se basa en las teorías utilizadas como la Gestión Integral del Recurso hídrico, el tratamiento del agua y los procesos y operaciones unitarias de potabilización, además de la metodología utilizada teniendo en cuenta el RAS, no obstante, se observa la necesidad de actualización a la versión vigente de 2017.

Diseño del sistema de acueducto en la vereda Perdiguiz del municipio de Macanal, Boyacá, utilizando modelación matemática.

En este trabajo de grado realizó una propuesta de diseño de un sistema de acueducto, la cual surgió por la necesidad que presentaba la población de la vereda Perdiguiz al no contar con un sistema para potabilizar el agua que estaban captando para uso doméstico, ya que estaban captando el agua de la

fuelle para consumirla sin ningún tratamiento previo. Además de los problemas que presentaba la comunidad por realizar captaciones de forma artesanal por medio de mangueras, que en ningún momento asegura obtener una buena calidad del recurso, la comunidad se veía en la necesidad de incurrir en costos elevados, debido a que debían pagar para la obtención de permiso por parte de las autoridades ambientales de forma recurrente. Por tanto, el objetivo principal de este proyecto consiste en entregar un diseño que le permita a la comunidad el acceso al recurso de agua potable (Colmenares Melo & Sáenz Esquivel, 2015).

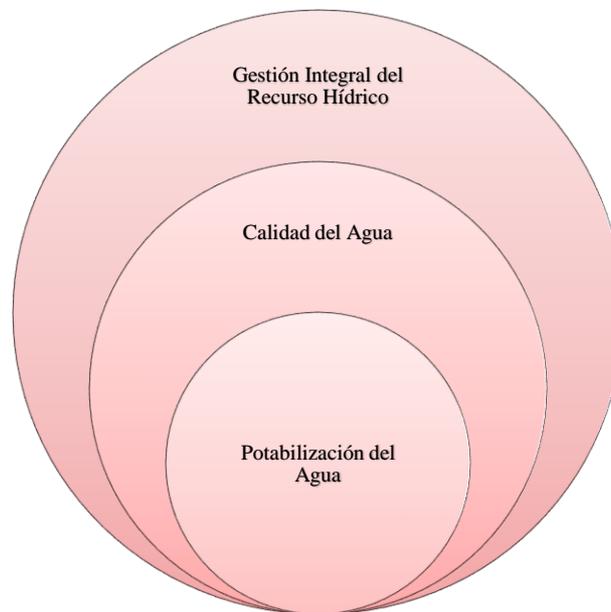
Para lo anterior, se realizó una búsqueda de información secundaria del territorio de su población, clima, hidrografía y accesibilidad. Procediendo a realizar el diseño de acuerdo a lo estipulado en el RAS 2000. Como resultado concluyó con el diseño de una planta de tratamiento de agua potable compacta convencional, debido a su facilidad en cuanto a que se puede usar para caudales pequeños y por su facilidad en transporte e instalación (Colmenares Melo & Sáenz Esquivel, 2015).

Como aporte al proyecto se tendrá en cuenta la metodología realizada siguiendo lo estipulado en el RAS de acuerdo a sus títulos para los diseños, pero teniendo en cuenta la versión actualizada del año 2017. También se revisará la planta de tratamiento compacta convencional ya que según su recomendación son aptas para caudales bajos.

11.2. Marco teórico - Conceptual

En el siguiente apartado se plantea la base empírica que fundamenta el desarrollo del proyecto, para lo cual se estableció una jerarquía en las teorías que permitió ordenar la información disponible con respecto a la calidad y la potabilización del agua, dejando así la Gestión Integral del Recurso Hídrico (por sus siglas, GIRH) como la teoría general que sostiene el proyecto, la Calidad del Agua como la teoría intermedia, y la Potabilización del Agua como la teoría central u orientadora, como lo ilustra la siguiente figura.

Figura 1. Jerarquización de las teorías de investigación.



Fuente: Elaboración propia.

11.2.1. Gestión Integral del Recurso Hídrico

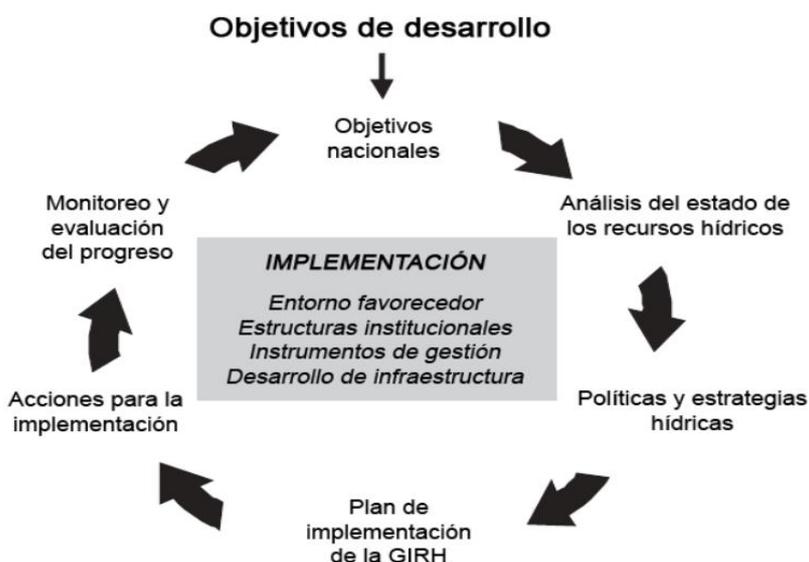
La Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) se considera un concepto empírico que nace de la experiencia de campo de los profesionales que plantearon, de manera desarticulada, muchos de los elementos del concepto. Para la primera conferencia global en Mar del Plata en 1977, ya existían nociones de la GIRH, sin embargo, no fue hasta después de la Agenda 21 y de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en Río 1992 que este concepto fue objeto de intensos debates que aportaron en su definición y consolidación como un nuevo paradigma que rige la gestión del agua a nivel mundial (Centro de Colaboración en materia de Agua y Medio Ambiente, 2009). La Asociación Mundial para el Agua (GWP por sus siglas en inglés) define la GIRH como “*un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales*” (Global Water Partnership, 2013).

La importancia de la GIRH radica en romper con el enfoque tradicional de la gestión del agua, en donde la toma de decisiones para la asignación del recurso no tenía en cuenta factores como cambios demográficos y climáticos que ejercen presión sobre el mismo, en escenarios donde su oferta ya venía disminuyendo frente a una demanda creciente. Por lo anterior, la GIRH se rige por cuatro principios orientadores, los cuales son (Global Water Partnership, 2013):

1. *El agua dulce es un recurso vulnerable y finito, esencial para mantener la vida, el desarrollo y el medioambiente.*
2. *El desarrollo y manejo del agua debe estar basado en un enfoque participativo, involucrando a usuarios, planificadores y realizadores de políticas a todo nivel.*
3. *La mujer juega un papel central en la provisión, el manejo y la protección del agua.*
4. *El agua posee un valor económico en todos sus usos competitivos y debiera ser reconocido como un bien económico.*

De igual forma, para apoyar la transición al paradigma que establece la GIRH, existe un modelo general para su planificación e implementación en los países que lo requieran, el cual busca integrar los esfuerzos individuales plasmados en objetivos y políticas nacionales, con los Objetivos del Desarrollo Sostenible que apliquen a la gestión del agua (Global Water Partnership, 2013). La siguiente figura muestra las fases del proceso para la planificación e implementación de la GIRH.

Figura 2. Fases de planificación e implementación de la GIRH (ONU-Agua, 2014).



Recuperado de: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>

Colombia adopta el paradigma de la GIRH cuando formula la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en 2010 como instrumento direccionador, en donde, para un horizonte de 12 años (2010 – 2022), busca garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente. Dentro de la misma se establecen seis objetivos que buscan apoyar el objetivo de la política; los cuales son:

1. OFERTA: Conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país.
2. DEMANDA: Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país.
3. CALIDAD: Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico.
4. RIESGO: Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.
5. FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL: Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico.
6. GOBERNABILIDAD: Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico.

11.2.2. Calidad del agua

Se definió la calidad del agua como teoría intermedia, ya que resulta ser un objetivo específico dentro de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, teniendo en cuenta que el abastecimiento de agua potable a una población está fuertemente condicionado por las características fisicoquímicas y microbiológicas que ésta posea.

La calidad del agua hace referencia, como plantea Jairo Alberto Romero Rojas (Romero Rojas, 2009), a los atributos que presenta el agua de tal manera que se cumplan ciertos criterios de aceptabilidad dependiendo al uso que se le quiere dar al recurso, donde dichos atributos se dividen en físicos, químicos y biológicos, y cada uno se subcategoriza como se muestra a continuación.

11.2.2.1. Características físicas

• Turbidez o Turbiedad

Romero Rojas define la turbidez como una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos de luz que pasan a través de una muestra de agua, lo cual genera que ésta sea reemitida o no emitida. Este fenómeno es ocasionado por la presencia de una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, arcillas, limos materia orgánica e inorgánica fina, y organismos microbiológicos (Romero Rojas, 2009).

• Color

El color en el agua es frecuentemente atribuido a la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; obtenido por el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, entre otros, que se encuentren en diferentes estados de descomposición. También se debe a la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales (Romero Rojas, 2009).

Por otro lado, el color natural del agua existe por efecto de partículas coloidales que se encuentran cargadas negativamente, por lo que su remoción se logra aplicando coagulantes de alguna sal de ion metálico trivalente como el Aluminio (Al^{3+}) o el Hierro (Fe^{3+}) (Romero Rojas, 2009).

Para Romero Rojas, se pueden reconocer dos tipos de colores en el agua: el color verdadero, que es aquel que tiene la muestra una vez se ha removido su turbidez; y el color aparente, que incluye el

color de las sustancias en solución y coloidales además aquel por material suspendido (Romero Rojas, 2009).

El color es medible utilizando una escala de valores conocida como unidades de color producido por un (1) mg/L de platino, en la forma de ion cloroplatinato. La determinación visual de una muestra de agua se realiza por comparación con soluciones de concentración de color conocida o utilizando discos de vidrio con colores adecuadamente calibrados (Romero Rojas, 2009).

- **Olor y sabor**

La determinación del olor y el sabor en el agua resulta útil para evaluar la calidad de esta y su aceptabilidad por parte del consumidor. Su descripción se realiza de forma cualitativa ya que la sensibilidad de las personas a identificar estas características es variable e inconsistente.

Dentro de las causas de olores y sabores en el agua, las más comunes son la presencia de materia orgánica en solución, ácido sulfhídrico (H₂S), cloruro de sodio (NaCl), sulfato de sodio (Na₂SO₄) y sulfato de magnesio (MgSO₄), fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, entre otros (Romero Rojas, 2009).

Uno de los métodos cualitativos más utilizados para expresar concentraciones de olor y sabor es por medio del Número Detectable de olor y sabor (ND), el cual permite determinar la relación de dilución a la cual el olor y sabor es apenas detectable. El procedimiento consiste en diluir muestras del agua por analizar a 200 mL, con agua destilada libre de olor, hasta encontrar la mayor dilución a la cual se alcanzó a percibir el olor (Romero Rojas, 2009). El número detectable puede calcularse de la siguiente manera:

$$ND = \frac{A + B}{A}$$

En donde:

A: mL de muestra

B: mL de agua destilada libre de olor

- **Temperatura**

La determinación de la temperatura del agua es un parámetro fundamental para los diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, ya que, por ejemplo, el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica, y el valor de saturación con carbonato de calcio están íntimamente relacionados con la temperatura (Romero Rojas, 2009). Usualmente la temperatura se toma en el sitio de muestreo y con el agua en movimiento. Para la medición se pueden utilizar termómetros de mercurio o aparatos electrónicos que permitan efectuar la medida y lectura correctas.

- **Conductividad**

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de las sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. La forma más usual de medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos de lectura directa en $\frac{\mu\text{ohmios}}{\text{cm}}$ a 25°C. La conductividad leída es igual a la conductividad eléctrica de la muestra medida entre caras opuestas de un cubo de 1 cm, como se muestra a continuación (Romero Rojas, 2009).

La resistencia específica de un conductor es función de sus dimensiones y puede expresarse como:

$$C = \frac{R \times A}{L}$$

En donde:

C: resistencia específica ($\frac{\text{ohmio}}{\text{cm}}$);

R: resistencia (ohmio);

A: Área de la sección transversal del conductor (cm²);

L: Longitud del conductor (cm)

La conductividad permite una relación directa con el contenido de sólidos disueltos en el agua, donde aproximadamente el producto de la conductividad en $\frac{\mu\text{ohmios}}{\text{cm}}$ por 0,01 es igual a la suma de los cationes en miliequivalentes por litro, como se observa a continuación (Romero Rojas, 2009):

$$\sum \text{cationes} \left(\frac{\text{mE}}{\text{L}} \right) \times 100 = \text{conductividad} \left(\frac{\mu\text{ohmio}}{\text{cm}} \right)$$

- **Sólidos**

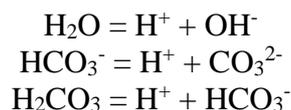
Se clasifican materia sólida como toda aquella que se encuentre contenida dentro del agua y se clasifica de la siguiente manera (Romero Rojas, 2009):

- Sólidos totales: Son todos aquellos que permanecen después de la evaporación y secado del agua a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos).
- Sólidos disueltos: También conocidos como el residuo filtrable, son determinados por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos.
- Sólidos suspendidos: Es aquel residuo no filtrable o material no disuelto.

11.2.2.2. Características químicas

- **Alcalinidad, acidez y potencial de hidrógeno (pH)**

La alcalinidad del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, para reaccionar con iones hidrógeno, para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH^-). En aguas naturales, la alcalinidad se debe generalmente a la presencia de tres clases de compuestos: Bicarbonatos, Carbonatos e Hidróxidos. Es posible encontrar otras clases de compuestos que contribuyen a la alcalinidad del agua, como lo son boratos, silicatos, fosfatos, entre otros; sin embargo, en la práctica la contribución de éstos es insignificante y puede ignorarse (Romero Rojas, 2009). Las reacciones que describen la presencia y formación de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos son las siguientes:



Por otro lado, la acidez del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, reaccionar con iones hidróxido, ceder protones o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas. El factor de corrosión en la mayor parte de las aguas es el dióxido de carbono, el cual puede estar disuelto en el agua como resultado de la disolución del dióxido de carbono atmosférico (Romero Rojas, 2009). El potencial de hidrógeno (pH) es el coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una sustancia en una solución acuosa, del cual se obtiene una escala comprendida entre el 1 y el 14, en la que si el valor del pH es menor a 7, la sustancia se considera ácida, si es mayor a 7, la sustancia se considera básica o alcalina, y si el valor del pH es igual a 7, la sustancia se considera neutra (Romero Rojas, 2009). El pH se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

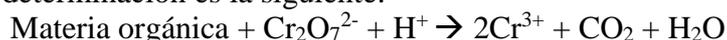
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas a 20 °C. Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de materia orgánica en aguas es el ensayo de DBO a cinco días. En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a cinco

días representa en promedio un 65 a un 70% del total de la materia orgánica oxidable (Romero Rojas, 2009).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La Demanda Química de Oxígeno es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra de agua mediante oxidación química. La determinación de la DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte. El dicromato de potasio se considera el mejor agente oxidante para la determinación de la DQO. Este compuesto tiene la capacidad de oxidar la gran mayoría de sustancias orgánicas, además, es fácil de determinar su concentración antes y después de la prueba lo cual hace que se pueda calcular el oxígeno consumido. La reacción química que ocurre durante la determinación es la siguiente:



- **Dureza**

La dureza del agua hace referencia a la concentración de total de iones alcalinotérreos (iones metálicos divalentes) que hay en el agua, especialmente la concentración de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}). Son aguas duras aquellas que requieren grandes cantidades de jabón para generar espuma y producen incrustaciones en las tuberías donde se incrementa la temperatura del agua. La dureza se expresa en $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$ de CaCO_3 (Romero Rojas, 2009).

Se considera que la dureza total del agua es aquella generada por los iones de Ca^{2+} y los iones de Mg^{2+} , es decir:

$$\text{Dureza Total (DT)} = \text{Dureza por } \text{Ca}^{2+} + \text{Dureza por } \text{Mg}^{2+}$$

Por otro lado, en aguas naturales, los bicarbonatos son la principal forma de alcalinidad; por lo tanto, la parte de la dureza total químicamente equivalente a los bicarbonatos presentes en el agua es considerada como la dureza carbonácea, es decir:

$$\text{Alcalinidad } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \text{Dureza Carbonácea } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)$$

La dureza carbonácea se conoce también como ‘dureza temporal’ o ‘no permanente’ porque desaparece cuando se hierve el agua, o sea que puede precipitarse mediante ebullición prolongada. Cuando la alcalinidad es menor que la dureza total, se dice que la dureza carbonácea es igual a la alcalinidad; cuando la alcalinidad es mayor o igual a la dureza total, se dice que la dureza carbonácea es igual a la dureza total (Romero Rojas, 2009).

En términos de dureza, las aguas pueden clasificarse de la siguiente manera:

Tabla 1. Clasificación de las aguas según su dureza.

0 – 75 mg/L	Blanda
75 – 150 mg/L	Moderadamente dura
150 – 300 mg/L	Dura
> 300 mg/L	Muy dura

Fuente: (Romero Rojas, 2009).

- **Oxígeno Disuelto**

El oxígeno disuelto se presenta en cantidades variables bajas en el agua; su contenido depende de la concentración y estabilidad del material orgánico presente, por ello, es un factor muy importante en la autopurificación de los ríos. Los valores de oxígeno disuelto disminuyen con el aumento de la

temperatura en el agua. Si el oxígeno se consume en su totalidad, las aguas se convierten en tóxicas para los organismos aerobios y se producen descomposiciones anaerobias que generan sustancias malolientes como metano, ácido sulfhídrico y nitrosaminas (Romero Rojas, 2009).

11.2.2.3. Características biológicas

El agua contiene suficientes sustancias que permiten el desarrollo de diferentes microorganismos. Muchas de las bacterias del agua provienen del contacto con el aire, el suelo, animales o plantas vivas o en descomposición, fuentes minerales y materia fecal (Romero Rojas, 2009). La transmisión de organismos patógenos a través del agua ha sido la fuente más grave de epidemias de algunas enfermedades. (Romero Rojas, 2009) Distingue dos categorías microbiológicas como indicadores de calidad del agua: coliformes totales y coliformes fecales.

- **Coliformes totales**

Este grupo por definición son “todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram-negativas, no formadoras de esporas y con forma de bastón que fermenta lactosa con formación de gases antes de 48 horas a 35 °C (o 37 °C)” (Romero Rojas, 2009). El grupo de coliformes se compone de las bacterias *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter freundii* y bacterias afines (Romero Rojas, 2009). En el agua potable no debe existir ningún tipo de coliforme, por ello el total de éstas se emplea como indicio de contaminación fecal.

- **Coliformes fecales**

Generalmente, los coliformes fecales son definidos como todos aquellos bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gram-negativos, no esporulados capaces de producir aldehídos a partir de la fermentación de la lactosa con producción de ácido y gas en 24 horas a 45.5°C (Romero Rojas, 2009). Estas bacterias componen normalmente la flora y fauna del intestino humano donde se encuentran en grandes cantidades, ya que la mayoría no son patógenos. El grupo constituye aproximadamente el 90% de los coliformes totales en las excretas humanas e incluye al género *Escherichia coli* y algunas cepas de *Klebsiella pneumoniae* (Romero Rojas, 2009).

11.2.3. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua - IRCA

Dentro del Decreto 1575 del 2007, ‘Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano’, en su artículo 12, se define el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua, IRCA, como ‘el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano’ (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

En el artículo 15 se presenta la clasificación del nivel de riesgo y se establecen los rangos del IRCA con su nivel de riesgo correspondiente, como se muestra a continuación:

Tabla 2. 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)
80.1-100	Inviabile Sanitariamente	Informar a la persona prestadora del servicio, al Comité de Vigilancia	Agua no apta para consumo humano. Gestión directa, de

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
		Epidemiológica, alcalde, gobernadores, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Ministerio de la Protección Social, Instituto Nacional de Salud, Ministerio de Ambiente, Contraloría General y Procuraduría General.	acuerdo con su competencia, de la persona prestadora del servicio, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora del servicio, al Comité de Vigilancia Epidemiológica, alcalde, gobernadores, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.	Agua no apta para consumo humano. Gestión directa, de acuerdo con su competencia, de la persona prestadora del servicio, alcaldes y gobernadores respectivos
14.1 - 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora del servicio, al Comité de Vigilancia Epidemiológica, alcalde, gobernadores.	Agua no apta para consumo humano. Gestión directa, de acuerdo con su competencia, de la persona prestadora del servicio.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora del servicio y al Comité de Vigilancia Epidemiológica.	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.

Adaptado de: *Decreto 1575 de 2007* (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Para calcular el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua, es necesario establecer los puntajes de riesgo para las características analizadas que no cumplan con los valores aceptables establecidos en la resolución 2115 de 2007. En la siguiente tabla se presenta la distribución de dichos puntajes para cada característica contemplada en la resolución mencionada:

Tabla 3. Puntaje de riesgo para características de calidad del agua cruda.

Característica	Puntaje de riesgo
Color aparente	6

Característica	Puntaje de riesgo
Turbiedad	15
pH	1,5
Cloro residual libre	15
Alcalinidad total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro total	1,5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes totales	15
Escherichia coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

Adaptado de: Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Ya otorgado el respectivo puntaje de riesgo a las características del agua trabajada, se aplica la siguiente fórmula para el cálculo del IRCA:

$$IRCA(\%) = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a características no aceptables}}{\sum \text{Puntajes de riesgo total de las características analizadas}} \times 100 \quad (1)$$

11.2.4. Potabilización del agua

Finalmente, se definió la Potabilización del agua como la teoría central u orientadora, ya que es a partir de esta que se pueden adecuar las características del agua para poderla suministrar a una población sin riesgo de que se contraigan enfermedades asociadas a su consumo o utilización. Se utilizó a (Schulz & Okun, 1998) en su libro ‘*Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo*’ para determinar los aspectos fundamentales que debe tener un tratamiento para potabilizar agua, así como ciertas recomendaciones de equipos que no requieran de un mantenimiento regular ni de operadores con experiencia técnica, dadas las condiciones del sitio en donde se planea ubicar.

(Schulz & Okun, 1998) plantea que el agua potable debe ajustarse a las siguientes características de calidad del agua:

1. Libre de organismos patógenos.
2. Baja en concentraciones de compuestos tóxicos o que tengan efectos serios a largo plazo.
3. Clara.
4. No salina.
5. Libre de compuestos que provoquen un olor o sabor desagradables.
6. No corrosiva, ni debe ocasionar incrustaciones en las tuberías o manchas en la ropa.

A continuación, se presentan algunos procesos que (Schulz & Okun, 1998) consideran importantes para la potabilización del agua, teniendo en cuenta que el diseñador tiene la libertad de escoger cuáles aplicar dependiendo de las condiciones en las que se encuentre el agua a tratar.

11.2.4.1. Pretratamiento

El pretratamiento se refiere a procesos de tratamiento preparatorios, los cuales tienen como objetivo remover el material sedimentable de tamaño grande antes de que el agua llegue a las unidades iniciales de tratamiento; por medio de sedimentación simple, almacenamiento y filtración preliminar (Schulz & Okun, 1998). El pretratamiento busca reducir la carga en las unidades de tratamiento subsecuentes para producir ahorros en los costos totales de operación, especialmente en lo que se refiere a la utilización de productos químicos (Schulz & Okun, 1998).

11.2.4.2. Mezclado hidráulico rápido - Coagulación

Las unidades de mezclado rápido se localizan al principio del sistema de tratamiento, con el fin de generar turbulencia intensa en el agua cruda entrante, para que ésta sea mezclada con el coagulante y se fomente la formación de coágulos de los sólidos que se encuentran en ella (Schulz & Okun, 1998). Algunos tipos de mezcladores hidráulicos rápidos son: saltos hidráulicos, canales o vertederos; se caracterizan por generar turbulencia suficiente sin necesidad de equipo mecánico, y se construyen, operan y mantienen fácilmente con personal y materiales locales (Schulz & Okun, 1998). El coagulante debe ser añadido al agua en su zona de máxima turbulencia, por medio de un dosificador, el cual puede ser un recipiente perforado colocado arriba del nivel del agua, o mediante un difusor de tubería (Schulz & Okun, 1998).

11.2.4.3. Floculación hidráulica

La floculación es un proceso que sigue inmediatamente después del mezclado rápido, que busca darle al agua una agitación lenta y continua para que los coágulos, que se formaron en el proceso anterior, se junten y formen masas más grandes, denominados flocs, que puedan ser removidas en procesos subsecuentes, principalmente en la sedimentación (Schulz & Okun, 1998). Los floculadores más utilizados son: de flujo vertical, flujo horizontal, flujo helicoidal, y de lecho de grava; que no requieren de equipo mecánico o suministro continuo de energía, y pueden ser construidos con materiales y mano de obra locales a un costo relativamente bajo (Schulz & Okun, 1998).

11.2.4.4. Sedimentación hidráulica después de coagulación y floculación

En este proceso se busca el asentamiento y la remoción de todo el material suspendido en el agua. Usualmente se utilizan tanques de flujo horizontal con remoción manual de lodos, los cuales no requieren la importación de equipos, y la mano de obra para la limpieza de estos puede encontrarse

con facilidad (Schulz & Okun, 1998). Una de las ventajas más importantes que tiene este tipo de sedimentadores es que, si su mantenimiento no ha sido riguroso, se pueden sobrecargar moderadamente sin generar efectos perjudiciales en la filtración subsecuente, ya que, a pesar de la sobrecarga, la mayor parte de los sólidos suspendidos se asentará (Schulz & Okun, 1998).

11.2.4.5. Filtración rápida

La filtración es un proceso físico, químico, o, en algunos casos, biológico para separar impurezas coloidales y suspendidas del agua mediante el paso de esta por un medio poroso. Un filtro rápido se compone de una capa de arena clasificada por tamaño, o de una capa de medio filtrante grueso colocada sobre otra capa de arena a través de las cuales se filtra el agua hacia abajo a velocidades relativamente altas (Schulz & Okun, 1998). Algunos tipos de filtros rápidos son: Unidades de lavado interfiltros, tanques de filtración directa, y filtros de flujo ascendente – descendente (Schulz & Okun, 1998).

11.2.4.6. Filtración lenta

Este proceso cumple la misma función que la filtración rápida, por lo que se puede decir que ambos son mutuamente excluyentes. Para este proceso se utilizan principalmente filtros lentos de arena, por donde se filtra el agua a una velocidad relativamente baja; el filtro se debe limpiar periódicamente raspando una capa delgada de arena sucia de la superficie a intervalos de varias semanas a meses (Schulz & Okun, 1998). Este tipo de filtros son efectivos para remover materia orgánica y microorganismos de las aguas crudas de turbiedad relativamente baja, lo que se traduce en ahorros en el proceso de desinfección; además, los costos de construcción de estos filtros en países en desarrollo son bajos, las importaciones de material y equipo son insignificantes, y se construyen, operan y mantienen fácilmente (Schulz & Okun, 1998).

11.2.4.7. Productos químicos y alimentadores de productos químicos

Los productos químicos que usualmente se utilizan en el tratamiento de agua incluyen: coagulante, generalmente sulfato de aluminio; desinfectantes, comúnmente cloro o hipocloritos; y, cuando es necesario controlar el pH, álcalis, por lo general cal (Schulz & Okun, 1998). También se puede utilizar coadyuvantes coagulantes para mejorar el tratamiento y/o reducir el consumo de coagulantes, pero (Schulz & Okun, 1998) recomienda que se utilicen compuestos de origen natural por encima de los de tipo sintético.

Los alimentadores deben ser de diseño sencillo y fáciles de operar. El hipoclorito y las soluciones coagulantes se pueden agregar mediante alimentadores tipo solución que se pueden construir localmente, y hacen posible la utilización de compuestos químicos baratos de baja pureza, que pueden obtenerse localmente (Schulz & Okun, 1998). Los reguladores de gas cloro son más complejos que los alimentadores de tipo solución; por lo que su uso se limita a plantas grandes donde exista personal calificado (Schulz & Okun, 1998).

11.3.Marco normativo

A continuación, se presenta la Tabla 4 donde se describe la normativa colombiana acorde a la temática para el desarrollo de una Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada. Tiendo en cuenta que se menciona las normas más relevantes.

Tabla 4.Matriz legal.

Marco	Año	Expedida por	Título	Artículo	Descripción
Constitución Política	1991	Corte constitucional	Constitución Política de Colombia	365	Los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. Es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional. (UNESCO, 1991).
Ley	1993	Congreso de Colombia	Ley 99 de 1993	43	Todo proyecto que involucre en su ejecución el uso del agua, tomada directamente de fuentes naturales, bien sea para consumo humano, recreación, riego o cualquier otra actividad industrial o agropecuaria, deberá destinar no menos de un 1% del total de la inversión para la recuperación, preservación y vigilancia de la cuenca hidrográficas que alimenta la respectiva fuente hídrica (Congreso De Colombia, 1993).
Decreto	2007	Ministerio de la Protección Social	Decreto 1575 de 2007	Todos	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Ministerio De La Protección Social, 2007).
Resolución	2007	Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 2115 de 2007	Todos	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 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

Marco	Año	Expedida por	Título	Artículo	Descripción
Resolución	2000	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Reglamento técnico-RAS Resolución 1096	Título B y C	Por la cual se adopta el Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000)
Decreto	2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Decreto 3930	Todos	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones (Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).
Decreto	2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076	Capítulo 6	Compila todas las normas respecto al cobro de las Tasas por Utilización del Agua (Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, 2015).
Resolución	2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 631	Todos	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones (Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, 2015).
Resolución	2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Reglamento técnico-RAS Resolución 0330	Capítulos 2 y 3	La Resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Fuente: Autores 2019.

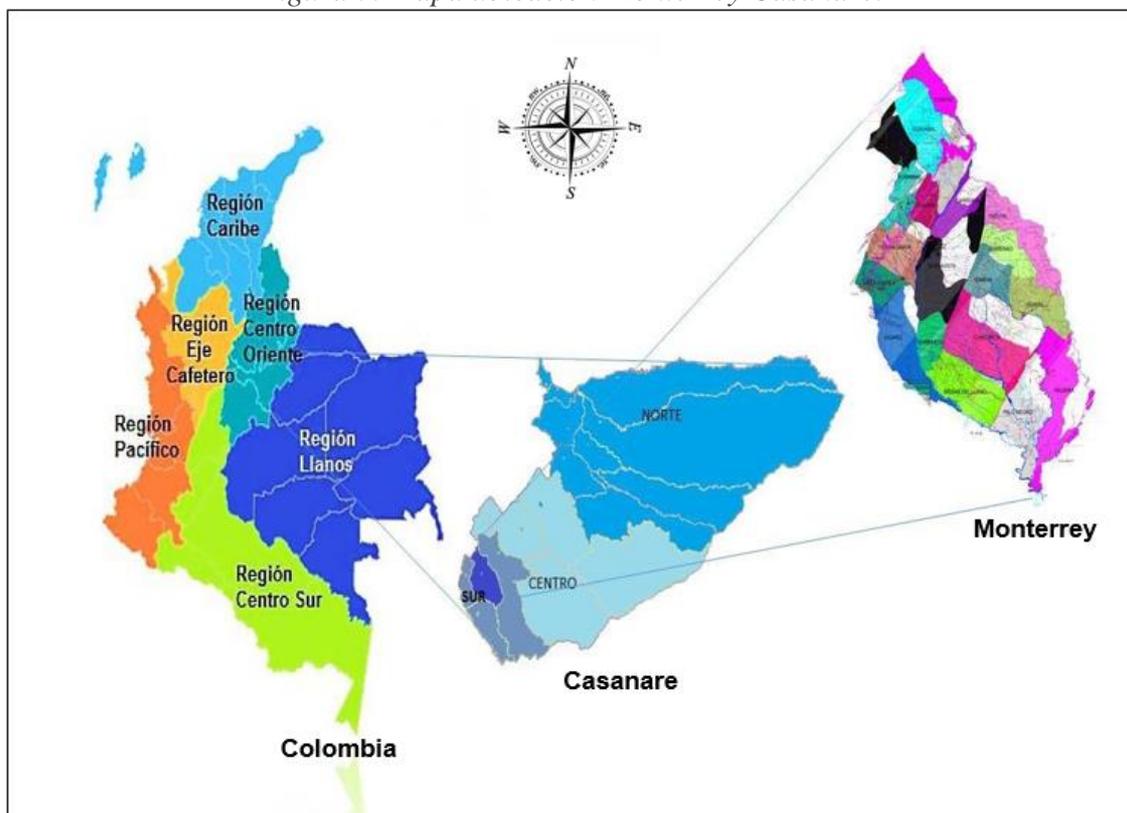
11.4.Marco geográfico

Generalidades del municipio de Monterrey Casanare

El municipio de Monterrey está ubicado en el piedemonte de la Cordillera Oriental en el departamento de Casanare a unos 105 Km al sur occidente de la ciudad de Yopal, capital de ese departamento y se encuentra a unos 402 km aproximadamente de la ciudad de Bogotá. Cuenta con una extensión total de 779 km² de los cuales 5,49 km² equivalen a la extensión del área urbana y 773,51 km² pertenecen a la extensión del área rural. Dentro de su distribución este municipio está compuesto por 22 barrios, 23 veredas y 6 centros poblados (Secretaria de gobierno, seguridad y convivencia, 2018).

Este municipio limita al norte con Páez Boyacá, al sur con Tauramena y Villanueva, al oriente con Tauramena y al occidente con Sabanalarga.

Figura 3. Mapa ubicación Monterrey Casanare.



Adaptado de: Secretaria de gobierno, seguridad y convivencia, 2018. *Documento técnico de soporte Política Pública de Empleo*. (Imagen). Recuperado de: Alcaldía Municipal de Monterrey.

Este municipio está conformado por un relieve variado en la llanura y el piedemonte que va desde los 200 m.s.n.m, hasta los 2600 m.s.n.m en la zona de cordillera, por lo cual se encuentran diferentes pisos térmicos cálido y medio, compuesto también por diferentes fuentes hídricas como el Guafal, Los Hoyos, el Río Túa, el Tacuya y otras (Secretaria de gobierno, seguridad y convivencia, 2018).

Según el DANE la estimación de población para el año 2016 fue de 15.021 habitantes en el municipio, de los cuales 12.695 pertenecen al área urbana y 2.326 al área rural. Dentro de la estructura poblacional del municipio presenta una dinámica poblacional es joven, ya que el 49% de la población

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

es menor de 24 años y el 65% de la población se encuentra entre 15 y 65 años y tan solo el 8% pertenece a adultos mayores (Alcaldía Municipal Monterrey, 2016).

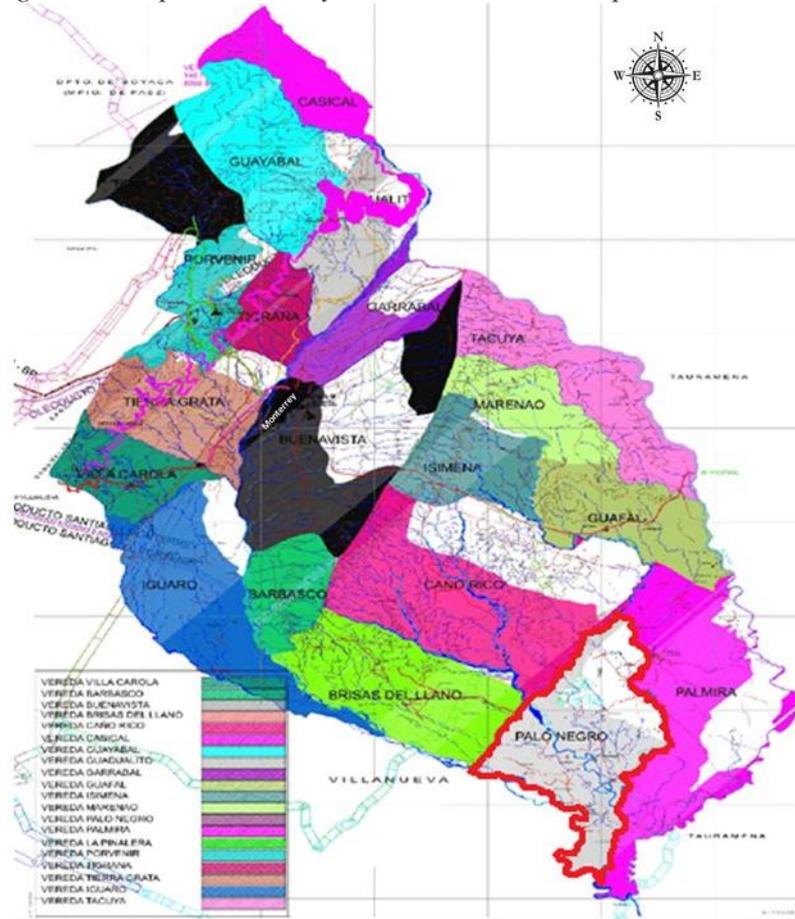
Las principales actividades económicas del municipio de Monterrey están representadas en el desarrollo de actividades agropecuarias como la ganadería y agricultoras como el pan coger, resaltando que en los últimos años se ha desarrollado a gran escala la actividad petrolera y obras civiles siendo resaltadas en la región como una fuente fundamental de empleo, además del comercio. Cabe resaltar que en área rural la actividad económica se ve representada en empleos informales del sector agropecuario, ya que en su mayoría son mano de obra familiar (Jornaleros, encargados). Según una encuesta realizada Sisben 2015 la población económicamente activa (PEA) es de 5.830 personas y 6.346 personas representan una población económicamente inactiva (PEI), permitiendo esto identificar que la tasa desempleo local está cerca del 28% (Alcaldía Municipal Monterrey, 2016).

El municipio de Monterrey cuenta con el 96.44% de servicio de acueducto y 93.82% de servicio de alcantarillado, pero según el SISBEN-CODESIS manifiesto que el 93% cuentan con cobertura en el área urbana y alrededor del 60% de cobertura en el sector rural, resaltando que las veredas como El Cacical y Guaneyes por su ubicación tan distante de las redes principales carecen de varios servicios, en especial de energía eléctrica (Alcaldía Municipal Monterrey, 2016).

Generalidades del Centro Poblado Palonegro

El centro poblado de Palonegro se encuentra ubicado al sur del municipio de Monterrey Casanare, cuenta con una extensión aproximada de 4.7 Hectáreas y una población de 160 habitantes. Este centro poblado está compuesto por 6 manzanas y 56 predios de los cuales 39 aproximadamente están ocupados por viviendas (Proyectos Consultoría, 2018).

Figura 4. Mapa Monterrey casanare con sus respectivas veredas



Adaptado de (Secretaria de gobierno, seguridad y convivencia, 2018).

Su población esta estructurada principalmente en habitantes adultos entre 25 y 60 años. Cuenta con una estructura poblacional igual que la del municipio de Monterrey en cuanto a la relación hombre/mujer de ser 1 hombre por cada mujer. Dentro de su nivel de escolaridad en el centro poblado el 100% de los niños entre 5 y 17 años asisten a un centro educativo, donde el 72% se encuentran en el nivel educativo básica primaria, el 45.5% al nivel educativo básica secundaria y el 9.1% al nivel educativo media vocacional. El 100% de los habitantes del centro poblado palonegro cuentan con acceso a la atención básica de salud, de los cuales el 75% están afiliados al régimen subsidiado y el otro 25% al régimen contributivo (Proyectos Consultoría, 2018).

Las actividades económicas de este centro poblado están basadas principalmente en la ganadería y la agricultura, ya que la topografía del suelo se presta para el desarrollo de esas actividades. Por la composición del suelo que son principalmente ricos en contenido de materia orgánica se realizan cultivos de plátano y por su cercanía al río, en temporadas de invierno practican la pesca como alternativa para el sustento (Proyectos Consultoría, 2018).

Subzona hidrográfica del Río Túa.

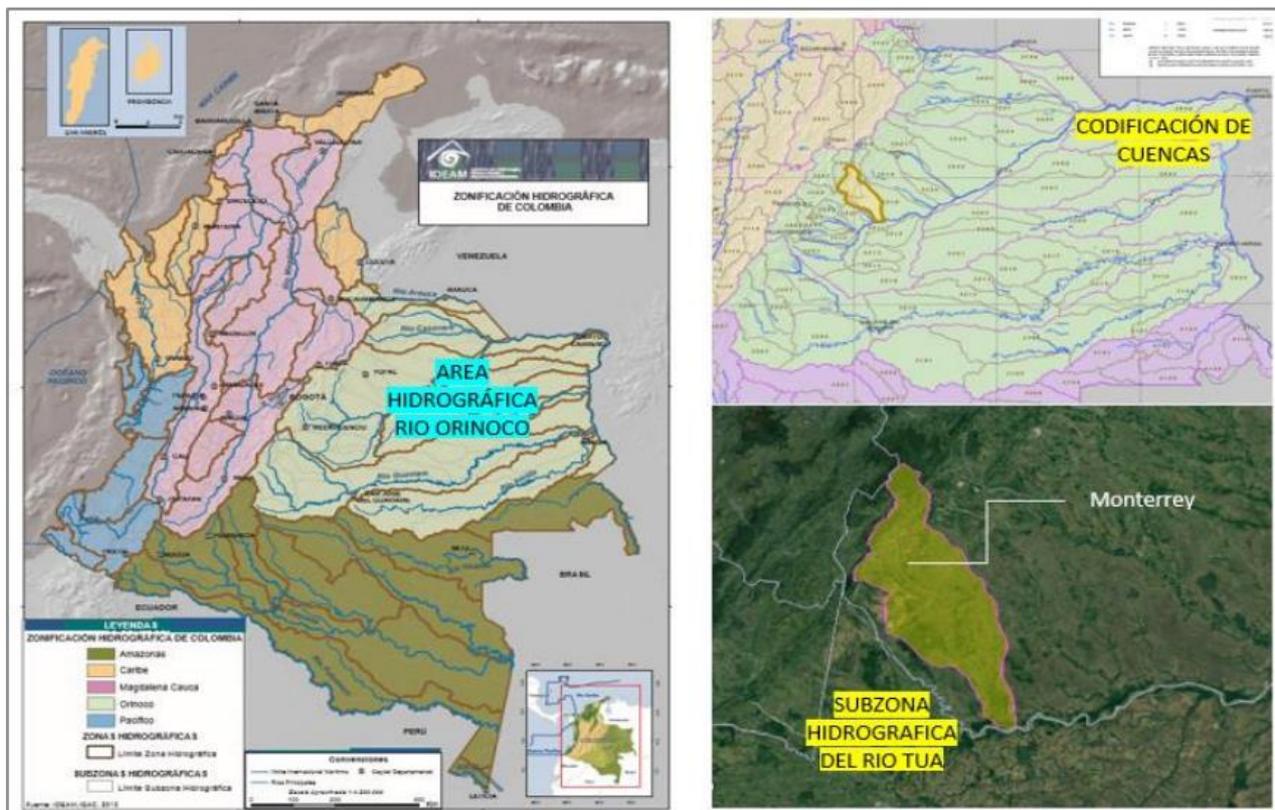
El Río Túa nace en los límites del departamento de Boyacá entre el cerro Pabellón y la Cuchilla Palmichal a una altura aproximada de 2.250 m.s.n.m; este río desciende por los municipios de Villanueva, Monterrey, Tauramena y Sabanalarga, hasta desembocar en el río Meta. Este río tiene un área de drenaje de 1056.3 km² con una longitud de 72 km en su cauce principal y presenta un patrón de drenaje subdentrítrico (Asociación de Ingenieros Forestales de Casanare, 2013).

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

El centro poblado de Palonegro se encuentra ubicado en la subzona hidrográfica del Río Túa, localizada en la vertiente oriental de la cordillera oriental en el departamento de Casanare. Donde se identifica el caño palonegro (cañada Tamarindo) que pertenece a un afluente del Río Túa (Proyectos Consultoría, 2018).

Figura 5. Subzona hidrográfica del río Túa



Proyectos Consultoría, 2018. Localización hidrográfica del Río Túa. (Imagen).
Recuperado de: [http:// DTS_LEGALIZACIÓN% 20PALONEGRO.pdf](http://DTS_LEGALIZACIÓN%20PALONEGRO.pdf).

11.5.Marco Institucional

Dentro del contexto institucional este proyecto se basa principalmente en diferentes entidades encargadas de la estructura y regulación del agua. El principal actor institucional es *Corporinoquia* (Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia), quien es la que ejerce funciones establecidas en el artículo 31 de la ley 99, dentro de las principales es la función de evaluación, seguimiento y contro, que se encarga del seguimiento al uso del agua, suelo, aire, flora y fauna, controla los vertimientos, las emisiones de sustancias contaminantes, las conducción, transporte y la disposición final de los residuos sólidos y líquidos. Además ejecuta políticas, planes y programas nacionales establecidos por la ley aprobatoria del Plan Nacional de Desarrollo y del Plan Nacional de Inversiones o por el Ministerio de ambiente (Corporinoquia, s.f.).

Otro ente es la *Secretaria de Ambiente del Casanare*, que, como entidad pública, es la encargada de ejecutar los recursos de manera efectiva, por medio de la planeación participativa con una óptima prestación de servicios e impulsa el desarrollo económico, social, cultural y ambiental, para la mejora de la calidad de vida de los habitantes (Secretaria de ambiente , s.f.).

La *Alcaldía de Monterrey* esta enfocada en los servicios eficientes orientados al ciudadano en áreas de salud, educación, cultura, seguridad ciudadana, convivencia pacífica, desarrollo económico, protección ambiental, infraestructura física, gestión territorial, para lograr la satisfacción de las necesidades y expectativasde la comunidad (Alcaldía municipal de Monterrey, s.f.).

Por último, *Empresas Públicas de Monterrey EPM S.A E.S.P*, quien es el ente encargado de la prestación del servicio de agua y aseo del municipio de Monterrey Casanare, en cuanto a la distribución de agua potable y del tratamiento de las aguas residuales en el casco urbano del municipio.

12. Metodología

En el siguiente apartado se definen el alcance, el enfoque y el método respectivo que rige el desarrollo del proceso investigativo del proyecto; la unidad de análisis que permite especificar el objeto de estudio en relación con el estudio de caso; además de la tabla de variables y matriz metodológica que resumen el desarrollo metodológico de la investigación, siendo esta desagregada y explicada por cada objetivo específico para describir la forma de obtener los resultados de cada uno. Finalmente, se definen las técnicas que se utilizaron para la obtención de la información de cada objetivo.

12.1. Enfoque de la investigación

Teniendo en cuenta que el objetivo general de la investigación es proponer el diseño de unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare; se definió el enfoque como mixto. Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014), la mayoría de los trabajos de ingeniería poseen este tipo de enfoque por la necesidad que el desarrollo de proyectos tiene de manejar e interpretar información y datos que requieren de un análisis interdisciplinario.

Para este caso particular, se evidencia el enfoque cualitativo por el levantamiento y análisis de información primaria y secundaria sobre diferentes aspectos del centro poblado Palonegro que resultan necesarios para el diagnóstico y el proceso de selección de las unidades de tratamiento más adecuadas para potabilizar el agua; mientras que el enfoque cuantitativo es evidente con la realización de la base de cálculos para el dimensionamiento y esquematización de las unidades de tratamiento escogidas a partir del análisis realizado anteriormente.

12.2. Alcance de la investigación

El alcance de la investigación es descriptivo-correlacional, ya que el proyecto pretende diagnosticar las condiciones en el centro poblado Palonegro, en relación con la salud pública, distribución y calidad del agua, a partir de la recopilación de información primaria y secundaria; para luego plantear una posible solución a manera de una propuesta de diseño que se ajuste a las condiciones identificadas.

12.3. Unidad de Análisis

Para este proyecto se determinó una única unidad de análisis, la cual consiste en una propuesta de diseño de unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare; para la cual fue necesario realizar una indagación

previa sobre la calidad del agua que se le está suministrando a la comunidad y los problemas de salud asociados al consumo del recurso.

12.4. Método de la investigación

Se definió como método de investigación el analítico, que, según (Ruiz, 2007), se basa en el reduccionismo para observar las causas, la naturaleza y los efectos de una situación compleja; permitiendo así conocer más del objeto de estudio, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías o apreciaciones. Teniendo en cuenta que para la formulación de una propuesta de diseño de unidades de tratamiento para la potabilización del agua del centro poblado Palonegro es necesario determinar las condiciones previas o iniciales en las que se encuentra la comunidad, para así establecer los procesos unitarios más adecuados y los parámetros de diseño de estos; el método analítico es el que mejor se adapta a la investigación.

12.5. Técnicas e instrumentos

Se realiza una descripción de las técnicas e instrumentos utilizada en el proyecto y que se encuentran plasmadas en la Tabla 6:

- *Análisis documental*

Lourdes Castillo define el análisis documental como una operación intelectual que da lugar a un subproducto o documento secundario que actúa como intermediario o instrumento de búsqueda obligado entre el documento original y el usuario que solicita información (Castillo, 2005).

- *Observación participante*

La observación participante aquella en la que el observador participa de manera activa dentro del grupo que se está estudiando y tiene una participación tanto externa, en cuanto a actividades, como interna, en cuanto a sentimientos e inquietudes (Campoy Aranda & Gomes Arújo, 2009).

- *Entrevista semiestructurada*

En esta modalidad, si bien el entrevistador lleva una guía de preguntas básicas, tiene la libertad de cuestionar al entrevistado sobre aquellos temas que le interesen, o bien omitir algunos temas de acuerdo a su criterio (Morga Rodriguez, 2012).

- *Análisis de datos*

Se puede aplicar la técnica de análisis de datos para datos cualitativos y para datos cuantitativos. Comúnmente, se utilizan los aplicativos de Microsoft Office, como lo son Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Access, etc (Peersman, 2014).

- *Bases de datos*

Colección de información organizada y presentada para servir un propósito específico. Contiene información sobre libros, reportes y artículos de revista (Gil Rivera, 1994).

- *Cuaderno de notas*

Libreta que permite realizar anotaciones sobre todo lo observado, datos, expresiones, hechos, datos, opiniones, etc (Cerda, 1991).

- *Cuestionario*

El cuestionario es un instrumento de investigación se usa principalmente para recoger información en tiempo relativamente corto. Está diseñado principalmente para recoger datos necesarios para alcanzar los objetivos de un proyecto de investigación. Dentro del cuestionario se pueden considerar preguntas cerradas, abiertas o mixtas. Su característica principal es dar información sobre los informantes o sobre un tema dado (Galán Amador, 2009). En este caso para el desarrollo del primer objetivo del proyecto se realizó un cuestionario mixto considerando tanto preguntas cerradas como abiertas.

12.6. Variables e indicadores

Se realizó una tabla donde se identificó las variables e indicadores, además de los aspectos, atributos y técnicas de las dimensiones ecológica, social y económica. La finalidad de esta tabla fue darle secuencia a lo que se planteó para la metodología y contempla todos los aspectos vitales para el desarrollo de la investigación.

Tabla 5. Variables e indicadores.

Dimensión	Variable	Aspecto	Atributos	Indicadores	Técnicas
Ecológica	Agua	Calidad	Turbiedad	Comparación de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras de agua con los parámetros establecidos para el agua potable de la resolución 2115 de 2007.	Análisis de parámetros y criterios normativos
			pH		
			Alcalinidad total		
			Color aparente		
			Conductividad eléctrica		
			Temperatura		
			Dureza Total		
			Dureza Cálcica		
			Hierro Total		
			Oxígeno disuelto		
			Sólidos Disueltos Totales		
			Coliformes Totales		
			Coliformes Fecales		
DBO5					

Dimensión	Variable	Aspecto	Atributos	Indicadores	Técnicas
		Abundancia	Caudal de diseño para 25 años	Caudal Máximo Diario (Q.M.D)	Recopilación de información asociada a datos poblacionales para el cálculo de la dotación bruta, caudal medio diario (q.m.d) y caudal máximo diario (Q.M.D)
Social	Población	Crecimiento poblacional	Datos censales de años anteriores	Métodos de proyección poblacional establecidos en la resolución 0330 de 2017.	Programa de Excel
		Oferta y demanda hídrica	Volumen de captación y demanda poblacional	Capacidad de bombeo de la motobomba, tiempo de llenado del tanque de almacenamiento	Comparación y Análisis
	Actividades socioeconómicas	Ocupación del suelo	Uso y vocación del suelo	Distribución espacial de la vocación y uso del suelo	Comparación y Análisis
Económico	Valoración económica	Cotizaciones	Costo unitario de las unidades de tratamiento	Costo total de los componentes de las unidades de tratamiento y materiales de las estructuras.	Observación y comparación

Fuente: Autores 2019.

12.7. Matriz metodológica

A continuación, se presenta la matriz metodológica que se desarrolló a partir de los objetivos planteados para el desarrollo de la problemática principal, teniendo en cuenta las actividades, técnicas, instrumentos y resultados para cada uno de los objetivos específicos, con el fin de darle un orden a cada una de las actividades que se debían realizar.

Tabla 6. Matriz metodológica.

Objetivos		Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados esperados
General	Específico				
Proponer el diseño de unidades de tratamiento para	Diagnosticar las condiciones sociales y ambientales del	Revisión de información bibliográfica	Análisis documental	Bases de datos e informes de entidades públicas	Diagnóstico de condiciones sociales y ambientales del

Objetivos		Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados esperados
General	Específico				
la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.	centro poblado Palonegro.	Recopilación de información relacionada con el punto de captación del agua y sistema de almacenamiento	Observación participante	Cuaderno de notas, dispositivos de grabación y fotografía	centro poblado Palonegro
		Análisis de los resultados fisicoquímicos y microbiológicos del cuerpo de agua del que se capta el recurso	Índice de Riesgo de Calidad del Agua	Informe de resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua	
		Recolección de información primaria sobre las condiciones socioeconómicas de la comunidad del centro poblado Palonegro	Entrevista semiestructurada	Cuestionario	
		Espacialización de la información	Software de Sistemas de Información Geográfica	Locus Map Free, ArcMap, QGIS	
		Análisis y procesamiento de la información primaria y secundaria obtenida	Análisis de datos	Aplicativos de Microsoft Office como: Word, Excel, Power Point.	
	Identificar las unidades de tratamiento necesarias para la potabilización del agua en relación con las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua y el diagnóstico realizado.	Comparación de las unidades de tratamiento existentes formuladas por (Schulz & Okun, 1998), con el diagnóstico realizado y el RAS 2017- Título 2, Capítulo 1 y 3.	Análisis documental	RAS 2017	Elegir las unidades de tratamiento más adecuadas teniendo en cuenta los requerimientos de la comunidad
			Técnicas de diseño de (Schulz & Okun, 1998)	Libro 'Tratamiento de agua' de (Schulz & Okun, 1998)	
		Determinación de la alternativa más adecuada para las unidades de potabilización	Análisis documental	RAS 2017	

Objetivos		Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados esperados
General	Específico				
	Realizar el dimensionamiento y esquematización de las unidades de tratamiento requeridas para la potabilización del agua.	Elaboración de la matriz de cálculo para las unidades de tratamiento seleccionadas	Análisis de datos	Aplicativo Microsoft Office Excel	Dimensionamiento y representación gráfica de las unidades de tratamiento
		Esquematización de las unidades de tratamiento seleccionadas	Software para la producción de planos	AutoCAD	

Fuente: Autores 2019.

12.8. Metodología por objetivo

A continuación, se realiza una descripción de la metodología elaborada para cada objetivo específico planteado teniendo en cuenta cada una de las actividades a realizar.

12.8.1. Objetivo específico 1. Diagnosticar las condiciones sociales y ambientales del centro poblado de Palonegro.

Este objetivo específico se desarrolló mediante la recolección de información primaria y secundaria, para así diagnosticar el área de estudio, en cuanto a lo social y ambiental teniendo en cuenta el alcance descriptivo, ya que este se fundamenta en buscar y recolectar información específica para analizar (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

La información primaria se recolectó mediante visitas de campo y observación participante por parte del equipo investigador; se desarrolló un cuestionario con el fin de evaluar y ratificar el problema en relación con la baja calidad del agua con la que la comunidad se abastece. Cabe resaltar que para estas encuestas no se tuvo en cuenta un tamaño de muestra, sino que se realizó un barrido por las casas del centro poblado y se le aplicó el cuestionario a cada familia presente.

La información secundaria se obtuvo mediante la búsqueda bibliográfica en medios electrónicos, bases de datos y la documentación con la que contaba el presidente de la junta de acción comunal Daniel Cortez y los documentos de la alcaldía municipal, que fueron posibles obtener gracias al concejal Robar Rodríguez. A continuación, se presenta el formato del cuestionario que se realizó:

Figura 6. Formato encuestas

Universidad El Bosque

Nombre del Proyecto: Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Nombre: _____ C.c. _____

1. ¿Cuántas personas de su hogar trabajan?
 - a. 1
 - b. 2
 - c. 3
 - d. 4 o más.
2. ¿En que trabajan?
 - a. Ganadería
 - b. Agricultura
 - c. Obrero
 - d. Labores domésticas
 - e. Comercio
 - f. Oficios varios
3. ¿En qué rango se encuentran los ingresos mensuales de su hogar?
 - a. \$0 a \$300.000
 - b. \$300.000 a \$600.000
 - c. \$600.000 a \$900.000
 - d. \$900.000 a \$1'200.000
 - e. Mas de \$1'200.000
4. ¿De qué material están hechas las paredes de su casa?
 - a. Ladrillo a la vista
 - b. Bloque a la vista
 - c. Obra negra
 - d. Terminada
 - e. Sin paredes
5. ¿De qué material están hechos los pisos de su casa?
 - a. Madera
 - b. Baldosa
 - c. Cemento
 - d. Tierra
6. ¿Con cuales servicios públicos cuenta su casa?
 - a. Energía eléctrica
 - b. Gas natural
 - c. Red de acueducto
 - d. Alcantarillado
7. ¿Cuál es el uso principal que se le da al agua en su casa?
 - a. Doméstico
 - b. Agrícola
 - c. Ganadero
 - d. Otro ¿Cuál? _____
8. ¿En su casa se han presentado enfermedades asociadas al consumo de agua sin tratar? (Diarreas, vómitos, infecciones intestinales).
 - a. Si
 - b. No
9. El agua que consume tiene olor, color y/o sabor inusual?
 - a. Si : Comentario _____
 - b. No
10. ¿Están ustedes dispuestos a pagar una tarifa por el servicio de agua potable?
 - a. Si
 - b. No ¿Por qué? _____

Fuente: Autores 2019.

También se realizó una Zonificación Ambiental, donde se tuvo en cuenta la tabla de clasificación de la cobertura y uso de la tierra según el Centro de Innovación Tecnológica y de Fortalecimiento institucional para el IGAC (CIAF), para lograr identificar los tipos de coberturas en el centro poblado. Cabe resaltar que los siguientes niveles de identificación se dan para realizar por medio de la fotointerpretación.

Tabla 7. Clasificación de las coberturas del área de estudio.

	Nivel 1 Exploratorio	Nivel 2 Reconocimiento	Nivel 3 Semidetallado	Nivel 4 Detallado
CLASES	1. Construcciones	a. Urbano	1- Residencial 2- Industrial 3- Comercial 4- Educativo 5- Recreativo	* Unifamiliares, multifamiliares, hoteles * Textil, metalmecánica, transporte, artesanal, fabril * Colegios, escuelas, universidad elemental superior * Parques, cines, clubes
		b. Rural	1- Nucleados 2- Dispersos	* Caseríos, industrias, parques * Viviendas, galpones, corrales, bodegas, invernaderos

	Nivel 1 Exploratorio	Nivel 2 Reconocimiento	Nivel 3 Semidetallado	Nivel 4 Detallado
2. Cultivos y Parcelas	a. Perennes o Semiperennes	1- Irrigados 2- No irrigados	* Frutales, caña, cultivos comerciales *Café, banano, palma de aceite, frutales, caña	
	b. Temporales	1- Irrigados 2- No irrigados	* Espigas, líneas, forrajes, habas, tomates, flores * Cultivos comerciales * Espigas, líneas, barbecho, algodón	
	c. Confinados	1- Horticultura 2- Flores 3- Viveros	* Lechuga, repollos, rábanos * Claveles, rosas, anturios	
3. Vegetación Herbácea Descubierta	a. Pastizales naturales	1- Herbáceos 2- Arbustivos	* Géneros, protección, pastoreo * Géneros, características fisionómicas, estructura florística	
	b. Portereros o Dehesas	1- Irrigados 2- No irrigados	* Leguminosas, gramíneas, especies * Mezcla, especies	
	c. Tundras o Páramos	1- Herbáceos 2- Arbustivos	* Género, especies * Protección, pastoreo	
4. Bosques y/o Montes	a. Natural	1- Latifoliadas 2- Coníferas 3- Matorral	* Protector, comercial, especies, dominancia, posición * Fisiográfica, densidad, composición estructural * Protector, comercial, especies, dominancia, posición, fisiográfica, densidad * Protector, comercial, especies, dominancia, posición, fisiográfica, densidad, composición estructural	
	b. Pantano	1- Latifoliadas 2- Coníferas 3- Reforestación	* Protector, comercial, especies, densidad * Protector, comercial, especies, densidad * Protector, comercial, especies, densidad	
5. Cuerpos de Agua	a. Superficies libres	1- Natural 2- Artificial	* Lagos, nieves, hielos * Represas, dársenas	
	b. Pantanos	1- Permanentes 2- Temporales	* Hierbas, eutróficas, arbustos * Hierbas, arbustos	
6. Tierras Eriales	a. Rocas expuestas	1- Masivos 2- Fragmentación	* Escarpes, inserlbergs, etc. * Debris, coluvios	

	Nivel 1 Exploratorio	Nivel 2 Reconocimiento	Nivel 3 Semidetallado	Nivel 4 Detallado
		b. Suelo desnudo	1- Erosión provocada 2- Erosión natural 3- Canteras y minas 4- Riveras y playas 5- Dunas	* Surcos, cárcavas, malpais, remoción en masa * Movimiento en masa * Arenas, calizas, otros * gravas, arenas, turismo

Fuente: (CIAF, S. f).

12.8.2. Objetivo específico 2. Identificar las unidades de tratamiento necesarias para la potabilización del agua en relación con las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua y el diagnóstico realizado.

Para este objetivo se realizó una búsqueda de información acerca de las unidades de tratamientos existentes formulados por (<biblio>) y el RAS 2017- Título 2, Capítulo 1 y 3 en su apartado Sección 3. Tecnologías y procesos unitarios de tratamiento en el artículo 109. Se resalta el alcance correlacional (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) para analizar la relación entre esos dos autores para la selección de las unidades de tratamiento necesarias según las condiciones diagnosticadas.

Posteriormente de haber realizado un análisis documental, se realizó la comparación del análisis fisicoquímico y microbiológicos con el Decreto 2115 de 2007 para determinar las características que se incumplen en relación con los valores permisibles establecidos por el mismo.

Luego de haber revisado los parámetros se remitió al apartado del RAS 2017 anteriormente mencionado para identificar los procesos de tratamiento sugeridos para la remoción del contaminante en el apartado Capítulo 1, sección 3 (Tabla 4. Tecnologías de tratamiento de potabilización) (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). Se tuvo en cuenta lo manifestado por la comunidad y por sugerencia del director de grado se contemplaron otras estructuras adicionales para complementar el tratamiento.

Para la cuantificación de los costos de las unidades de tratamiento se utilizaron las ecuaciones planteadas por (Romero Rojas, 2009) para cada proceso unitario. Dichas ecuaciones permiten el cálculo de los costos de construcción, así como el valor de la operación y mantenimiento anuales. En la siguiente tabla se presenta la estructura de las ecuaciones.

Table 8. Ecuaciones de costos para tratamientos unitarios.

Proceso	Costo de construcción de procesos unitarios	Costo de operación y mantenimiento / Año
Aireación	$38 Q_M^{0,74}$	$2 Q^{1,01}$
Mezcla rápida y floculación	$1553 Q_M^{0,45}$	$600 + 36 Q^{0,59}$
Sedimentación	$8600 + 2694 Q_M^{0,51}$	$539 Q^{0,20}$

Proceso	Costo de construcción de procesos unitarios	Costo de operación y mantenimiento / Año
Filtración por gravedad	$4052 Q_M^{0,62}$	$500 + 117 Q^{0,70}$
Cloración	$12500 + 116 Q_M^{0,74}$	$4150 + 33 Q^{0,70}$

* Q_M = Caudal máximo diario en m^3/d ; Q = Caudal promedio diario en m^3/d .

Adaptado de: (Romero Rojas, 2009).

Para los filtros lentos de arena, se utilizó la siguiente tabla, en donde se presenta la información de diferentes estructuras con sus respectivos costos por unidad de producción. Para este caso fue necesario utilizar el caudal en unidades de m^3/h para determinar el valor del filtro a elegir y sus costos de operación y mantenimiento anuales.

Tabla 9. Costos medios de filtros lentos de arena.

Descripción	Costos de Capital en USD\$ por unidad de producción (m^3/h)	Costo de Operación y mantenimiento al año
Filtro con taludes protegido	\$1.000 - \$4.000	10% del total de costos de capital
Filtro circular de ferrocemento	\$1.500 - \$3.000	
Filtro circular de mampostería	\$1.500 - \$6.000	
Filtro de hormigón	\$3.000 - \$12.000	

Adaptado de: (Rodríguez, 2016).

12.8.3. Objetivo específico 3. Realizar el dimensionamiento y esquematización de las unidades de tratamiento requeridas para la potabilización del agua.

Para el desarrollo de este objetivo específico se procedió a utilizar una matriz de cálculos en donde se organizan las ecuaciones que se utilizan para el dimensionamiento con los parámetros de diseño y los resultados obtenidos.

12.8.3.1. Cálculo población futura:

En primera instancia se realizó el cálculo de población futura usando la ecuación por el método geométrico:

$$P_f = P_o(1 + \gamma)^n \quad (2)$$

Donde:

P_f : Población futura

P_o : Población inicial

γ : Tasa de crecimiento

n : Diferencia entre el tiempo final y el inicial

No fue posible encontrar una tasa de crecimiento, por lo que procedió a realizar el despeje de la anterior ecuación 2, dando la siguiente formula:

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

$$\gamma = \sqrt[t]{\frac{P_f}{P_o}} - 1 \quad (3)$$

Donde las variables son las mismas de la ecuación 2.

12.8.3.2. Nivel de complejidad y dotación neta:

Teniendo en cuenta el apartado del RAS 2000 en el Título B Sistemas de acueducto (**Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000**), se tuvo en cuenta la tabla 10 de asignación del nivel de complejidad:

Tabla 10. Asignación del nivel de complejidad.

Nivel de complejidad	Población (número de habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	<2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	>60000	Alta

Fuente: (**Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000**).

Para luego determinar la dotación bruta por medio de la tabla 11 según las recomienda el RAS 2000.

Tabla 11. Dotación neta según el Nivel de Complejidad.

Nivel de Complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab*día)	Dotación neta máxima (L/hab*día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: (**Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000**).

Posterior se usó la fórmula de dotación bruta del RAS 2017 del capítulo 2 en el artículo 44:

$$D_{bruta} = d_{neta} / (1 - \%p) \quad (4)$$

Donde:

D_{bruta} : Dotación bruta
 d_{neta} : Dotación neta
 $\%p$: Porcentaje de pérdidas técnicas máximas para diseño

Para luego realizar el cálculo de caudal medio diario y caudal máximo diario.

12.8.3.3. Cálculo caudal medio diario (qmd) y caudal máximo diario (QMD):

Se tuvo en cuenta el apartado del capítulo 2, sección 1, artículo 47, párrafo 2 los factores de mayoración K1 y K2:

Tabla 12. Determinación coeficientes K1 y K2.

Población futura	Coefficiente de consumo máximo diario K ₁	Coefficiente de consumo máximo diario K ₂
≥12500	1.3	1.6

≤ 12500	1.2	1.5
--------------	-----	-----

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Para luego calcular el q.m.d. (ecuación 5) y Q.M.D. (ecuación 6):

$$q. m. d. = P_f \times D_{bruta} \quad (5)$$

Donde:

q. m. d.: Caudal medio diario
 P_f : Población futura
 D_{bruta} : Dotación bruta

$$Q. M. D. = K_1 \times q. m. d._{2019} \quad (6)$$

Donde:

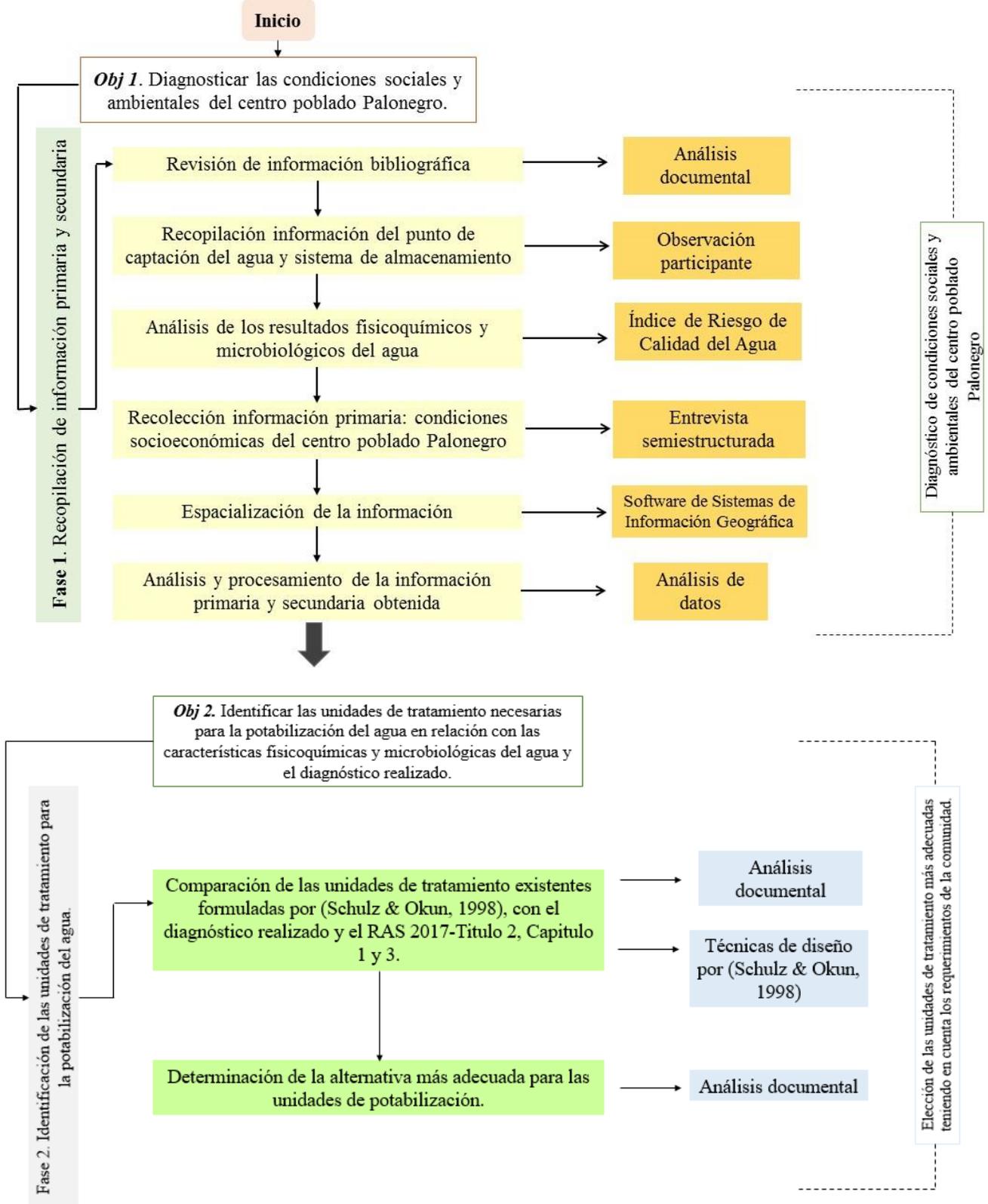
Q. M. D.: Caudal máximo diario
 K_1 : Coeficiente de consumo máximo diario
 $q. m. d._{2019}$: Caudal medio diario

Luego de la realización de los cálculos anteriormente descritos se procedió a realizar el dimensionamiento de las unidades de tratamiento necesarias para la potabilización del agua del centro poblado utilizando el programa de AutoCAD.

12.9. Flujo metodológico

A continuación, se presenta los diagramas que representan al flujo metodológico, teniendo en cuenta la anterior matriz metodologica. El siguiente flujo contiene los tres objetivos específicos con sus respectivas actividades, técnicas y resultados. Luego de la línea que conduce cada fase (1, 2 y 3) se encuentran las actividades y técnicas diferenciadas por colores en cada objetivo específico y por último el resultado de cada objetivo.

Figura 7. Flujo metodológico.



13. Cronograma

A continuación, se presenta las actividades en las que se desarrollo el proyecto para llegar a feliz término, teniendo en cuenta una duración de 14 semanas.

Tabla 13. Cronograma.

ACTIVIDAD	CRONOGRAMA DE DESARROLLO DEL PROYECTO																			
	MES																			
	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Elección del proyecto																				
Revisión bibliográfica																				
Elaboración del problema																				
Elaboración de la justificación																				
Elaboración objetivos																				
Primera entrega proyecto																				
Elaboración de marcos de referencia																				
Metodología																				
Visita de campo																				
Reunión con el director																				
Ajustes metogología																				
Procesamiento de información																				

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
 Mario Andrés Martínez García

ACTIVIDAD	CRONOGRAMA DE DESARROLLO DEL PROYECTO																			
	MES																			
	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Segunda entrega del proyecto																				
Resultados, análisis y discusión																				
Conclusiones																				
Recomendaciones																				
Ajustes finales																				
Entrega final																				

Fuente: Autores 2019.

14. Resultados, análisis y discusión

En la siguiente sección, se presenta en conjunto los resultados obtenidos, con sus respectivos análisis y discusión (cuando viene al caso), para cada objetivo específico planteado del proyecto. Se presenta de esta manera teniendo en cuenta que, por la naturaleza de los resultados, es necesario argumentar cada uno de estos.

14.1. Objetivo específico 1. Diagnosticar las condiciones sociales y ambientales del centro poblado Palonegro.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos asociados a este objetivo por medio del levantamiento de información primaria (consultas bibliográficas) y secundaria (visita de campo y desarrollo de cuestionarios).

14.1.1. Diagnóstico social

El centro poblado de Palonegro está localizado en municipio de Monterrey Casanare conformada por 6 manzanas y 56 predios de los cuales 39 se encuentran ocupados. Su estructura poblacional está definida principalmente por población mayor en un grupo de 25 a 60 años, lo que se define como una población conformada con antigüedad.

En Palonegro en cuanto a la cobertura de acueducto y saneamiento básico cerca del 42% de las familias se benefician del acueducto el cual se abastece de agua proveniente del Río Túa. Resaltando que este tanque solo recibe la función de almacenamiento porque no cuenta con ningún sistema potabilizador de agua, así que el agua está siendo distribuida sin ningún tratamiento adecuado (Proyectos Consultoría, 2018).

En cuanto al sistema de alcantarillado no cuentan con este servicio ya que hace más de tres años la planta de tratamiento de agua residual se encuentra colmatada y no le han hecho mantenimiento. Respecto al servicio de energía el 40% de la población cuenta con el servicio y el 35% cuenta con alumbrado público (Proyectos Consultoría, 2018).

La economía de la región está representada solo en el 39% de las personas mayores de edad que son los que trabajan, mientras que el 33% de los hogares no cuentan con un empleo definido. Las actividades económicas se basan principalmente en la agricultura y ganadería, ya que la topografía del terreno da para el desarrollo de esas actividades debido a su formación plana, con suelos ricos en materia orgánica que favorecen los cultivos como el de plátano, teniendo en cuenta que se conoce esta vereda como una zona platanera del municipio. Por sus cercanías al Río Túa los habitantes también toman como alternativa económica la pesca en tiempos de invierno (**Proyectos Consultoría, 2018**).

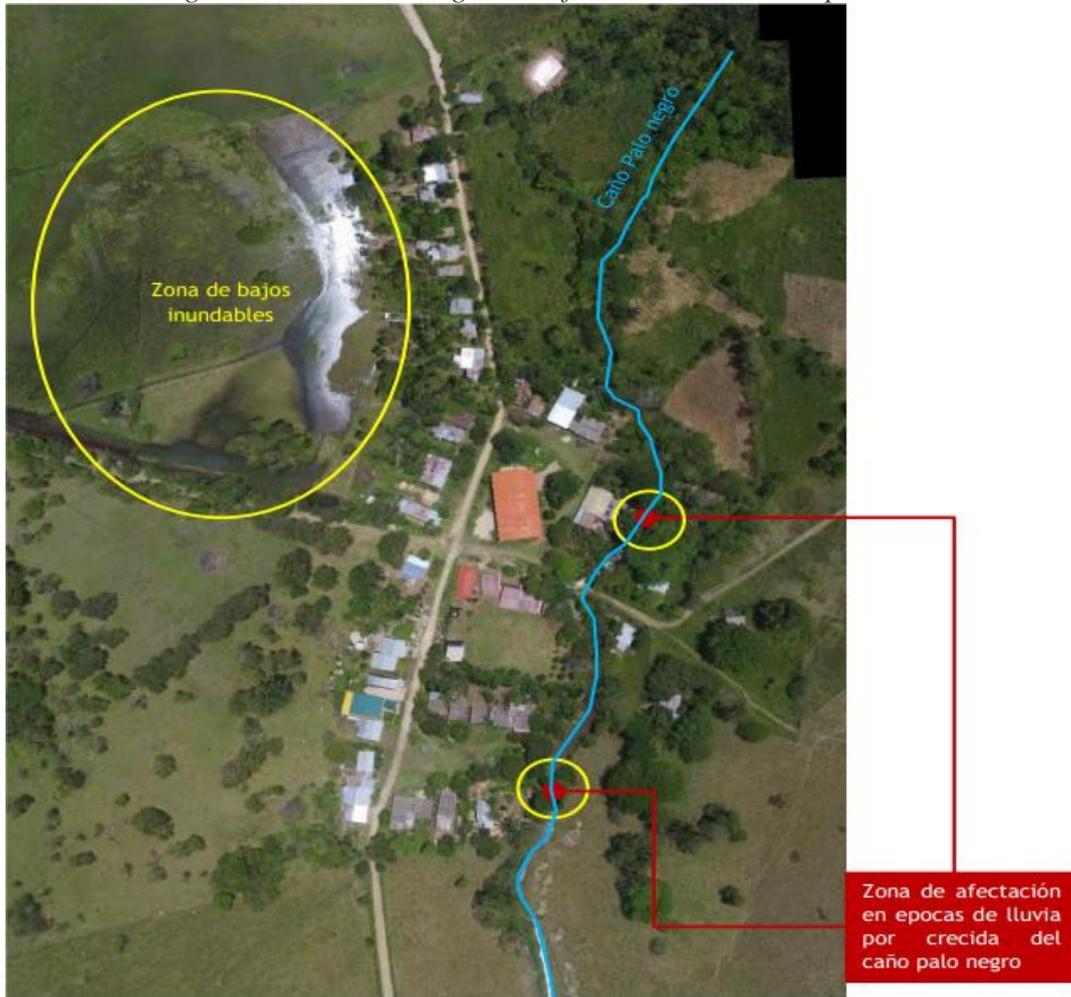
Se determinan diferentes riesgos y afectaciones al medio ambiente por fuentes hídricas que se encuentran en cercanía de viviendas y en épocas de lluvia son afectadas. Por ejemplo, cerca del 50%

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

del centro poblado presenta inundaciones anualmente, sobre todo en las zonas que se identifican en la siguiente figura 8 (Proyectos Consultoría, 2018).

Figura 8. Zonas de riesgo identificadas en el centro poblado

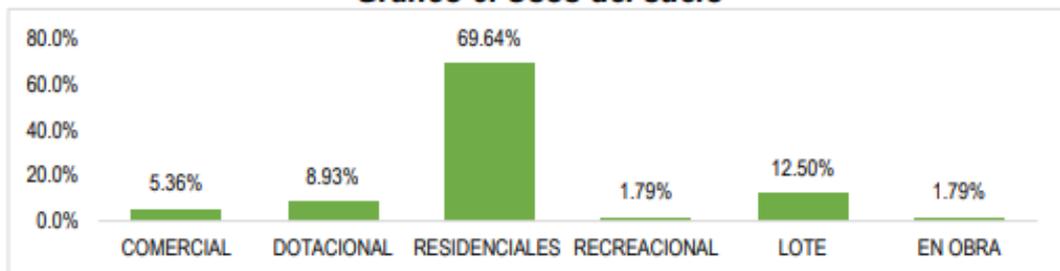


Recuperado de: [http:// DTS_LEGALIZACIÓN%20PALONEGRO.pdf](http://DTS_LEGALIZACIÓN%20PALONEGRO.pdf).

En cuanto al uso del suelo el 69,7% del centro poblado de palonegro son de uso residencial, el 12,5% pertenecen a lotes sin construir, el 8,9% es de uso dotacional o institucional, el 5,39% es de uso comercial y el 1,79% representa al uso recreacional (Figura 9 y 10).

Figura 9. Uso del suelo.

Grafico 6. Usos del suelo



Recuperada de [http:// DTS_LEGALIZACIÓN%20PALONEGRO.pdf](http://DTS_LEGALIZACIÓN%20PALONEGRO.pdf).

Encuestados	
2	Guillermo Quintero
3	Edilson Calderón
4	Margarita Belisario
5	Yuri Bermudez
6	Lucia Torres
7	Daniel Alexander Cortés Saenz
8	Nélson Ortiz
9	Javier Mesa Ovalle
10	Santiago Mora
11	Ana Elvia Ovalle
12	Blanca Lilia Romero
13	Francy Romero
14	Jose Miguel Linares
15	Alba Cecilia Cruz
16	Oscar Carvajal Vargas

Fuente: Autores 2019.

Pregunta 1: ¿Cuántas personas de su hogar trabajan?

Tabla 15. Opciones de respuesta pregunta 1.

Código	Opciones de respuesta			
	a. 1	b. 2	c. 3	d. 4 o más
1	X	-	-	-
2	-	X	-	-
3	X	-	-	-
4	X	-	-	-
5	X	-	-	-
6	X	-	-	-
7	-	X	-	-
8	X	-	-	-
9	X	-	-	-
10	X	-	-	-
11	X	-	-	-
12	X	-	-	-
13	X	-	-	-
14	X	-	-	-
15	-	X	-	-
16	X	-	-	-
Total	13	3	0	0

Fuente: Autores 2019.

De los 16 hogares cuestionados los informantes manifestaron que en 10 hogares 1 persona es quien trabaja, en 3 hogares trabajan 2 personas y en las opciones de respuesta donde trabajan 3, 4 o más

persona ningún hogar cuestionado no se encontró ese promedio. Se evidenció que en la mayoría de los hogares las personas que trabajan son los hombres, porque casi en todas las mujeres se dedican al hogar.

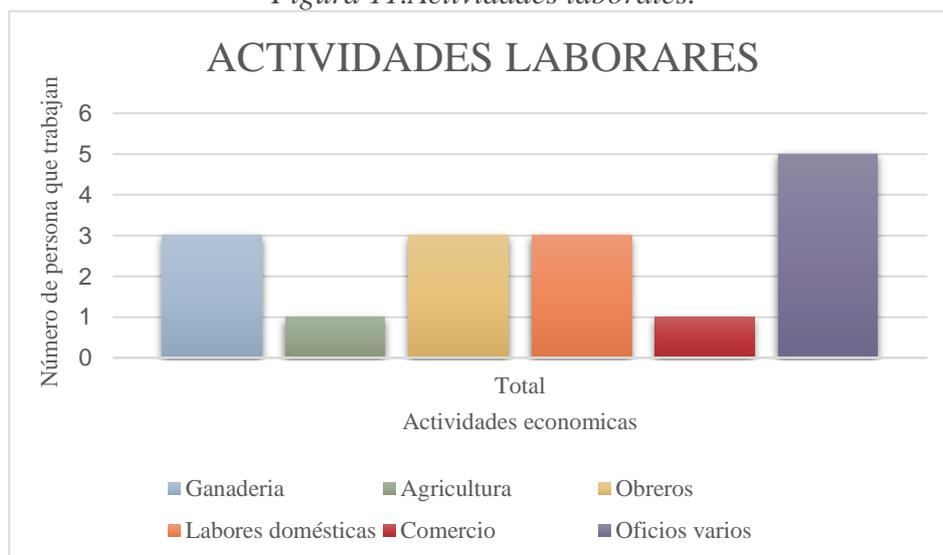
Pregunta 2: ¿En que trabajan?

Tabla 16. Actividades laborales.

Código	Ganaderia	Agricultura	Obreros	Labores domésticas	Comercio	Oficios varios
1			x			
2						x
3						x
4						x
5				x		
6						x
7			x			
8	x					
9		x				
10						x
11				x		
12				x		
13	x					
14	x					
15					x	
16			x			
Total	3	1	3	3	1	5

Fuente: Autores 2019.

Figura 11. Actividades laborales.



Fuente: Autores 2019.

Se logro identificar que en su mayoría las personas se dedican a laborar en oficios varios, ya que por su distancia a la cabecera municipal no se les facilita trabajar tan lejos por temas de tiempo y costos. Los informantes manifestarion que sus trabajos son temporales, no todo el año trabajan por lo que en sus tiempos libres se dedican a la siembra de cultivos como el platano, la maracuya, el maíz, entre otros, para poder solventar las necesidades cuando se encuentran desempleados.

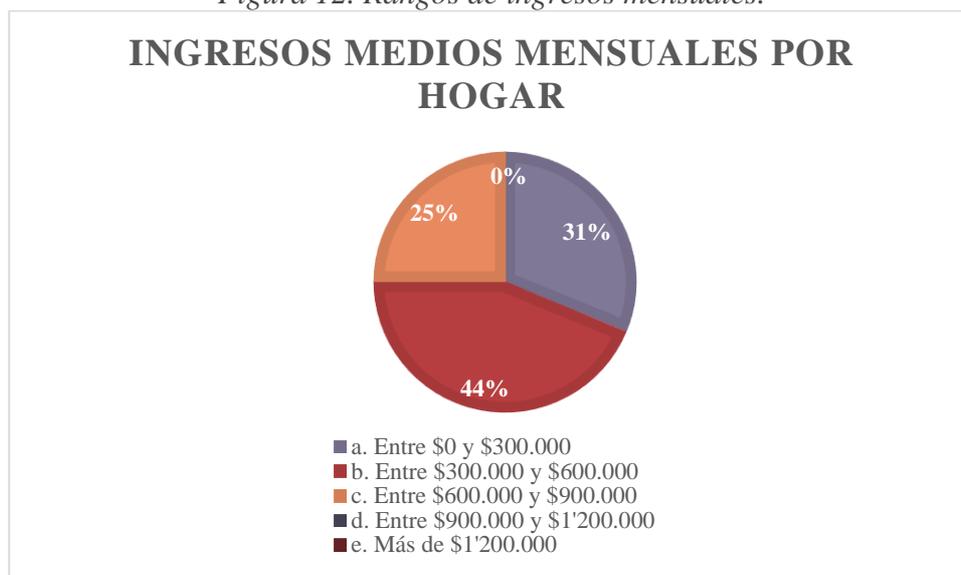
Pregunta 3: ¿En que rango se encuentran los ingresos mensuales en su hogar?

Tabla 17. Rango de ingresos mensuales.

Código	a. Entre \$0 y \$300.000	b. Entre \$300.000 y \$600.000	c. Entre \$600.000 y \$900.000	d. Entre \$900.000 y \$1'200.000	e. Más de \$1'200.000
1	X	-	-	-	-
2	-	X	-	-	-
3	X	-	-	-	-
4	-	X	-	-	-
5	-	-	X	-	-
6	-	-	X	-	-
7	-	-	X	-	-
8	-	X	-	-	-
9	-	X	-	-	-
10	-	X	-	-	-
11	X	-	-	-	-
12	X	-	-	-	-
13	X	-	-	-	-
14	-	-	X	-	-
15	-	X	-	-	-
16	-	X	-	-	-
Total	5	7	4	0	0

Fuente: Autores 2019.

Figura 12. Rangos de ingresos mensuales.



Fuente: Autores 2019.

En general los ingresos economicos del centro poblado son bajos y se encuentra entre \$300.000 y \$600.000 relacionado principalmente con la poca oferta de trabajos formales y duraderos que les permita mantener sus ingresos altos. Teniendo en cuenta que en ocacines tratan de manetener sus hogares con ayudar de la agricultura o la pezca en epocas de lluvia.

Pregunta 4: ¿De que material están hechas las paredes de su casa?

Tabla 18. Material de las paredes de la casa.

Código	a. Ladrillo a la vista	b. Bloque a la vista	c. Obra negra	d. Terminado	h. Sin paredes
1	X	-	-	-	-
2	-	X	-	-	-
3	-	-	-	X	-
4	X	-	-	-	-
5	-	-	-	X	-
6	-	-	-	X	-
7	-	-	-	X	-
8	-	-	X	-	-
9	-	-	-	X	-
10	-	-	X	-	-
11	-	-	X	-	-
12	-	-	-	X	-
13	-	-	-	X	-
14	-	-	X	-	-
15	-	-	-	X	-
16	-	-	-	X	-
Total	2	1	4	9	0

Fuente: Autores 2019.

Se pudo identificar que la mayoría de las casas del centro poblado de Palonegro se econtraban terminadas, tan solo 4 de los hogares entrevistados estaba con características de obra negra. Pero de acuerdo con lo manifestado por algunos habitantes estas características en su mayoría son por subsidios que recibieron por parte de la alcaldía municipal y la gornbernación.

Pregunta 5: ¿De qué material están hechos los pisos de su casa?

Tabla 19. Material de los pisos.

Código	a. Madera	b. Baldosa	c. Cemento	d. Tierra
1	-	-	X	-
2	-	-	X	-
3	-	-	X	-
4	-	-	X	-
5	-	X		-
6	-	-	X	-
7	-	X	-	-
8	-	-	X	-
9	-	-	X	-

Código	a. Madera	b. Baldosa	c. Cemento	d. Tierra
10	-	-	-	X
11	-	-	X	-
12	-	-	X	-
13	-	-	X	-
14	-	-	X	-
15	-	-	X	-
16	-	X	-	-
Total	0	3	12	1

Fuente: Autores 2019.

Relacionando esta pregunta con la anterior es claro decir que como las casa en su mayoría estan terminadas, las condiciones de los pisos son buenas, ya que gran parte de los entrevistados tienen sus casas con pisos de cemento y otros con baldosas, solo 1 persona sin esas condiciones.

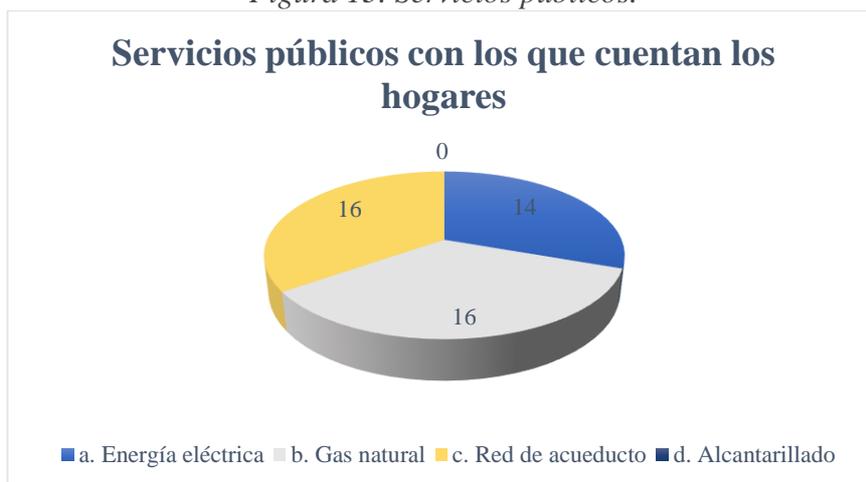
Pregunta 6: ¿Con cuales servicios públicos cuenta su casa?

Tabla 20. Servicios públicos.

Código	a. Energía eléctrica	b. Gas natural	c. Red de acueducto	d. Alcantarillado
1	-	X	X	-
2	X	X	X	-
3	-	X	X	-
4	X	X	X	-
5	X	X	X	-
6	X	X	X	-
7	X	X	X	-
8	X	X	X	-
9	X	X	X	-
10	X	X	X	-
11	X	X	X	-
12	X	X	X	-
13	X	X	X	-
14	X	X	X	-
15	X	X	X	-
16	X	X	X	-
Total	14	16	16	0

Fuente: Autores 2019.

Figura 13. Servicios públicos.



Fuente: Autores 2019.

En general la mayoría de las viviendas cuentan con los servicios públicos efectuando el servicio de alcantarillado, ya que la vereda no cuenta con ese sistema. En temas de la red de acueducto cabe resaltar que se abastecen del agua que conducen desde el Río Túa al tanque de almacenamiento y es distribuida sin ningún tratamiento para consume humano.

Pregunta 7: ¿Cuál es el uso principal que le da al agua en su casa?

Tabla 21. Uso principal del agua.

Código	a. Doméstico	b. Agrícola	c. Ganadero	d. Otro
1	X	-	-	-
2	X	-	-	-
3	X	-	-	-
4	X	-	-	-
5	X	-	-	-
6	X	-	-	-
7	X	-	-	-
8	X	-	-	-
9	X	-	-	-
10	X	-	-	-
11	X	-	-	-
12	X	-	-	-
13	X	-	-	-
14	X	-	-	-
15	X	-	-	-
16	X	-	-	-
Total	16	0	0	0

Fuente: Autores 2019.

Figura 14. Uso principal del agua.



Fuente: Autores 2019.

De acuerdo con lo revelado por los informantes se pudo determinar que el agua la usan exclusivamente para el uso doméstico, no la usan ni para la agricultura, ni ganadería. Teniendo en cuenta que algunos tienen cultivos en sus parcelas manifestaban que el agua que usaban para riego la captaban de otro lado y que tenían sus adaptaciones necesarias para ello.

Pregunta 8 ¿En su casa se han presentado enfermedades asociadas al consumo de agua sin tratar?

Tabla 22. Casos de enfermedades por el consumo de agua sin tratar

Código	Si	No
1	X	
2	X	
3	X	
4	X	
5	X	
6	X	
7	X	
8	X	
9	X	
10	X	
11	X	
12	X	
13	X	
14	X	
15	X	
16	X	
Total	16	0

Fuente: Autores 2019.

Todos los informantes manifestaron haber presentado alguna vez un enfermedad asociada al consumo de agua sin tratar, relacionándolo más con enfermedades de tipo intestinales. Pero en general los habitantes manifestaron que se presentan en su mayoría en los niños.

Pregunta 9: ¿El agua que consume tiene olor, color y/o sabor inusual?

Tabla 23. Evidencia del olor, color y/o sabor inusual del agua de consume.

Código	a. Si	b. No	Comentarios
1	X	-	Color
2	X	-	Color
3	X	-	Color
4	X	-	Color
5	X	-	Color. El agua se pone amarillenta
6	X	-	Olor
7	X	-	Color
8	X	-	Color
9	X	-	Olor
10	X	-	Olor.
11	X	-	Color y olor. Huele a hierro y el agua se pone roja.
12	X	-	Color.
13	X	-	Olor
14	X	-	Olor a hierro.
15	X	-	Olor.
16	X	-	Olor.Huele a hierro.
Total	16	0	-

Fuente: Autores 2019.

Todos lo informantes expresarán su descontento con el agua que les llega para consumo diario, porque las condiciones no son muy buenas, ya que presentan color, olor y sabor. Principalmente manifestaban que el color que presentaba era amarillenta y como un olor a hierro.

Pregunta 10: ¿Estan ustedes dispuestos a pagar por una tarifa por el servicio de agua potable?

Tabla 24. Personas de acuerdo con pagar una tarifa por el servicio de agua potable.

Código	a. Si	b. No	Comentarios
1	-	X	Considera que el servicio es costoso
2	X	-	-
3	X	-	-
4	X	-	-
5	X	-	-
6	X	-	-
7	X	-	-
8	X	-	-
9	X	-	-
10	X	-	-
11	X	-	-

Código	a. Si	b. No	Comentarios
12	X	-	-
13	X	-	-
14	X	-	-
15	X	-	-
16	X	-	-
Total	15	1	-

Fuente: Autores 2019.

La mayoría de los entrevistados manifestaron estar de acuerdo con pagar una tarifa por el servicio de agua potable, siempre y cuando sea de buena calidad y continuo y no se quede solo en palabras como lo han hecho con otros servicios. Tan solo una persona estuvo en desacuerdo porque considera que sería un servicio muy costoso y con lo poco que cuenta económicamente no podría pagarlo.

14.1.2. Diagnostico ambiental

Dentro del diagnostico ambiental se presentan los resultados obtenidos para la calidad del agua del río Túa con su respectivo análisis; así como la zonificación del área de estudio que permite contextualizar mejor la información.

14.1.2.1. Resultados de calidad del agua del Río Túa:

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas físico-químicas y microbiológicas del punto donde el centro poblado de Palonegor actualmente esta captando el agua para su suministro. Estos resultados fueron posibles obtener gracias a un informe facilitado por Empresas Públicas de Monterrey S.A E.S. P, quien es la encargada del suministro del agua del municipio de Monterrey a la altura de la cabecera municipal y de algunos centros poblados. Cabe resaltar que este estudio fue realizado el 6 de diciembre del año 2018 por un laboratorio previamente certificado (Anexo 1).

Tabla 25. Informe de resultados.

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica
Alcalinidad	< 10.0	mg CaCO ₃ /L	Volumétrico
Cloruros	< 10.0	mg Cl-/L	Argentométrico
Color Aparente	22,2	UPtCo	Espectrofotométrico
Conductividad Eléctrica	16,9	µsiemens/cm	Electrométrico
DBO5	< 4.0	mg O ₂ /L	Incubación a 5 días - Electrodo de luminiscencia
DQO	< 20.0	mg O ₂ /L	Reflujo Cerrado y Colorimétrico
Dureza Cálcica	< 6.0	mg CaCO ₃ /L	Volumétrico con EDTA
Dureza Total	< 6.0	mg CaCO ₃ /L	Volumétrico con EDTA
Hierro Total	< 0.080	mg Fe/L	Fenantrolina
Manganeso	< 0.080	mg Mn/L	Espectrofotométrico

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica
Nitratos	3,8	mg NO ₃ -/L	Espectrofotométrico
Nitritos	< 0.085	mg NO ₂ -/L	Reactivo Zambelli J. Rodier
Oxígeno Disuelto	7,95	mg O ₂ /L	Electrodo de Luminiscencia
pH	6,23	Unidades de pH	Electrométrico
Sólidos Disueltos Totales	< 20.0	mg/L	Gravimétrico - Secado a 180°C
Temperatura	25,7	°C	Directo
Turbiedad	2,1	NTU	Nefelométrico
Coliformes Totales	59050	NMP/100mL	Sustrato enzimático
Escherichia coli	2000	NMP/100mL	Sustrato enzimático

Fuente: (Empresas Públicas de Monterrey S.A E.S. P, 2018).

Posteriormente se procedió a realizar una comparación con la normativa establecida en la Resolución 2115 de 2007 la cual dicta las especificaciones de los valores máximos permisibles para el agua de consumo humano, datos consolidados en la siguiente tabla 26, donde se pudo identificar que los valores que no se cumplen son: Color aparente, pH, turbiedad, coliformes totales y Escherichia coli:

Tabla 26. Comparación de los parámetros con la Resolución 2115 de 2007.

Parámetro	Resultado	Unidades	Valor máximo aceptable según la norma	¿El parámetro cumple?
Alcalinidad	< 10.0	mg CaCO ₃ /L	200	Cumple
Cloruros	< 10.0	mg Cl-/L	250	Cumple
Color Aparente	22,2	UPtCo	15	No cumple
Conductividad Eléctrica	16,9	µsiemens/cm	1000	Cumple
DBO ₅	< 4.0	mg O ₂ /L	-	-
DQO	< 20.0	mg O ₂ /L	-	-
Dureza Cálrica	< 6.0	mg CaCO ₃ /L	-	-
Dureza Total	< 6.0	mg CaCO ₃ /L	300	Cumple
Hierro Total	< 0.080	mg Fe/L	0,3	Cumple
Manganeso	< 0.080	mg Mn/L	0,1	Cumple
Nitratos	3,8	mg NO ₃ -/L	10	Cumple
Nitritos	< 0.085	mg NO ₂ -/L	0,1	Cumple
Oxígeno Disuelto	7,95	mg O ₂ /L	-	-
pH	6,23	Unidades de pH	Entre 6.5 y 9.0	No cumple
Sólidos Disueltos Totales	< 20.0	mg/L	-	-
Temperatura	25,7	°C	-	-

Parámetro	Resultado	Unidades	Valor máximo aceptable según la norma	¿El parámetro cumple?
Turbiedad	2,1	NTU	2	No cumple
Coliformes Totales	59050	NMP/100mL	< 0.2	No cumple
Escherichia coli	2000	NMP/100mL	<0.2	No cumple

Fuente: Autores 2019 a partir de Empresas Públicas de Monterrey S.A E.S.P.

Seguidamente se realizó el calculo del Indice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano (IRCA), para ello primero se identificó los valores que incumple (tabla 27) teniendo en cuenta la Resolucion 2115 de 2007, del puntaje de riesgo para cada uno de los valores que no cumple, como se observa en la tabla 26 anterior:

Tabla 27. Parametros fisicoquímicos y mmicrobiologicos que inmple el agua captada para consumo según la Res. 2115 de 2007.

Parámetro	Puntaje de Riesgo
Color Aparente	6
pH	1,5
Turbiedad	15
Coliformes Totales	15
Escherichia coli	25
Total	62,5

Fuente: Autores 2019.

Luego de estó, se calculo el IRCA teniendo en cuenta la Ecuación 1 donde se identificó que el nivel de riesgo es *Inviabile Sanitariamente* como se puede ver en la Tabla 28, por lo que se deben tomar acciones pertinentes para el tratamiento del agua de la cual se esta abasteciendo el centro poblado de Palonegro:

Tabla 28. Nivel de riesgo de la calidad del agua proveniente del Río Túa en el secto Palonegro.

P.R No aceptables	P.R Características analizadas	IRCA (%)	Nivel de Riesgo
62,5	72	86,8055556	<i>Inviabile Sanitariamente</i>

Fuente: Autores 2019.

Como análisis en general, el único problema que presenta la calidad del agua con la que se abastece la comunidad es que existe un exceso de E. coli y coliformes totales, valor que puede ser generado por vertimientos domésticos directos aguas arriba o por filtraciones de tanque sépticos defectuosos, lo que se conoce como contaminación fecal del agua (Pajares & Orlando, 2002). Hay autores que

plantean que es normal que en superficies de agua libres existan cantidades abundantes de coliformes y que no necesariamente plantean un riesgo a la salud cuando el agua que se capta para consumo es tratada, sin embargo, se debe tener especial cuidado en las instalaciones de conducción y almacenamiento del agua para evitar la formación de biopelículas en estas estructuras cuando hay condiciones favorables (presencia de nutrientes, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y tiempos largos de almacenamiento) (Allen, 1996). Es por esto por lo que se debe tener cuidado al interpretar el valor del IRCA obtenido, ya que el puntaje de riesgo aumenta considerablemente por la presencia de coliformes fecales y totales, y la norma exige que esta agua sea tratada, pero no necesariamente implica que el riesgo al que se ve expuesta la salud de la comunidad sea proporcional al valor obtenido.

14.1.2.2. Visita técnica

De acuerdo con la visita de campo realizada al centro poblado de palonegro se logró identificar y conocer el estado de la infraestructura con la que cuenta el área de estudio y todo lo relacionado a ello. Se realizó un registro fotográfico de la estructura del lugar donde la comunidad almacena el agua que es captada del Río Túa para luego ser distribuida por la red figura 15.

Figura 15. Estructura de almacenamiento de agua.



Fuente: Autores, 2019.

Con la ayuda del presidente de la junta de acción comunal se realizó las respectivas mediciones de la estructura del tanque de almacenamiento (figura 15) donde se pudo definir que el tanque de almacenamiento es de 4 x 4 metros de ancho y 2 metros de alto que se encuentra a la altura de una estructura de 7,10 metros, en cercanías de la escuela (figura 16).

Figura 16. Estructura de almacenamiento de agua.



Fuente: Autores 2019.

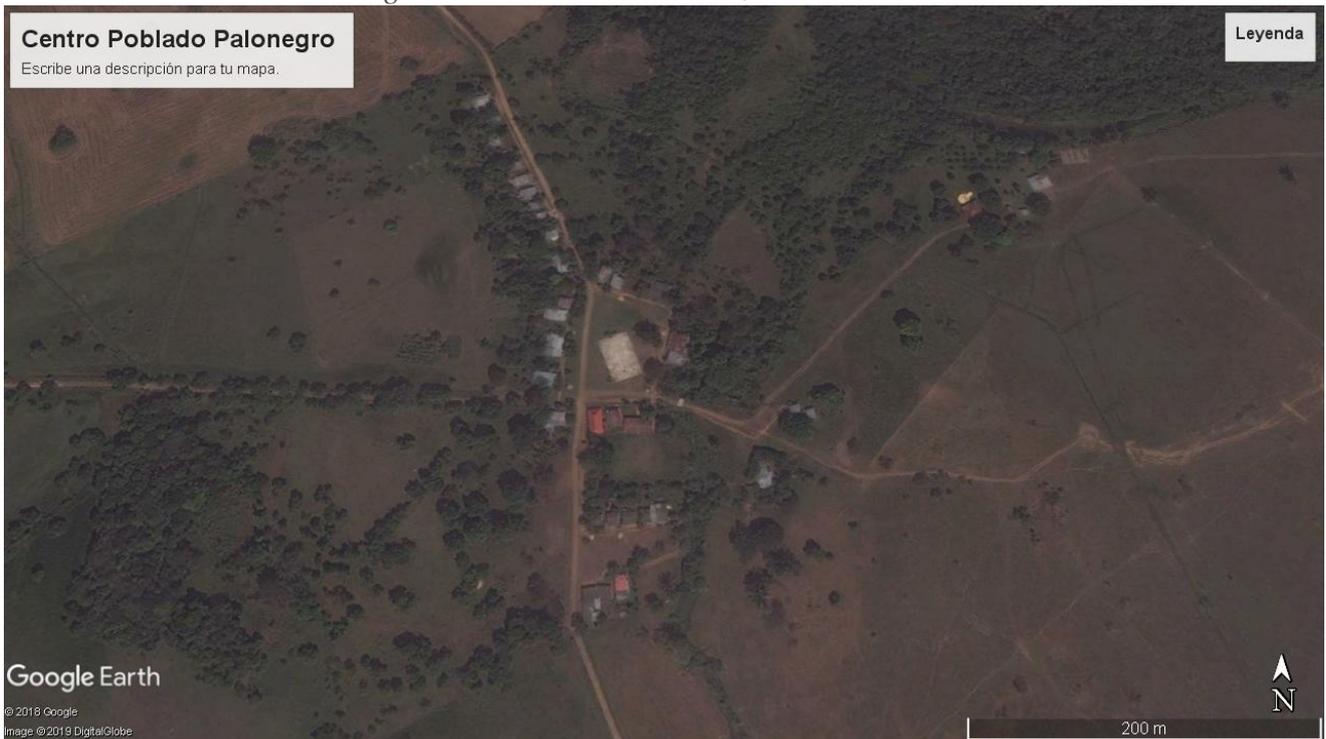
El agua del cual se abastece esa comunidad es captada desde el Río Túa gracias a una motobomba eléctrica con capacidad de 95 GPM (Galones Por Minuto), lo que representa 6 L/s, y que se encarga de llevarla a un tanque de almacenamiento (figura 18). Teniendo en cuenta que este tanque solo recibe la función de almacenamiento porque no cuenta con ningún sistema potabilizador de agua, por lo que el agua es distribuida sin ningún tratamiento adecuado para el consumo domiciliario.

En cuanto al sistema de alcantarillado esta comunidad no cuenta con este servicio, ya que hace más de tres años la planta de tratamiento de agua residual se encuentra colmatada y no le han hecho mantenimiento. Respecto al servicio de energía el 40% de la población cuenta con el servicio y el 35% cuenta con alumbrado público (Proyectos Consultoría, 2018).

14.1.2.3. Zonificación ambiental

Para la zonificación ambiental se realizó a partir del software Google Earth, donde en primera instancia se ubicó el centro poblado de Palonegro como se puede ver en la siguiente figura:

Figura 17. Toma aérea de la zona de estudio.



Fuente: Tomado de Google Earth.

A partir de Google Earth por medio de sus herramientas se pudo identificar la ubicación del tanque de almacenamiento de agua y el centro poblado de Palonegro como se puede ver respresentado en la siguiente figura:

Figura 18. Ubicación del punto de captación y el tanque de almacenamiento.



Adaptado por: Autores 2019 a partir de Google Earth.

Por medio de la tabla de clasificación de la cobertura y el uso de la tierra según el sistema CIAF se identificaron los tipos de coberturas que se encuentran en el centro poblado de Palonegro. Como se puede ver en la siguiente tabla, identificaron los niveles de detalle 1, 2 y 3.

Tabla 29. Clasificación de las coberturas de la zona de estudio.

	Nivel 1 Exploratorio	Nivel 2 Reconocimiento	Nivel 3 Semidetallado
CLASES	1. Construcciones	b. Rural	1- Residencial
			4- Educativo
			5-Recreativo
	2. Cultivos y parcelas	b. Temporales	2- No irrigados
	3. Vegetación Herbácea Descubierta	a. Pastizales naturales	1- Herbáceos
			2. Arbustivos
	4. Bosques y/o Montes	a. Natural	3- Matorral
	5. Cuerpos de agua	a. Superficiales libres	1. Natural
	6. Tierras Eriales	b. Suelo desnudo	2-Erosión natural
			4- Riveras y playas

Adaptado por: Autores 2019.

A continuación, se presenta la zonificación realizada por medio de la herramienta de Google Earth en donde se iluminaron las diferentes categorías identificadas en la tabla 29.

Figura 19. Zonificación del Centro poblado Palonegro.



Fuente: Autores 2019.

Como se pudo observar por medio de la zonificación presentada, la única construcción rural representativa es la del centro poblado Palonegro, aunque existen pequeñas casas en los alrededores que, por cuestiones de resolución de la imagen, no se delimitaron. Esta construcción rural cuenta con equipamientos residenciales, una escuela y una cancha multifuncional. Alrededor del centro poblado hay gran cantidad de zonas de cultivos de arroz, plátano, yuca, y algunas frutas, así como parcelas donde algunas personas crían ganado. Estas parcelas poseen una vegetación compuesta principalmente por pastizales y algunas especies arbustivas, que sirven como alimento para el ganado. En la zona también es posible encontrar relictos de bosque natural de árboles y matorrales que alcanzan hasta los 2 metros de altura. El cuerpo de agua más representativo es el río Túa, el cual presenta algunas playas ubicadas en su ribera producto de un proceso de erosión fluvial.

14.2. Objetivo específico 2. Identificar las unidades de tratamiento necesarias para la potabilización del agua en relación con las características fisicoquímicas del agua y el diagnóstico realizado.

Para realizar la identificación de las unidades de tratamiento necesarias para la potabilización del agua del centro poblado Palonegro, hay que remitirse a los parámetros que no se ajustan a los valores máximos permisibles en decreto 2115 de 2007, los cuales se muestran en la siguiente tabla 30.

Tabla 30. Parámetros físicos y microbiológicos no conformes de acuerdo con lo establecido en el decreto 2115 de 2007.

Parámetro	Resultado	Unidades	Valor máximo aceptable según la norma	¿El parámetro cumple?
Color Aparente	22.2	UPtCo	15	No cumple
pH	6.23	Unidades de pH	Entre 6.5 y 9.0	No cumple
Turbiedad	2.1	NTU	2	No cumple
Coliformes Totales	59050	NMP/100mL	< 0.2	No cumple
Escherichia coli	2000	NMP/100mL	<0.2	No cumple

Fuente: Autores 2019.

Teniendo en cuenta la anterior tabla y lo que plantea el RAS 2017 en el Título 2, Capítulo 3 en su apartado Sección 3, en artículo 109, en relación con las Tecnologías y procesos unitarios de tratamiento; se definieron los procesos que se pueden utilizar para el tratamiento de las características presentadas, como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 31. Tecnologías de tratamiento sugeridas por el RAS 2017 para características no conformes.

Característica que no cumple	Tecnología de tratamiento	Aireación	Coagulación + Flocculación + Sedimentación	Filtración Convencional	Oxidación Química	Microfiltración	Ultrafiltración	Nanofiltración	Filtración por Adsorción	Filtración Optimizada
	Contaminante a remover									
Físicas	Color aparente		X	X	X	X	X	X	X	X
	Olor y Sabor	X			X				X	
	Turbiedad		X	X		X	X			X
Microbiológicas	E. coli			X		X	X			X
	Coliformes totales					X	X			X

Adaptado de: (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Se agregó dentro de la tabla el parámetro de Olor y Sabor, ya que los habitantes del centro poblado Palonegro, al momento de aplicar los cuestionarios durante la visita técnica, manifestaron que el agua,

además de venir con color, tenía un olor y/o sabor extraño; posiblemente originado por partículas suspendidas en el agua o por presencia de microorganismos en la misma (Romero Rojas, 2009).

Es necesario hacer la aclaración de que se pretende que las unidades de tratamiento a utilizar sean totalmente hidráulicas por las condiciones del centro poblado, ya que el tanque de almacenamiento del agua de bombeo se encuentra a 5 metros de altura y, además, utilizar un diseño mecánico implica incurrir en costos adicionales que resultarían innecesarios.

Comparando los valores de los parámetros no conformes de calidad del agua que se le suministra al centro poblado Palonegro, con las posibilidades que brinda el RAS 2017 de tecnologías de tratamiento para dichas características, se puede decir, a grandes rasgos, que los procesos requeridos son coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, la cual será considerada la Opción 1. Teniendo en cuenta que no existe una cantidad significativa de sólidos disueltos en el agua, es posible obviar la sedimentación y pasar directamente de la floculación a la filtración, siempre y cuando la turbiedad y el color no superen las 25 unidades (NTU y UPtCo, respectivamente) (Romero Rojas, 2009). Por la anterior observación, el proceso de potabilización puede consistir de unidades de coagulación, floculación, filtración por medio dual o filtro lento de arena, y tanque de contacto con dosificación de cloro, siendo esta la Opción 2; o pueden consistir de coagulación, filtración por medio dual o lento de arena con adición previa de un polímero no iónico, y un tanque de contacto con dosificación de cloro como una alternativa que presenta (Romero Rojas, 2009), siendo esta la Opción A continuación, se presentan los diagramas de procesos anteriormente mencionados.

Figura 20. Unidades de tratamiento convencional.



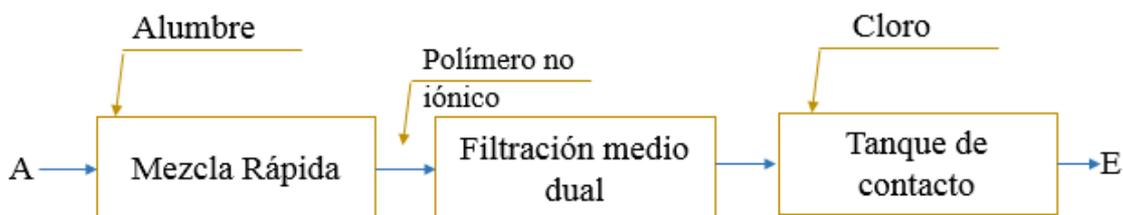
Fuente: (Romero Rojas, 2009).

Figura 21. Unidades de tratamiento de filtración directa.



Fuente: (Romero Rojas, 2009).

Figura 22. Unidades de tratamiento de filtración directa (Variación).



Fuente: (Romero Rojas, 2009).

Opción 1:

Esta opción es considerada por (Romero Rojas, 2009) como una planta de tratamiento convencional, las cuales son ampliamente utilizadas para tratar diferentes volúmenes de agua con diversos grados de contaminación. Por otro lado, (Schulz & Okun, 1998) plantean que se deben utilizar tecnologías que sean fáciles de operar y de realizar mantenimiento por parte de la misma comunidad, por lo que es posible buscar proponer alternativas para los procesos de filtración que presenta el RAS 2017.

Opción 2:

Para esta opción, así como para la Opción 3, se optó por usar un filtro lento de arena, teniendo en cuenta que (Schulz & Okun, 1998) establece que los costos de construcción de estos filtros en países en desarrollo son bajos, las importaciones de material y equipo son insignificantes, y se construyen, operan y mantienen fácilmente.

Opción 3:

En relación con el uso de polímeros no iónicos, (Schulz & Okun, 1998) plantea que no es aconsejable su utilización en comunidades que no posean recursos económicos y humanos abundantes, ya que la gran mayoría de ellos requieren ser importados; tienen un costo muy alto; y su uso debe ser rigurosamente regulado y supervisado por personal capacitado dado que algunos de estos químicos pueden quedar libres en el agua y convertirse en contaminantes.

Dado lo anterior, la opción 2 puede ser la mejor alternativa por requerir la menor cantidad de procesos unitarios al cumplir con la observación que plantea (Romero Rojas, 2009) en relación con la turbiedad y el color; sin embargo, si se llegan a presentar condiciones naturales y/o antrópicas (por ejemplo la llegada de temporada de lluvias o el establecimiento de zonas industriales o productoras aguas arriba) que incrementen la cantidad de sedimentos y contaminantes en el agua, esta alternativa pierde su validez, y se necesitaría un proceso de sedimentación para reducir la presión sobre los filtros. Es por esto que se determinó la Opción 1 como la más favorable para la propuesta de diseño de las unidades de tratamiento, ya que es la que brinda un tratamiento del agua más completo para la comunidad y es más flexible con situaciones en donde la cantidad de sedimentos y contaminantes en el agua puede llegar a aumentar. Se decidió utilizar un filtro lento de arena para el proceso de filtración, y no los tipos de filtración que plantea el RAS 2017, dadas las ventajas que presenta su implementación en comunidades con recursos económicos y técnicos limitados.

14.3. Objetivo específico 3. Realizar el dimensionamiento y esquematización de las unidades de tratamiento requeridas para la potabilización del agua.

A continuación, se muestran todos los resultados necesarios para el cumplimiento de este objetivo como la estimación del caudal de diseño, la determinación de la dotación neta máxima, dotación bruta, caudal medio diario, caudal máximo diario, dimensionamiento y esquematización de las unidades de tratamiento (Tanque auxiliar, Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración, Desinfección y Tanque de almacenamiento), cálculos del material para la construcción de las estructuras necesarias para las unidades de tratamiento y estimación de costos para esas estructuras.

14.3.1. Estimación del caudal de diseño para la comunidad del centro poblado Palonegro

14.3.1.1. Tasa de crecimiento

Antes de realizar los cálculos de dimensionamiento de las unidades de tratamiento, es necesario determinar la población al periodo de diseño para establecer ciertos valores como población de diseño

y caudal de diseño. Como ya se había mencionado anteriormente, no fue posible encontrar una tasa de crecimiento para el centro poblado Palonegro, por lo que se debe calcular por medio de la ecuación 3, utilizando dos datos de población: Uno de 2005 en el documento *Componente General* estructurado por (Concejo Municipal de Monterrey, 2009), que presenta una población de 177 personas; y otra población para 2017 en el *Documento Técnico de Legalización de Asentamientos Humanos* facilitado por la Alcaldía de Monterrey (Proyectos Consultoría, 2018), que censó a 160 personas para ese año. El cálculo para la tasa de crecimiento quedó de la siguiente manera, para el periodo comprendido entre el 2005 y el 2017 (12 años), obteniendo el siguiente resultado.

$$\gamma = \sqrt[12]{\frac{160}{177}} - 1 = -0,00838 \quad (7)$$

En porcentaje, se obtuvo una tasa de crecimiento de -0,838%, lo que quiere decir que la población del centro poblado Palonegro tiende a decrecer con el tiempo.

14.3.1.2. Población para 2019

Teniendo la tasa de crecimiento, se procedió a calcular la población de 2019 a partir del dato de 2017, utilizando la ecuación 2, con el fin de calcular la demanda de agua actual, y proyectar la población al periodo de diseño. La población para 2019 fue la siguiente.

$$Población_{2019} = 160 \text{ habitantes} (1 - 0,00838)^2 = 157,33 \cong 157 \text{ habitantes} \quad (8)$$

14.3.1.3. Población al periodo de diseño

Finalmente, se utiliza la misma ecuación para calcular la población para el periodo de diseño establecido en el RAS del 2017 (25 años), la cual fue:

$$Población \text{ al } 2044 = 157 \text{ habitantes} (1 - 0,00838)^{25} = 127,21 \cong 127 \text{ habitantes} \quad (9)$$

Como se ha podido observar, la población del centro poblado Palonegro tiende a decrecer con el paso del tiempo, así que, si se toma la población para el periodo de diseño, existirá un desabastecimiento de agua para cierta parte de la comunidad, por lo cual, para el proyecto se definió la población del 2019 como la población de diseño, para garantizar el servicio a todas las personas durante el periodo de diseño.

14.3.2. Determinación de la dotación neta máxima, dotación bruta, caudal medio diario, caudal máximo diario.

14.3.2.1. Dotación neta máxima

Como la población de diseño para las unidades de tratamiento es menor a 2.500 habitantes, el RAS del 2017 determina que el nivel de complejidad del sistema es bajo, conforme a lo que se expuso en la tabla 10. Asignación del nivel de complejidad. De igual forma, el RAS establece que la dotación neta máxima para un sistema con nivel de complejidad bajo es de 150 L/hab*día.

14.3.2.2. Dotación bruta

Para el cálculo de la dotación bruta se utilizó la ecuación 4, en donde el porcentaje de pérdidas admisibles del sistema que presenta el RAS 2017 es del 25%, sin embargo, se pretende utilizar tubería biaxial, la cual arroja un porcentaje de pérdidas del 0,2%. La dotación bruta se obtuvo de la siguiente manera:

$$D_{bruta} = 150 \frac{L}{hab * día} / (1 - 0,002) = 150,3 \cong 150 \frac{L}{hab * día} \quad (10)$$

14.3.2.3. Caudal medio diario (q.m.d)

El cálculo del caudal medio diario se hizo tomando la población de diseño y la dotación bruta previamente obtenida, por medio de la ecuación 5, de la que se obtuvo el siguiente valor, en unidades de L/s:

$$q. m. d. = 157 \text{ hab} \times 150 \frac{L}{\text{hab} * \text{día}} = 23550 \frac{L}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86.400 \text{ segundos}} = 0,27 \cong 0,3 \frac{L}{s} \quad (11)$$

14.3.2.4. Caudal máximo diario

El caudal máximo diario para la población de diseño se determinó con la ecuación 6, el cual será el caudal de diseño para las unidades de tratamiento. Según el RAS 2017, el coeficiente de mayoración K_1 para poblaciones de diseño menores a 12.500 habitantes es de 1,2. El caudal máximo diario encontrado fue de:

$$Q. M. D. = 1,2 \times 0,3 \frac{L}{s} = 0,36 \cong 0,4 \frac{L}{s} \rightarrow 0,5 \frac{L}{s} \quad (12)$$

Se tomó la decisión de llevar el caudal de diseño a **0,5 lps** (litro por segundo) para facilitar los cálculos de dimensionamiento sin comprometer la capacidad de abastecimiento de la planta a la comunidad del centro poblado Palonegro.

14.3.3. Dimensionamiento de las unidades de tratamiento

Conforme a lo anteriormente realizados, los procesos de tratamiento para el agua del centro poblado de Palonegro escogidos fueron: Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración, Desinfección, y se dimensionaron estructuras adicionales como un tanque auxiliar con flotador y un vertedero triangular que permita el flujo del caudal requerido hacia el sistema de potabilización, y un tanque de almacenamiento. Por lo tanto, se realizaron los respectivos dimensionamientos para cada unidad de tratamiento teniendo en cuenta los criterios de diseño.

14.3.3.1. Tanque auxiliar y vertedero triangular

Se pensó utilizar tuberías de diferentes diámetros para transportar el agua del tanque inicial a la unidad de coagulación, pero la velocidad con la que sale el agua dada la altura a la que se encuentra el tanque inicial (5 metros) no permite un suministro que se ajuste al caudal de diseño. Con una tubería de diámetro ½" y mayores se transporta agua en exceso, lo que representa pérdidas económicas ya que el agua está siendo bombeada, y con una tubería de ¼" no se transporta suficiente agua para abastecer al sistema de tratamiento. Lo siguiente puede evidenciarse de la siguiente manera:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) \times 5 \text{ m}} = 9,90 \frac{m}{s} \quad (13)$$

Caudal transportado por una tubería de ½" (1,25 cm o 0,0125 m). Se utiliza la fórmula siguiente para determinar el caudal, por medio de la multiplicación entre la velocidad del agua (v) y el área de la tubería (A).

$$Q = v \times A = 9,90 \frac{m}{s} \times \frac{\pi \times (0,0125 \text{ m})^2}{4} = 0,00121 \frac{m^3}{s} \cong 1,21 \frac{L}{s} \quad (14)$$

Caudal transportado por una tubería de ¼" (0,625 cm o 0,00625 m). Aplicando la fórmula anterior, se determinó el caudal que transporta dicha tubería.

$$Q = v \times A = 9,90 \frac{m}{s} \times \frac{\pi \times (0,00625 \text{ m})^2}{4} = 0,000303 \frac{m^3}{s} \cong 0,303 \frac{L}{s} \quad (15)$$

Por otro lado, al realizar el cálculo hidráulico de tuberías con diámetros de ¼” y ½” que permita el paso de 0,5 L/s, se obtuvieron velocidades demasiado altas dentro de las tuberías, como se muestra a continuación:

Diámetro de tuber de ¼” (0,625 cm). Teniendo en cuenta que dentro de la tubería deben pasar 0,5 L/s (que se pueden tomar como 500 cm³/s); se realizó el despeje de la siguiente ecuación para calcular la velocidad dentro de la misma:

$$v \times A = 500 \frac{cm^3}{s} \quad (16)$$

$$v = \frac{A}{500 \frac{cm^3}{s}} = \frac{500 \frac{cm^3}{s}}{\pi \frac{d^2}{4}} = \frac{500 \frac{cm^3}{s}}{\pi \frac{(0,625 cm)^2}{4}} = 1629,7 \frac{cm}{s} \cong 16,3 \frac{m}{s} \quad (17)$$

Diámetro de tuber de ½” (1,25 cm). Se utilizó la misma fórmula anterior para determinar la velocidad dentro del tubo para dicho diámetro.

$$v = \frac{A}{500 \frac{cm^3}{s}} = \frac{500 \frac{cm^3}{s}}{\pi \frac{d^2}{4}} = \frac{500 \frac{cm^3}{s}}{\pi \frac{(1,25 cm)^2}{4}} = 407,44 \frac{cm}{s} \cong 4,07 \frac{m}{s} \quad (18)$$

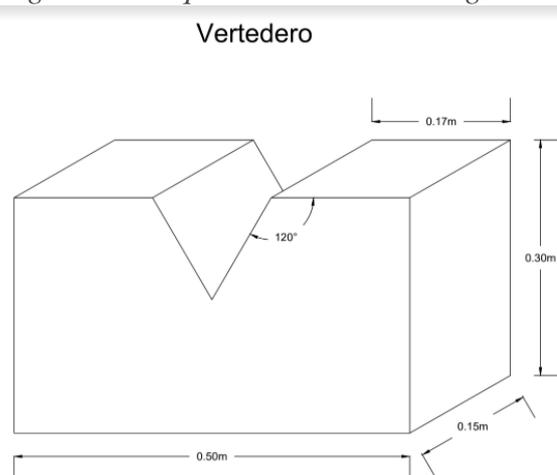
Igualmente, se pensó en poner una válvula que permitiera regular el paso del agua para controlar el paso del caudal por los tubos de diámetros más grandes, sin embargo, no es posible permitir el paso únicamente de los 0,5 L/s que se necesitan por medio de las mismas; por lo que se decidió pasar el agua a un tanque auxiliar con flotador que desborde a un vertedero triangular que garantice la entrega del caudal de diseño a la unidad de coagulación. Se pensó en utilizar un tanque marca Eternit con capacidad de 2m³, de dimensiones de 2 metros de altura, 1 metro de ancho y 1 metro de largo, que ya viene con el flotador, con el fin de no invertir en materiales para su construcción ya que sale más costoso.

Para el diseño del **vertedero triangular**, se tuvo en cuenta lo planteado por (Mott, 2006) en relación con este tipo de estructuras. Los vertederos triangulares poseen la característica de que a su altura de la lámina (H) de agua presentan rebose, por lo que esta estructura es ideal para garantizar un caudal de entrada al coagulador de 0,5 L/s. Para determinar la altura de la lámina de agua (H), se utiliza la siguiente ecuación de diseño para vertederos triangulares con un ángulo de 60°.

$$Q = 1,43H^{5/2} \rightarrow H = \left(\frac{Q}{1,43} \right)^{2/5} = \left(\frac{0,5 \frac{L}{s} \times \frac{1 m^3}{1000 L}}{1,43} \right)^{2/5} = 0,041 m = 4,1 cm \quad (19)$$

Teniendo en cuenta lo anterior, la altura de la lámina de agua en el vertedero triangular debe ser de 4,1 cm para garantizar el paso de 0,5 L/s de agua a la unidad de coagulación.

Figura 23. Esquema vertedero triangular.



Fuente: Autores 2019.

14.3.3.2. Coagulador

De acuerdo con la elección anteriormente descrita en el segundo objetivo de las unidades necesarias para el tratamiento del agua para el centro poblado de Palonegro. A continuación, se describen los cálculos para la *Mezcla rápida en Vertederos Rectangulares*. Para el desarrollo de estos cálculos se tiene en cuenta los siguientes datos de diseño:

Tabla 32. Criterios de diseño para el Coagulador.

Variable	Símbolo	Valor	Descripción
Caudal de diseño	Q	0,0005 m ³ /s	Ecuación 12
Temperatura	T	25,7°C	Anexo 1
Ancho del canal	B	0,1 m	Consideración de los autores
Altura del vertedero	P	0,5 m	-
Gravedad	g	9,8 m/s ²	
Peso específico del agua	γ	9777 N/m ³	Propiedades físicas del agua (Romero Rojas, 2009).
Viscosidad dinámica	μ	0,890 N/m ³	Propiedades físicas del agua (Romero Rojas, 2009).

Fuente: Autores 2019.

Se tiene en cuenta el cálculo para el *caudal por unidad de ancho del vertedero* que está compuesto por el caudal de diseño en m³/s (Q) y el ancho del canal en m (B) (Romero Rojas, 2009):

$$q = \frac{Q}{B} \quad (20)$$

Dando como resultado;

$$q = \frac{0,0005 \text{ m}^3/\text{s}}{0,1 \text{ m}} = 0,005 \frac{\text{m}^3}{\text{s} \times \text{m}} \quad (21)$$

Luego se procede a realizar el cálculo de la *profundidad crítica de flujo* h_c , donde q es el caudal de diseño y g es la gravedad (Romero Rojas, 2009):

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3} \quad (22)$$

Dando como resultado;

$$h_c = \left(\frac{(0,005 \frac{m^2}{s})^2}{9,8 \text{ m/s}^2} \right)^{1/3} = 0,0136 \text{ m} \cong 0,014 \quad (23)$$

Para hallar el valor de la distancia L_m e tuvo en cuenta la siguiente ecuación donde P es la altura del vertedero y h_c la profundidad crítica del flujo:

$$L_m = 4,3 P^{0,1} h_c^{0,9} \quad (24)$$

Dando como resultado;

$$L_m = 4,3 (0,5 \text{ m})^{0,1} (0,014 \text{ m})^{0,9} = 0,086 \text{ m} \quad (25)$$

Para halla la profundidad antes del resalto h_1 , teniendo en cuenta P y h_c anteriormente descritos;

$$h_1 = \frac{h_c \times \sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c}} + 1,5} \quad (26)$$

Dando como resultado h_1 ;

$$h_1 = \frac{0,014 \times \sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{0,5 \text{ m}}{0,014 \text{ m}}} + 1,5} = 0,003 \text{ m} \quad (27)$$

Para el cálculo de la Velocidad antes del resalto V_1 , se tiene en cuenta q y h_1 :

$$V_1 = \frac{q}{h_1} \quad (28)$$

Donde se obtuvo como resultado;

$$V_1 = \frac{0,005 \text{ m}^2/\text{s}}{0,003 \text{ m}} = 1,7 \text{ m/s} \quad (29)$$

Para poder hallar la profundidad después del resalto se debe tener primero el valor de F_1 número de Froude:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \times h_1}} \quad (30)$$

Dando como resultado;

$$F_1 = \frac{1,7 \text{ m/s}}{\sqrt{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,003 \text{ m}}} = 9,92 \cong 10 \quad (31)$$

Luego se realizó el cálculo para halla la profundidad después del resalto h_2 , donde se tiene en cuenta h_1 y F_1 :

$$h_2 = \frac{h_1 \times \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1}{2} \quad (32)$$

Donde se tuvo como resultado:

$$h_2 = \frac{0,003 \text{ m} \times \sqrt{1 + 8(10)^2} - 1}{2} = 0,04 \text{ m} \quad (33)$$

Para el cálculo de la *Velocidad antes del resalto* V_2 , se tiene en cuenta q y h_2 :

$$V_2 = \frac{q}{h_2} \quad (34)$$

Donde se obtuvo como resultado;

$$V_2 = \frac{0,005 \text{ m}^2/\text{s}}{0,04 \text{ m}} = 0,13 \text{ m/s} \quad (35)$$

Para halla el valor de la *perdida de energía en el resalto* h , calculada por medio de la fórmula de Belanger;

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 \times h_1 \times h_2} \quad (36)$$

Dando como resultado:

$$h = \frac{(0,04 \text{ m} - 0,003 \text{ m})^3}{4(0,003 \text{ m})(0,04 \text{ m})} = 0,11 \text{ m} \quad (37)$$

Para hallar la *longitud del resalto*, L_j para resalto estable, se calcula por la fórmula de Smetana:

$$L_j = 6(h_2 - h_1) \quad (38)$$

Donde dio como resultado;

$$L_j = 6(0,04 \text{ m} - 0,003 \text{ m}) = 0,22 \text{ m} \quad (39)$$

La *velocidad media en el resalto* V_m , se halló para luego determinar el valor del tiempo de mezcla t (Romero Rojas, 2009);

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (40)$$

Dando como resultado;

$$V_m = \frac{1,7 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,13 \text{ m/s}}{2} = 0,92 \text{ m/s} \quad (41)$$

El *tiempo de mezcla* t se calculó de la siguiente manera (Romero Rojas, 2009):

$$t = \frac{L_j}{V_m} \quad (42)$$

Dando como resultado;

$$t = \frac{0,22 \text{ m}}{0,92 \text{ m/s}} = 0,24 \text{ s} \quad (43)$$

Por último, se halló el *gradiente de velocidad* por medio de la ecuación convencional (Romero Rojas, 2009):

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t}} \quad (44)$$

Dando como resultado;

$$G = \sqrt{\frac{9777 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 0,11 \text{ m}}{0,890 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 0,24 \text{ s}}} = 70,95 \text{ s}^{-1} \quad (45)$$

A continuación, se presenta la siguiente tabla 33 con la compilación de los resultados obtenidos teniendo en cuenta los criterios de diseño:

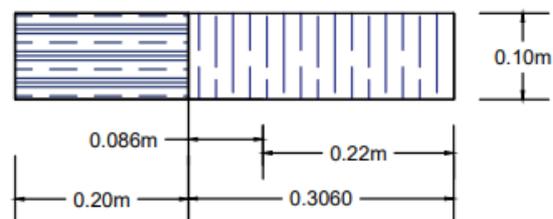
Tabla 33. Consolidación de resultados para el diseño del Coagulador.

Variable	Símbolo	Resultado
Caudal por unidad de ancho del vertedero	q	0,005 m ³ /s x m
Profundidad crítica de flujo	h_c	0,014 m
Distancia	L_m	0,086 m
Profundidad antes del resalto 1	h_1	0,003 m
Velocidad antes del resalto 1	v_1	1,7 m/s
Profundidad después del resalto	F_1	10
profundidad después del resalto 2	h_2	0,04 m
Velocidad antes del resalto 2	V_2	0,13 m/s
Perdidas de energía en el resalto	h	0,11 m
Longitud del resalto	L_j	0,22 m
Velocidad media en el resalto	V_m	0,92 m/s
Tiempo de mezcla	t	0,24 s
Gradiente de velocidad	G	70,95 s ⁻¹

Fuente: Autores 2019.

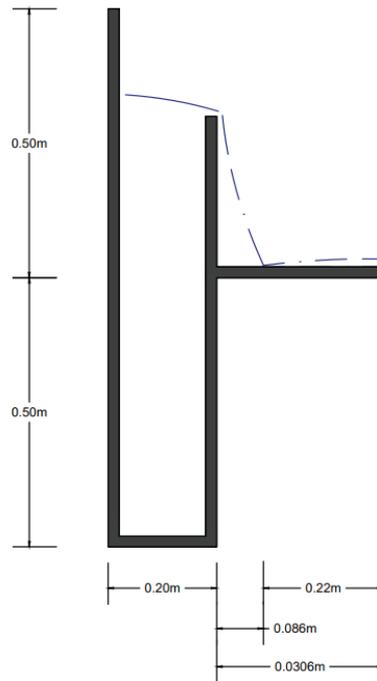
A continuación, se presentan los esquemas para la unidad del coagulador.

Figure 24. Esquema Coagulador vista planta.



Fuente: Autores 2019.

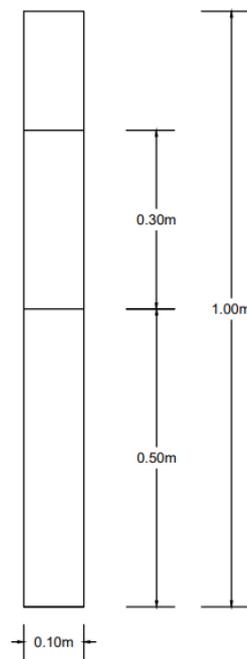
Figure 25. Esquema coagulador vista frontal.



Fuente: Autores 2019.

Figure 26. Esuqema coagulador corte lateral.

CORTE LATERAL



Fuente: Autores 2019.

14.3.3.3. Floculación

A continuación, se presentan los cálculos con sus respectivos criterios de diseño para el *floculador flujo horizontal* según (Romero Rojas, 2009):

Tabla 34. Criterios de diseño para floculador.

Variable	Símbolo	Valor	Referencia
Caudal de diseño	Q	0,0005 m ³ /s	Ecuación 12
Velocidad del flujo	v	0,20 m/s	Según Insfopal (Romero Rojas, 2009).
Tiempo de retención	θ	1200 s	
Largo del tabique	Lp	1,5 m	
Altura del tabique	hp	0,6 m	
Espesor del tabique	Esp	0,005 m	
Coefficiente de rugosidad	n	0,0015	
Gradiente de velocidad	G	80 s ⁻¹	
Viscosidad dinámica	μ	0,890 N/m ³	Propiedades físicas del agua (Romero Rojas, 2009).
Densidad del agua	ρ	997,048	
Borde libre	Bl	0,2 m	Asumido
Gravedad	g	9,8 m/s ²	-
Coefficiente para canales	C	30	(Sánchez Montenegro, 1970)

Fuente: Autores 2019.

Para hallar la *capacidad del tanque* V se utilizó la siguiente formula:

$$V = Q \times \theta \quad (46)$$

Teniendo en cuenta la tabla_ donde se encuentran los criterios de diseño, se obtuvo que la capacidad del tanque es;

$$V = 0,0005 \frac{m^3}{s} \times 1200s = 0,6 m^3 \quad (47)$$

Para la *longitud del recorrido del agua* L se determinó a partir de;

$$L = v \times \theta \quad (48)$$

Donde se obtuvo como resultado;

$$L = 0,2 \frac{m}{s} \times 1200 s = 240 m \quad (49)$$

Para la *altura de lámina de agua* h_{La} se determino por medio de;

$$h_{La} = h_p - 0,10 m \quad (50)$$

Donde dio como resultado;

$$h_{La} = 0,6 m - 0,10 m = 0,5 m \quad (51)$$

Teniendo en cuenta que se tomó una separación entre tabiques de **S=0,10 m**. Para los valores de E se toman entre 1 y 1,5 por lo tanto se tomó **E= 1,2**. Para el cálculo de *área transversal entre tabiques* se utilizó la altura de la lámina de agua y la distancia de separación entre tabiques de la siguiente manera:

$$a_T = h_{La} \times S \quad (52)$$

Donde se obtuvo el valor de a_T ;

$$a_T = 0,5 m \times 0,1 m = 0,05 m^2 \quad (53)$$

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

Siendo esto coherente ya que si relacionamos esta área transversal con el caudal de diseño se obtiene el volumen de diseño en una lámina de agua de 1 cm de grosor.

Para hallar la *separación del extremo del tanque y la placa* se usó;

$$M = E \times S \quad (54)$$

Donde se tuvo como resultado;

$$M = 1,2 \times 0,10 \text{ m} = 0,12 \text{ m} \quad (55)$$

Para hallar el Número de tabiques N , primero se halló *el ancho del canal* y N' de la siguiente manera;

$$\text{Ancho del canal} = L_p + M \quad (56)$$

Donde se obtuvo como resultado;

$$\text{Ancho del canal} = 1,5 \text{ m} + 0,12 \text{ m} = 1,62 \text{ m} \quad (57)$$

Luego se halló N' ;

$$N' = \frac{L}{\text{ancho del canal principal}} \quad (58)$$

Donde se obtuvo como resultado;

$$N' = \frac{240 \text{ m}}{1,62 \text{ m}} = 148,1 \quad (59)$$

Ya realizando lo anterior se pudo hallar *Numero de tabiques* N ;

$$N = N' - 1 \quad (60)$$

Donde se obtuvo como resultado;

$$N = 148,1 - 1 = 147,1 \cong 147 \quad (61)$$

Para hallar la *Longitud del Canal* L_c , se realizó;

$$L_c = (N \times Esp) + (N - 1) \times S \quad (62)$$

Donde se obtuvo;

$$L_c = (147,1 \times 0,005 \text{ m}) + (147,1 - 1) \times 0,10 \text{ m} = 15,4 \text{ m} \quad (63)$$

Para hallar las pérdidas por fricción h_f primero se calculó el *perímetro mojado* y luego *el radio hidráulico*:

$$Pm = 2(hp) + h_{La} \quad (64)$$

Dando como resultado;

$$Pm = 2(0,6 \text{ m}) + 0,5 \text{ m} = 1,7 \text{ m} \quad (65)$$

Luego se halló el *radio hidráulico* de la siguiente manera;

$$R = \frac{a_T}{Pm} \quad (66)$$

Dando como resultado;

$$R = \frac{0,05 \text{ m}^2}{1,7 \text{ m}} = 0,3 \text{ m} \quad (67)$$

Para las *pérdidas de carga* se utilizó la siguiente fórmula:

$$S = \frac{v}{C^2 \times R} \quad (68)$$

Dando como resultado:

$$S = \frac{0,2 \text{ m/s}}{(30)^2 \times 0,3 \text{ m}} = 0,0007 \text{ m} \quad (69)$$

Posterior se realizó el cálculo para las *pérdidas por fricción* h_f de la siguiente forma;

$$h_f = \frac{n \times v^2}{R^{2/3}} \times L \quad (70)$$

Dando como resultado;

$$h_f = \frac{0,0015 \times (0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{(0,3 \text{ m})^{2/3}} \times 240 \text{ m} = 0,03 \text{ m} \quad (71)$$

Para el hallar las *pérdidas por curvas* h_{fc} se realizó:

$$h_{fc} = k \frac{v^2}{2 \times g} \times N \quad (72)$$

Donde K es un coeficiente que depende de la relación entre el ancho del canal y el ancho de la vuelta y se calcula:

$$K = 0,124 + 3,104 \left(\frac{P}{a}\right)^{3,5} \quad (73)$$

Entonces:

$$K = 0,124 + 3,104 \left(\frac{0,1 \text{ m}}{0,12 \text{ m}}\right)^{3,5} = 1,76 \quad (74)$$

Dando como resultado h_{fc} :

$$h_{fc} = 1,76 \times \frac{(0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} \times 147 = 0,44 \text{ m} \quad (75)$$

Lo anterior, para el cálculo de *pérdidas totales* h_{fT} se realizó;

$$h_{fT} = h_f + h_{fc} \quad (76)$$

Dando como resultado;

$$h_{fT} = 0,03 \text{ m} + 0,44 \text{ m} = 0,47 \text{ m} \quad (77)$$

Luego de realizar los respectivos cálculos, se procedió a realizar la siguiente tabla 35 con el fin de consolidar los resultados para el dimensionamiento de la unidad de tratamiento;

Tabla 35. Consolidación de resultados para el diseño del Floculador flujo horizontal.

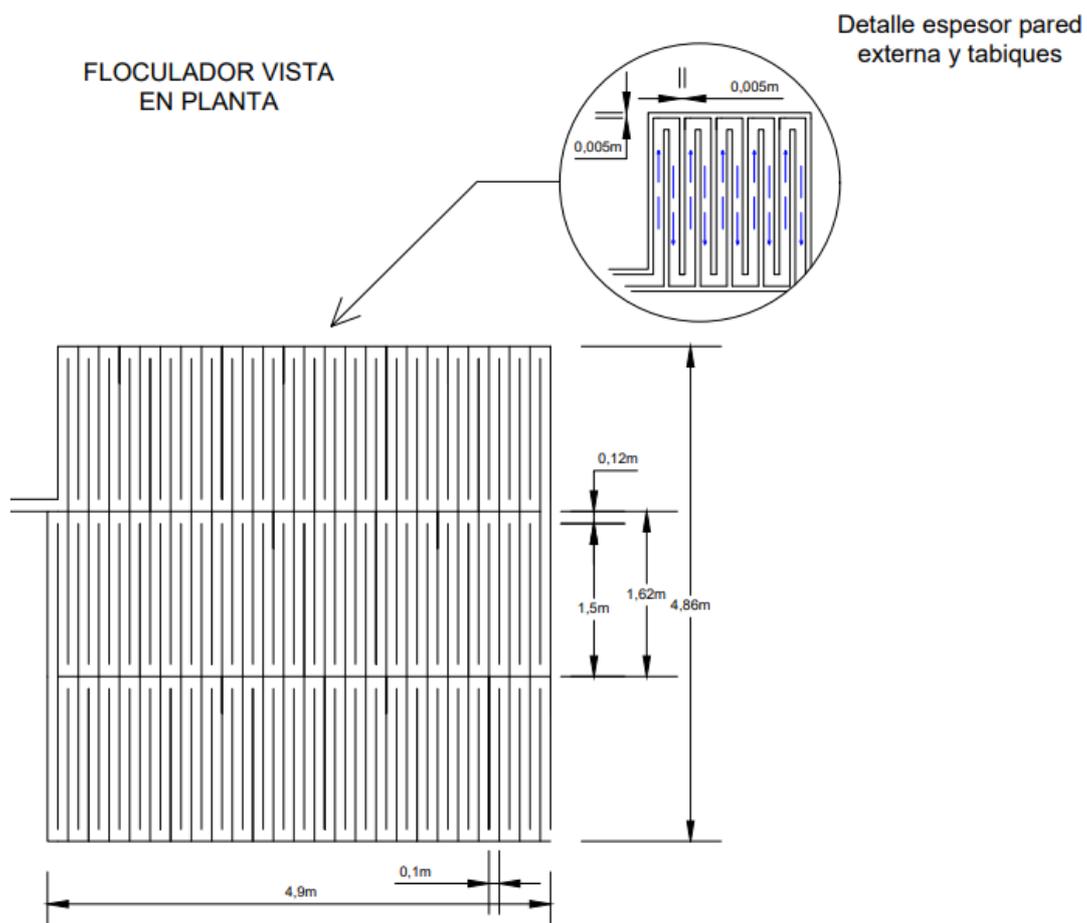
Variable	Símbolo	Resultado
Capacidad del tanque	V	0,6 m ³
Longitud del recorrido del agua	L	240 m
Área transversal entre tabiques	a_T	0,05 m ²

Variable	Símbolo	Resultado
Altura de lámina de agua	h_{La}	0,5 m
Coefficiente Separación entre tabiques	S	0,10 m
Separación del extremo del tanque y la placa	M	0,12 m
Ancho del canal	-	1,62 m
Número de tabiques	N	147
Longitud del canal	L_c	15,4 m
Perímetro mojado	Pm	1,7 m
Radio hidráulico	R	0,03 m
Pérdidas de carga	S	0,0007 m
Pérdidas por fricción	h_f	0,03 m
Pérdidas por curvas	h_{fc}	0,44 m
Pérdidas totales	h_{fT}	0,47 m

Fuente: Autores 2019.

Para efectos del diseño se decidió realizar 3 compartimientos de 49 tabiques cada uno (5 m de largo), conservando las dimensiones de ancho para cada uno.

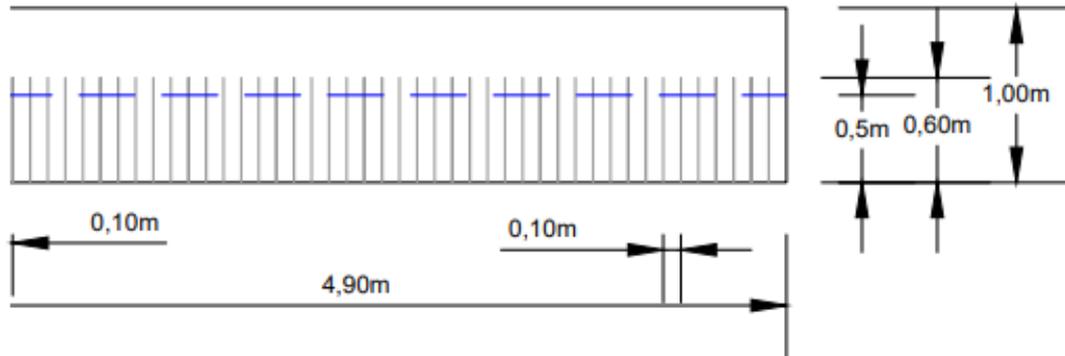
Figura 27. Esquema floculador vista en planta.



Fuente: Autores 2019.

Figura 28. Esquema Floculador horizontal en corte frontal.

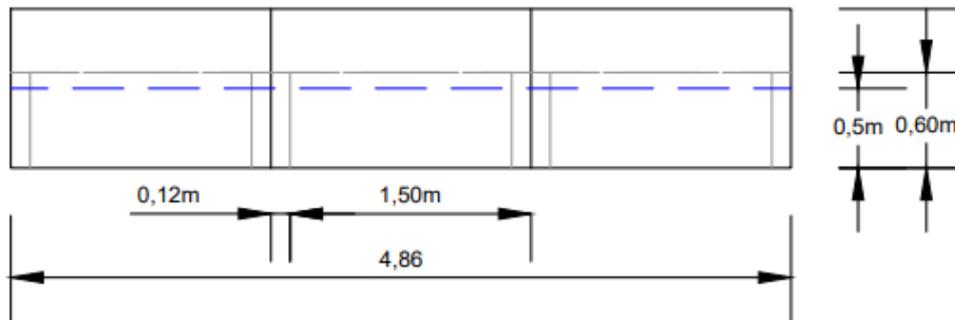
FLOCULADOR CORTE FRONTAL



Fuente: Autores 2019.

Figura 29. Esquema floculador horizontal corte lateral.

FLOCULADOR CORTE LATERAL



Fuente: Autores 2019.

14.3.3.4. Sedimentador

Para el dimensionamiento de las unidades para el proceso de sedimentación, fue necesario establecer ciertos criterios de diseño, como se muestran a continuación.

Tabla 36. Criterios de diseño para el sedimentador.

Variable	Símbolo	Valor	Descripción
Caudal de diseño	Q	0,0005 m ³ /s	Ecuación 12
Temperatura	T	25,7°C	Anexo 1
Carga superficial	CS	20 m/d	Según el RAS 2017
Velocidad de asentamiento	-	0,25 mm/s	Según (Sánchez Montenegro, 1970)
Tiempo de retención	t	2,5 horas	
Relación Longitud / Ancho	-	4:1 a 8:1	Según (Romero Rojas, 2009)

Variable	Símbolo	Valor	Descripción
Relación Longitud / Profundidad	-	5:1 a 25:1	
Volumen de seguridad o Borde Libre	BL	0,25 m	Según (Sánchez Montenegro, 1970)
Pendiente del fondo	θ	$> 2\% \rightarrow > 1,15^\circ$; se utiliza una pendiente de 5° .	Según (Romero Rojas, 2009)

Fuente: Autores 2019.

Inicialmente, se calculó el *área de la unidad de sedimentación* A por medio de la siguiente ecuación, en donde el caudal (Q) se encuentra en unidades de m^3/d y la carga superficial (CS) es la que se presentó en la tabla anterior; para lo que se tuvo un resultado.

$$A = \frac{Q}{CS} = \frac{0,0005 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1 d}}{20 \frac{m}{d}} = 2,16 m^2 \cong 2,2 m^2 \quad (78)$$

Teniendo en cuenta las relaciones Longitud / Ancho y Longitud / Profundidad que plantea (Romero Rojas, 2009) para el dimensionamiento de un sedimentador convencional, se plantearon las siguientes relaciones matemáticas para determinar los valores de *Longitud (L)*, *Ancho (b)* y *Profundidad (h)*; los cuales fueron 3,2 m; 0,8 m; y 0,85 m respectivamente, teniendo en cuenta que al valor obtenido de profundidad se le adicionó el borde libre.

$$\frac{b}{L} = \frac{1}{4} \rightarrow L = 4b \quad (79)$$

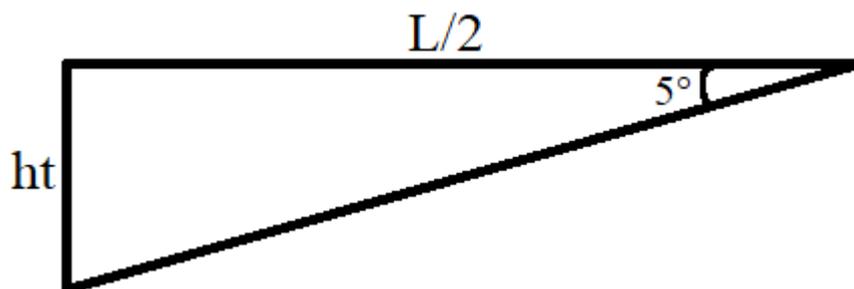
$$A = b \times L = b \times 4b = 4b^2 \rightarrow b = \frac{\sqrt{A}}{2} = \frac{\sqrt{2,2 m^2}}{2} = 0,75 m \cong 0,8 m \quad (80)$$

$$L = 4(0,8 m) = 3,2 m \quad (81)$$

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{5} \rightarrow h = \frac{L}{5} = \frac{3,2 m}{5} = 0,6 m \quad (82)$$

Para el dimensionamiento de la tolva de lodos del sedimentador, se tomó un ángulo de inclinación de 5° , el cual cumple con el parámetro expuesto por (Romero Rojas, 2009), y se calculó la *profundidad de la tolva (ht)* utilizando la tangente del ángulo para el triángulo de referencia presentado a continuación; cuyo resultado fue de 0,15m.

Figura 30. Triángulo de referencia para el cálculo de la profundidad de la tolva.



Fuente: Autores 2019.

$$\tan(5^\circ) = \frac{ht}{\frac{L}{2}} \rightarrow ht = \frac{L}{2} \tan(5^\circ) = \left(\frac{3,2}{2}\right) \tan(5^\circ) = 0,139 \text{ m} \cong 15 \text{ cm} \quad (83)$$

A continuación, se presenta una tabla a manera de consolidación de los datos de dimensionamiento para la unidad de sedimentación.

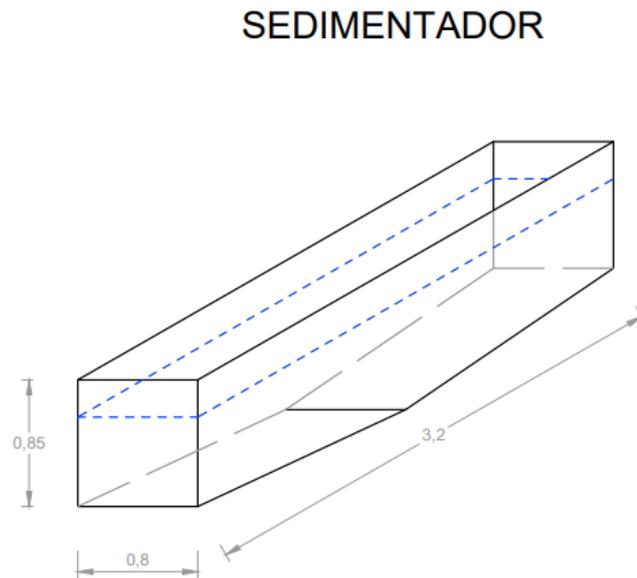
Tabla 37. Consolidación de resultados para el diseño del Sedimentador.

Variable	Símbolo	Resultado
Longitud del sedimentador	L	3,2 m
Profundidad del sedimentador	h	0,85 m
Ancho del sedimentador	b	0,8 m
Profundidad de la tolva de lodos	ht	0,15 m

Fuente: Autores 2019.

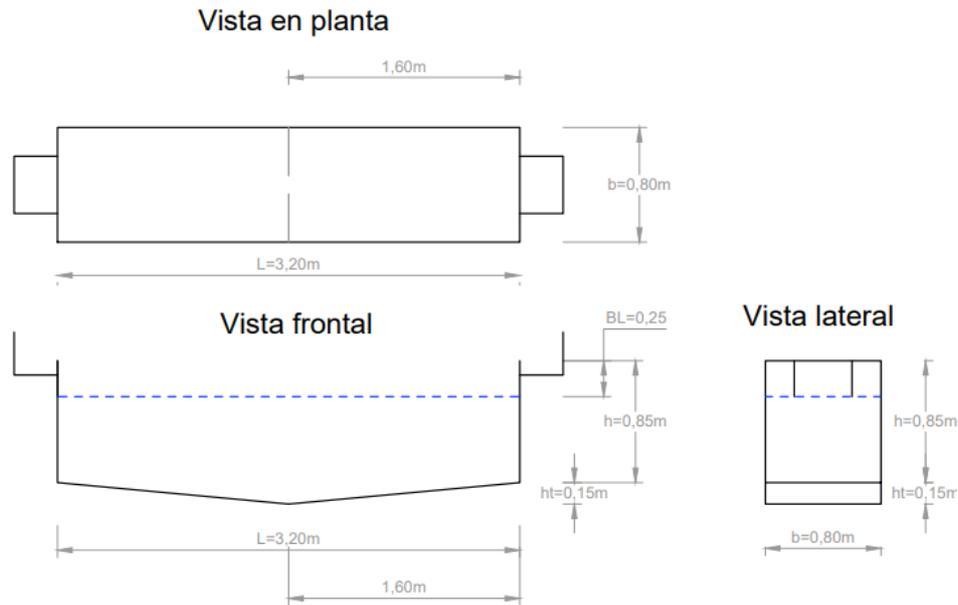
A continuación, se presentan los esquemas de la unidad de sedimentación:

Figura 31. Esquema unidad sedimentación.



Fuente: Autores 2019.

Figura 32. Esquema vista en planta, frontal y lateral del sedimentador.



Fuente: Autores 2019.

14.3.3.5. Filtración

Para este tratamiento es importante tener en cuenta que se decidió diseñar un *Filtro Lento de Arena* teniendo en cuenta las condiciones topográficas del lugar y la utilidad para plantas pequeñas, teniendo en cuenta que este filtro permite oxidar materia orgánica y remover posibles olores y sabores del agua, gracias a su actividad biológica. Además de que es de fácil manejo para poblaciones rurales, ya que si se implementara un Filtro Rápido muy seguramente no se podría contar con la capacidad técnica para su manejo (Romero Rojas, 2009).

A continuación, se presentan los criterios de diseño para filtros lentos;

Tabla 38. Criterios de diseño para filtros lentos de arena.

Variable	Símbolo	Valor	Referencia
Caudal de diseño	Q	$0,0005 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 43,2 \text{ m}^3/\text{d}$	Ecuación 12
Velocidad baja de filtración	CS	$7 \text{ m/d} \rightarrow 0,000081 \text{ m/s}$	RAS 2000
Lecho de arena	h La	0,8 m	Según Insfopal (Romero Rojas, 2009).
Soporte en grava	h Sa	0,3 m	
Agua sobrenadante	h As	1 m	
Sistema de drenaje	h Sd	0,1 m	
Borde libre	h BL	0,2 m	
Diámetro de partícula de la arena	Da	0,35 mm	
Coefficiente de uniformidad	-	2	Según (Romero Rojas, 2009) y (Schulz & Okun, 1998).
Diámetro de partícula de la grava	Dg	1,5mm	
Porosidad lecho arena	-	0,45	
Viscosidad cinemática	-	$893000 \text{ m}^2/\text{s}$	

En primera instancia, se calculó el *área superficial* A_f , donde se dividió el caudal a la mitad dado que según (Romero Rojas, 2009) se deben tener dos unidades de filtración de la siguiente manera;

$$A_f = \frac{Q}{CS} \quad (84)$$

Dando como resultado:

$$A_f = \frac{21,6 \text{ m}^3/d}{7 \text{ m}/d} = 3,1 \text{ m}^2 \quad (85)$$

Para el diseño de filtro no es necesario seguir un parámetro de dimensiones, por lo tanto, se asumió 1,5 m de largo por 1,8 m de ancho, para mayor facilidad. Para hallar la profundidad del filtro se tuvo en cuenta el lecho filtrante, la altura del lecho de grava, la altura del sistema de drenaje y el borde libre, teniendo en cuenta eso se calcula la profundidad total del filtro:

$$\text{Profundidad Total} = h La + h Lg + h As + h Sd + h Bl \quad (86)$$

Donde se obtuvo de la *profundidad total del filtro*;

$$\text{Profundidad Total} = 0,8 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 1 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,2 \text{ m} = 2,4 \text{ m} \quad (87)$$

Entonces las dimensiones para la unidad filtrante serán de largo= 1,5 m, Ancho= 1,8 m y a una profundidad= 2,4 m. Teniendo en cuenta lo anterior, se procedió a realizar el cálculo del *Volumen de la arena* utilizando la altura de la capa lecho de arena y las dimensiones del filtro:

$$V = h La \times \text{Ancho tanque} \times \text{largo tanque} \quad (88)$$

Donde se obtuvo como resultado:

$$V = 0,8 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} = 2,15 \text{ m}^3 \quad (89)$$

Y para el *Volumen de la grava* se realizó el mismo procedimiento, donde se obtuvo como resultado:

$$V = 0,3 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} = 0,81 \text{ m}^3 \quad (90)$$

Seguidamente se realizó el sistema de drenaje que estará compuesta por una red de tuberías: tubería lateral y tuberías perforadas. De acuerdo con las especificaciones de diseño para tuberías de filtros según (Romero Rojas, 2009), la velocidad en tuberías perforadas es de 0,3 m/s, por lo tanto, se procedió a realizar el cálculo para el área de la tubería y el diámetro necesario.

Para el *área de la tubería* se obtuvo por medio de:

$$A = \frac{Q}{V} \quad (91)$$

Dando como resultado:

$$A = \frac{0,0005 \text{ m}^3/s}{0,3 \text{ m}/s} = 0,00017 \text{ m}^2 \quad (92)$$

Luego para hallar el *diámetro de la tubería* se tuvo en cuenta la siguiente formula que fue despejada del área de un círculo:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (93)$$

Donde se obtuvo como resultado:

$$D = \sqrt{\frac{4(0,00017 \text{ m}^2)}{\pi}} = 0,046 \text{ m} \cong 0,05 \text{ m} \quad (94)$$

Realizando la conversión de m^2 a pulgadas se obtuvo como resultado:

$$0,05 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \times \frac{1''}{2,54 \text{ cm}} = 1,96'' \cong 2'' \quad (95)$$

Pero según (Romero Rojas, 2009), el diámetro de una tubería cuando es igual a 2'' se debe tomar un **diámetro de 3''**, por lo tanto, se tomó ese criterio para el diseño.

Posteriormente se procedió a realizar el cálculo del *número de laterales* se tuvo en cuenta los criterios que establece Romero, especifica que el espaciamiento entre laterales debe ser entre 1 m y 2 m, por lo tanto, se decidió tomar 1 m:

$$\text{Número de laterales} = \frac{L}{X_{lat}} \quad (96)$$

Donde se obtuvo:

$$\text{Número de laterales} = \frac{2 \text{ m}}{1 \text{ m}} = 2 \text{ Laterales} \quad (97)$$

Luego para establecer la *longitud de laterales (l)* se tuvo en cuenta la siguiente formula:

$$l = \text{longitud tanque} - \text{diámetro tubería} \quad (98)$$

Dando como resultado:

$$l = 2 \text{ m} - 0,05 \text{ m} = 1,95 \text{ m} \quad (99)$$

Luego este resultado se debe dividir en 2, puesto que los laterales deben estar al lado y lado de la tubería principal:

$$l = \frac{1,95 \text{ m}}{2} = 0,98 \text{ m} \quad (100)$$

Seguidamente se procede a calcular el *número de agujeros* teniendo en cuenta las especificaciones según (Romero Rojas, 2009), que el diámetro de los orificios D_{ag} debe estar entre 2 y 4 mm se tomó entonces 2 mm y que la distancia X_{ag} entre estos debe estar entre 0,1 y 0,3 m, por lo tanto se tomó 25 cm, teniendo en cuenta la siguiente ecuación.

$$\text{Número de agujeros} = \frac{l}{D_{ag} + X_{ag}} \quad (101)$$

Dando como resultado:

$$\text{Número de agujeros} = \frac{0,98}{0,002 \text{ m} + 0,25 \text{ m}} = 3,9 \text{ agujeros} \cong 4 \text{ agujeros} \quad (102)$$

Para el cálculo de las *pérdidas por fricción* dentro del tubo se realizó a partir de la siguiente ecuación teniendo en cuenta el coeficiente de Hazen-Williams para tuberías de PVC $C=140$ y teniendo que el diámetro es de 3'':

$$H_L = L \times \left(\frac{3,59 \times Q}{C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \quad (103)$$

Dando como resultado:

$$H_L = 0,98 \text{ m} \times \left(\frac{3,59 \times 0,0005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{140 \times (0,05 \text{ m})^{2,63}} \right)^{1,85} = 0,0018 \text{ m} \quad (104)$$

A continuación, se presenta la tabla con el consolidado de dimensiones para el diseño del tanque de filtración.

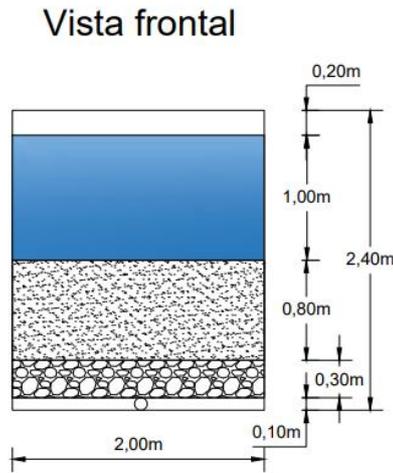
Tabla 39. Consolidación de resultados para el diseño del tanque de filtración.

Variable	Símbolo	Resultado
Altura total del tanque	H	2,4 m
Lecho de arena	h La	0,8 m
Soporte en grava	h Sa	0,3 m
Agua sobrenadante	h As	1 m
Borde libre	h Bl	0,2 m
Sistema de drenaje	h Sd	0,1 m
Largo del tanque	L	3 m
Ancho del tanque	a	2 m
Diámetro de tubería	-	3"
Número de laterales	-	2
Longitud de laterales	-	0,98 m
Diámetro de orificios	D_{ag}	2 mm
Distancia entre orificios	X_{ag}	0,25 m
Número de orificios	-	4

Fuente: Autores 2019.

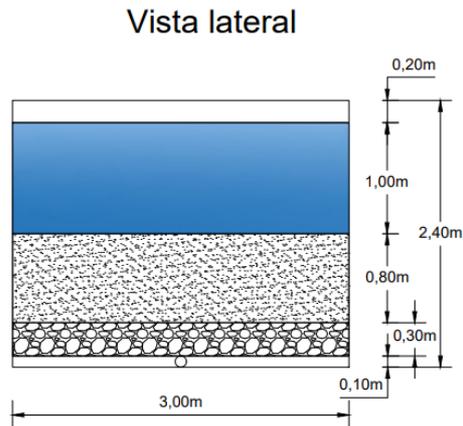
A continuación, se presentarán los esquemas de la unidad filtro lento de arena.

Figura 33. Esquema Filtro vista frontal.



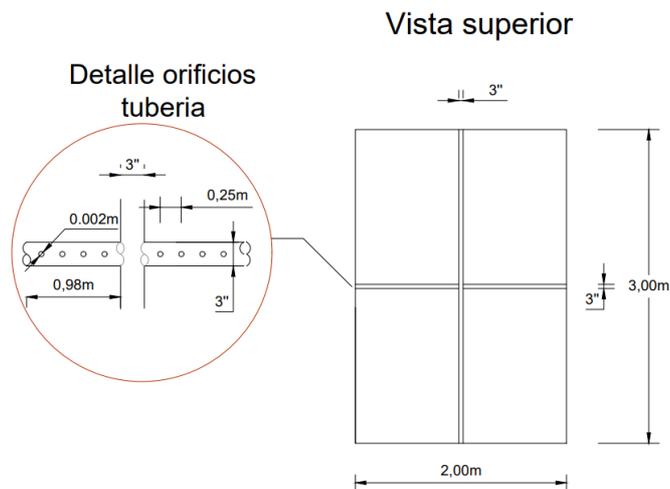
Fuente: Autores 2019.

Figura 34. Esquema filtro vista lateral.



Fuente: Autores 2019.

Figura 35. Esquema filtro vista superior.



Fuente: Autores 2019.

14.3.3.6. Tanque para bombeo

Luego de que el agua haya sido tratada en las anteriores unidades es necesario que, antes de subir al tanque de almacenamiento final, se recoja el agua en un tanque para luego ser bombeado al tanque de almacenamiento final. Por lo tanto, se estableció un tanque de 8 metros cúbicos (2m x 2m x 2m).

14.3.3.7. Desinfección

Para la desinfección del agua, se sugiere la utilización de hipoclorito de calcio como agente de desinfección, teniendo en cuenta que (Schulz & Okun, 1998) plantean que son compuestos estables en condiciones normales, su cloro libre disponible varía de 65 a 70%, llegando a perder al año del 3 a 5% del mismo; además de que resultan más económicos para regiones remotas a donde se deben transportar productos químicos debido a que el contenido de Cl₂ es mayor que otros compuestos. De igual forma, el autor referenciado plantea que su manejo debe realizarse con materiales resistentes a la corrosión, como pueden ser cerámicos, vidrios, plásticos, deben almacenarse en sitios secos y frescos, evitando su contacto con la materia orgánica.

Como sistema de dosificación del agente desinfectante se plantea un hipoclorador de orificio de carga constante o también conocido como tanque con válvula flotador. Este sistema funciona por gravedad y es ampliamente utilizado en instalaciones pequeñas ya que son equipos de instalación sencilla y de bajo costo, se puede construir con materiales locales, no requieren de una experiencia técnica ni supervisión abundante, puede realizarse la dosificación directamente al tanque de almacenamiento (Schulz & Okun, 1998) y (Organización Panamericana de la Salud, 2007)). . Por lo tanto, esta desinfección se realizará en el tanque de almacenamiento que a continuación se explicará. Es necesario que este sistema de dosificación se construya en materiales resistentes a la corrosión fuerte del hipoclorito concentrado.

La resolución 2115 de 2007 establece que el valor aceptable de cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución de agua debe estar comprendido entre 0,3 y 2 mg/L, por lo que no se sugiere una dosis de aplicación de agente desinfectante exacta sin antes realizar análisis de laboratorio que permitan la determinación de una dosis que genere cloro residual libre dentro de dicho rango.

14.3.3.8. Tanque de almacenamiento

Teniendo en cuenta que el RAS 2017 plantea en su artículo 81, el volumen del tanque de almacenamiento debe ser igual a un tercio del caudal máximo diario para el horizonte de diseño, o aquel que se ha definido como caudal de diseño del sistema de potabilización. Primero, es necesario realizar una conversión de unidades del caudal máximo diario de litros por segundo a metros cúbicos por día, de la siguiente manera.

$$Q.M.D. = 0,5 \frac{L}{s} \times \frac{1 m^3}{1000 L} \times \frac{86400 L}{1 d} = 43,2 \frac{m^3}{d} \quad (105)$$

Esto quiere decir que son necesarios 43,2 metros cúbicos de agua para abastecer las necesidades de la población por un día. Teniendo en cuenta lo anterior, el volumen del tanque será:

$$V_{Tanque} = \frac{1}{3} (43,2 m^3) = 14,4 m^3 \cong 15 m^3 \quad (106)$$

El RAS 2017 también establece que a este volumen se le debe adicionar una cantidad destinada a emergencias por incendios, pero como el nivel de complejidad es bajo, no debe tenerse en cuenta. Se propone un tanque rectangular de 2 metros de largo, 4 metros de ancho y 2 metros de altura, para obtener un tanque con una capacidad de 16 metros cúbicos:

$$Volumen = 2 m \times 4 m \times 2 m = 16 m^3 \quad (107)$$

A continuación, se muestra el consolidado de resultados para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento:

Longitud del tanque (L): 2 m.

Altura del tanque (h): 2 m.

Ancho del tanque (a): 4 m.

Es importante resalta que como este tanque va a estar mas alto que los anterior, se realice la instalación de una bomba que permita conducir el agua del tanque de filtración al tanque de almacenamiento para que luego ésta sea enviada a la red de distribución con la que cuenta el centro poblado. Por tanto, se recomienda la instalación de una bomba Barnes alta presión eléctrica HSE de 32 gpm (galones por minuto) que en litros por minuto sería:

$$32 \text{ gpm} \times \frac{3,78541 \text{ L}}{1 \text{ galón}} = 121 \text{ Lpm} \quad (108)$$

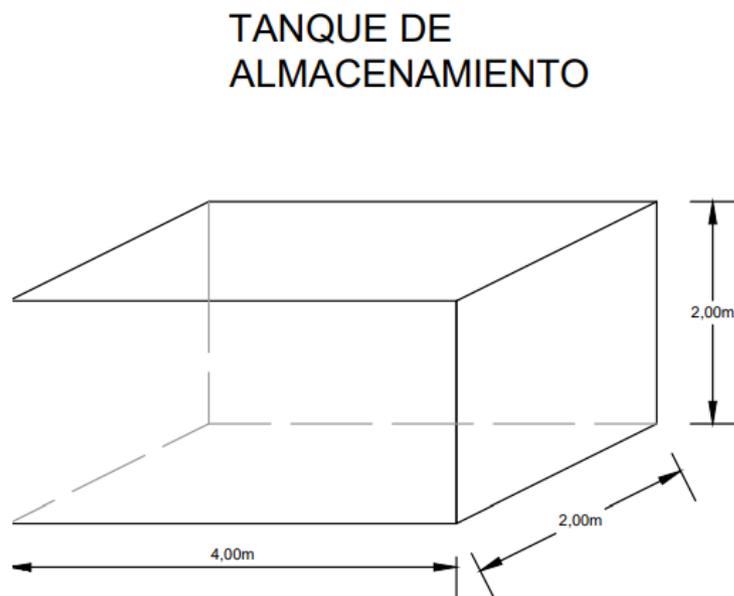
Que por segundo estaría dando:

$$121 \text{ Lpm} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ seg}} = 2,02 \text{ Lps} \quad (109)$$

Finalmente, luego de la realización de los anteriores cálculos para el diseño de las unidades de tratamiento del agua, cabe mencionar que la entrega del caudal de agua tratada en todas las unidades se realizará por medio de una tubería de 2" (pulgadas).

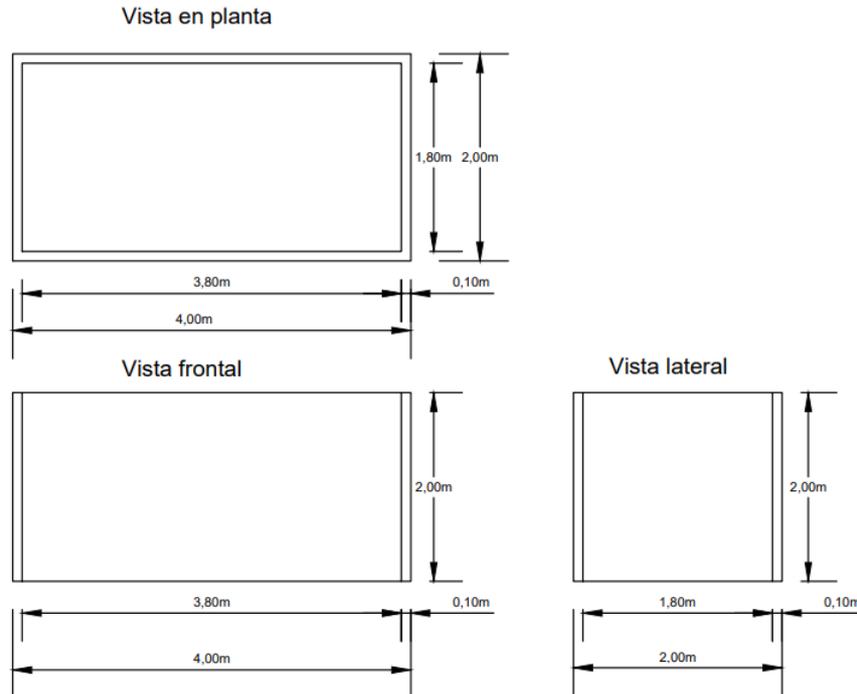
A continuación, se presentar los esquemas de la unidad tanque de almacenamiento final.

Figura 35. Esquema tanque de almacenamiento.



Fuente: Autores 2019.

Figura 36. Esquema vista en planta, frontal y lateral del tanque de almacenamiento.



Fuente: Autores 2019.

14.3.3.9. Cálculo de materiales para la construcción de las unidades de tratamiento

Con el fin de poder estimar los costos de cada unidad de tratamiento que requiere el centro poblado de Palonegro; a continuación, se presentan los cálculos de cada uno de los materiales que son necesarios para la construcción de estas.

14.3.3.9.1. Zapatas

El cálculo de las zapatas, que son las que le darán soporte a las columnas y a la placa en concreto donde irán los cuatro tanques (tanque auxiliar, coagulación, floculación y sedimentador), tendrán medidas de 0,70 m por 0,70 m y a un espesor de 0,15 m. Entonces se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Material concreto} = 0,70 \text{ m} \times 0,70 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,074 \text{ m}^3 \quad (110)$$

Se determinaron 20 columnas para sostener la placa donde estarán los cuatro tanques anteriormente descritos (4 columnas para el tanque de auxiliar, 4 al tanque coagulación, 8 al tanque floculador y 4 al tanque sedimentador). Entonces de volumen requerido de concreto será:

$$\text{Material concreto} = 0,074 \text{ m}^3 \times 20 = 1,48 \text{ m}^3 \cong 1,5 \text{ m}^3 \quad (111)$$

Donde se tomó una cantidad 80 kg de hierro para cada metro cúbico, con el fin de dar soporte. Entonces:

$$\text{Cantidad hierro} = 1,5 \text{ m}^3 \times 80 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 120 \text{ kg de hierro} \quad (112)$$

14.3.3.9.2. Columnas

Para el cálculo de la cantidad de hierro y material de concreto requerido para la construcción de los tanques se tomó una altura inicial de 1,3 m; y se tuvo en cuenta las pérdidas que se obtuvieron en los cálculos de diseño. Por lo tanto, se realizó así:

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

- **Tanque auxiliar y unidad de coagulación**

Se determinó que las columnas serán de 0,20 m por 0,20 m, con una altura de 1,30 m. Para estos dos tanques que, tendrán 8 columnas, el volumen de concreto por columna será:

$$\text{Material concreto} = 0,20 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} \times 1,30 \text{ m} = 0,052 \text{ m}^3 \quad (113)$$

Para la cantidad de columnas, será:

$$\text{Material concreto} = 0,052 \text{ m}^3 \times 8 \text{ columnas} = 0,42 \text{ m}^3 \quad (114)$$

Y para el cálculo del hierro se tomaron 100 kg de hierro por cada metro cúbico, entonces:

$$\text{Cantidad hierro} = 0,42 \text{ m}^3 \times 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 42 \text{ kg de hierro} \quad (115)$$

- **Tanque floculación:**

Se determinó que las columnas serán de 0,20 m por 0,20 m y una altura de 1,20 m; teniendo en cuenta la pérdida total que se presenta en la coagulación que es de 0,1 m. El número de columnas que se tomaron fue de 8 para soportar las 3 unidades de floculación; entonces el volumen de concreto por columna es:

$$\text{Material concreto} = 0,20 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} \times 1,20 \text{ m} = 0,048 \text{ m}^3 \quad (116)$$

Para la cantidad de columnas:

$$\text{Material concreto} = 0,048 \text{ m}^3 \times 8 \text{ columnas} = 0,384 \text{ m}^3 \quad (117)$$

Y para el cálculo del hierro de soporte se tomaron 100 kg de hierro por cada metro cúbico, entonces:

$$\text{Cantidad hierro} = 0,384 \text{ m}^3 \times 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 38,4 \text{ kg de hierro} \quad (118)$$

- **Tanque sedimentador**

Como se estableció que las columnas serán de 0,20 m por 0,20 m, a una altura de 0,75 m, teniendo en cuenta la pérdida que se presenta en la floculación que es de 0,55 m; el número de columnas que se tomaron fue de 4, entonces volumen de concreto por columna es:

$$\text{Material concreto} = 0,20 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} = 0,03 \text{ m}^3 \quad (119)$$

Para la cantidad de columnas:

$$\text{Material concreto} = 0,03 \text{ m}^3 \times 4 \text{ columnas} = 0,12 \text{ m}^3 \quad (120)$$

Y para el cálculo del hierro de soporte se tomaron 100 kg de hierro por cada metro cúbico, entonces:

$$\text{Cantidad hierro} = 0,12 \text{ m}^3 \times 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 12 \text{ kg de hierro} \quad (121)$$

14.3.3.9.3. Placa corrida

Es importante tener en cuenta que el reparto de varilla en hierro en la placa será de ϕ 1/2 cada 15 cm en ambos sentidos, arriba y abajo. El concreto tendrá que ser de 3000 psi (libra de fuerza por pulgada cuadrada, por sus siglas en inglés).

Se realizó el cálculo teniendo en cuenta las longitudes necesarias para cada unidad (tanque auxiliar = 1 m, tanque coagulación = 0,3 m, tanque floculación = 5m, tanque sedimentador = 3,2m, tanque filtración = 3m) entonces:

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

$$\begin{aligned} \text{Área de la placa} \\ = (1 \text{ m} \times 1 \text{ m}) + (1 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}) + (5 \text{ m} \times 5 \text{ m}) + (1 \text{ m} \times 3,2 \text{ m}) + (4 \text{ m} \\ \times 3 \text{ m}) = 42 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (122)$$

Teniendo en cuenta el espesor de 0,15 m entonces:

$$\text{Material concreto} = 42 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 6,3 \text{ m}^3 \quad (123)$$

Y para el cálculo del hierro de soporte se tomaron 100 kg de hierro por cada metro cúbico, entonces:

$$\text{Cantidad hierro} = 6,3 \text{ m}^3 \times 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 630 \text{ kg de hierro} \quad (124)$$

Para los tanques de filtración se tiene una longitud 3 m; un ancho 4 m y un espesor de 0,15 m, teniendo en cuenta que este tanque irá enterrado, por lo tanto, el área de descapotar es:

$$\text{Área descapotar} = 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 12 \text{ m}^2 \quad (125)$$

14.3.3.9.4. Muros en ladrillo

Para esto es importante tener en cuenta que el ladrillo ha utilizar será ladrillo recocido en disposición de tizón y sogá.

- **Tanque floculador**

Se realizó el cálculo de la cantidad de ladrillos necesarios, teniendo en cuenta un perímetro de 20 m lineales y 0,8 m de altura de la pared del floculador, donde se tomó 1 m y un espesor de 0,15 m, entonces:

$$\text{Área del muro en ladrillo} = 20 \text{ metros lineales} \times 1 \text{ m} = 20 \text{ m}^2 \quad (126)$$

Teniendo en cuenta que el rendimiento para ladrillo recocido es de 156 unidades de ladrillo/ m², entonces;

$$\text{Cantidad de ladrillos} = 20 \text{ m}^2 \times 156 \frac{\text{unidades}}{\text{m}^2} = 3120 \text{ unidades de ladrillo} \quad (127)$$

Los tanques deben ir impermeabilizados, entonces se debe tener en cuenta, que para el *pañete impermeabilizado* se recomienda SIKA 1. El área para impermeabilizar en el tanque floculador fue de:

$$\text{Área a impermeabilizar} = 20 \text{ metros lineales} \times 1 \text{ m} \times 0,15 \text{ metros} = 3 \text{ m}^2 \quad (128)$$

- **Tanque sedimentador**

Para el tanque floculador, el perímetro es de 8 m lineales y la altura de la pared 0,85 m, pero se tomó 1 m que es la suma de la profundidad del tanque más la profundidad de la tolva, con un grosor de 0,15 m, entonces:

$$\text{Área del muro en ladrillo} = 8 \text{ metros lineales} \times 1 \text{ m} = 8 \text{ m}^2 \quad (129)$$

Teniendo en cuenta que el rendimiento para ladrillo recocido es de 156 unidades de ladrillo/ m², entonces;

$$\text{Cantidad de ladrillos} = 8 \text{ m}^2 \times 156 \frac{\text{unidades}}{\text{m}^2} = 1248 \text{ unidades de ladrillo} \quad (130)$$

Los tanques deben ir impermeabilizados entonces se debe tener en cuenta, que para el *pañete impermeabilizado* se recomienda SIKA 1:

$$\text{Área a impermeabilizar} = 8 \text{ metros lineales} \times 1 \text{ m} \times 0,15 \text{ metros} = 1,2 \text{ m}^2 \quad (131)$$

- **Tanque Filtración**

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

Teniendo el perímetro 14 m lineales y una altura de 2,4 metros y un espesor de 0,15 metros, en los dos tanques entonces:

$$\text{Área del muro en ladrillo} = 14 \text{ metros lineales} \times 2,4 \text{ m} = 33,6 \text{ m}^2 \quad (132)$$

Teniendo en cuenta que el rendimiento para ladrillo recocido es de 156 unidades de ladrillo/ m², entonces;

$$\text{Cantidad de ladrillos} = 34 \text{ m}^2 \times 156 \frac{\text{unidades}}{\text{m}^2} = 5304 \text{ unidades de ladrillo} \quad (133)$$

Los tanques deben ir impermeabilizados, entonces se debe tener en cuenta, que para el *pañete impermeabilizado* se recomienda SIKA 1:

$$\text{Área a impermeabilizar} = 14 \text{ metros lineales} \times 2,5 \text{ m} \times 0,15 \text{ metros} = 5,04 \text{ m}^2 \quad (134)$$

14.3.3.9.5. Estructura Tanque almacenamiento

Esta estructura será necesaria para el almacenamiento final del agua, teniendo en cuenta que esta estructura va a estar a una altura de 10 m, para así poder entregarla a la red de distribución aprovechando la presión del agua y evitar que se presenten problemas para la entrega final.

Por lo que se establecieron *las zapatas* que son las que darán soporte a toda la estructura, éstas tendrán medidas de 0,80 metros por 0,80 metros y de altura 0,20 metros. Entonces se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Material concreto} = 0,80 \text{ m} \times 0,80 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} = 0,13 \text{ m}^3 \quad (135)$$

Donde se determinaron 4 columnas para sostener la placa, entonces de material de concreto de necesitará:

$$\text{Material concreto} = 0,13 \text{ m}^3 \times 4 = 0,52 \text{ m}^3 \quad (136)$$

Donde se tomó una cantidad 80 kg de hierro para cada metro cúbico, entonces:

$$\text{Cantidad hierro} = 0,52 \text{ m}^3 \times 80 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 52 \text{ kg de hierro} \quad (137)$$

Las columnas tendrán 10 metros de altura, 0,25 metros de ancho y 0,25 de largo, entonces:

$$\text{Material concreto} = 40 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 2,5 \text{ m}^3 \quad (138)$$

Y para el cálculo del hierro se tomaron 100 kg de hierro por cada metro cúbico, entonces:

$$\text{Cantidad hierro} = 2,5 \text{ m}^3 \times 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 250 \text{ kg de hierro} \quad (139)$$

Las vigas transversales serán 3 de 12 metros cada viga, de 0,20 metros por 0,30 metros, entonces:

$$\text{Material concreto} = 12 \text{ m} \times 3 \times 0,20 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} = 2,16 \text{ m}^3 \quad (140)$$

Y para el cálculo del hierro se tomaron 100 kg de hierro por cada metro cúbico, entonces:

$$\text{Cantidad hierro} = 2,16 \text{ m}^3 \times 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 216 \text{ kg de hierro} \quad (141)$$

La placa de concreto tendrá 4 metros por 2 metros y 0,20 metro de espesor, entonces:

$$\text{Material concreto} = 4 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} = 1,6 \text{ m}^3 \quad (142)$$

Y para el cálculo del hierro se tomaron 100 kg de hierro por cada metro cúbico, entonces:

$$\text{Cantidad hierro} = 1,6 \text{ m}^3 \times 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 160 \text{ kg de hierro} \quad (143)$$

Los muros serán en concreto y tendrán 24 metros cuadrados y 0,15 de espesor, entonces:

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

$$\text{Material concreto} = 24 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 3,6 \text{ m}^3 \quad (144)$$

La **tapa del tanque** será de 8 metros cuadrados y 0,15 de espesor, entonces:

$$\text{Material concreto} = 8 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 1,2 \text{ m}^3 \quad (145)$$

Para el **herraje de la tapa del tanque** se utilizarán varillas de hierro de ϕ ½ cada 20 cm a lo largo y a lo ancho, por lo que se requieren 80 metros lineales de varillas, entonces:

$$\text{Cantidad de hierro} = 80 \text{ metros lineales} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 80 \text{ kg} \quad (146)$$

Adicionalmente se cubrirá la tapa con 8 m² de malla trifilar de ϕ 3/16, con el fin de otorgarle soporte al peso de la persona que se coloque sobre la misma.

Para el **herraje de la tapa de acceso al tanque** del tanque se tomarón las dimensiones de 0,6 m por 0,6 m, entonces:

$$\text{Perimetro del herraje} = (0,6 \text{ m} \times 2) + (0,6 \text{ m} \times 2) = 2,4 \text{ m} \quad (147)$$

Cabe resaltar que del volumen de concreto de la tapa de acceso corresponderá a 0,054 m³ del volumen total del material de la tapa, dada las dimensiones de esta.

Para el **acceso al tanque** se debe hacer una **escalera** que le permita a la persona encargada del mantenimiento subir los 12 m que tienen el tanque de altura. Por tanto, se utilizó varilla de figurado de ϕ ½ con unas dimensiones de 0,40 m de ancho, un espaciado de 0,30 m para un total de 40 escalones.

$$\text{Perimetro pasos} = 0,40\text{m} \times 30 \text{ escalones} = 12 \text{ m} \quad (148)$$

Entonces la cantidad de hierro se tiene que el peso de la varilla de ϕ ½ es de 1 kg/metro lineal, por lo cual:

$$\text{Cantidad de hierro} = 12 \text{ m} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 12 \text{ kg} \quad (149)$$

Para la escalera que va dentro del tanque, que le permitirá al fontanero entrar al tanque se utilizarán las mismas dimensiones planteadas anteriormente, pero con 3 escalones, entonces;

$$\text{Perimetro pasos} = 0,40\text{m} \times 3 \text{ escalones} = 1,2 \text{ m} \quad (150)$$

Entonces la cantidad de hierro será:

$$\text{Cantidad de hierro} = 1,2 \text{ m} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 1,2 \text{ kg} \quad (151)$$

Se debe tener en cuenta que esos escalones deberán ir soldados a dos tubos de hierro galvanizado de ϕ 1½, dado que esos tubos tienen medidas estándar de 6 metros, es necesario entonces utilizar 5 tubos de estas medidas que deberán ir conectados por medio de uniones.

La escalera deberá ir soportada sobre dos zapatas de 0,5 m por 0,5 m y 0,30 m de espesor en concreto simple (sin hierro), por lo que el volumen de concreto será:

$$\text{Material concreto} = 2 (0,5\text{m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}) = 0,15 \text{ m}^3 \quad (152)$$

14.3.3.9.6. Estructura de cubrimiento

Se recomienda realizar una estructura para el cubrimiento de las unidades, con el fin de evitar que le la obstrucciones en las unidades de tratamiento que puedan comprometer el funcionamiento de esas.

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

Por tanto, se diseña una estructura metálica con techo teja tipo eternit, por partes, entonces la primera área a cubrir será de las unidades de coagulación y floculación, entonces:

$$\text{Área a cubrir 1}^{\text{ra}} \text{ parte} = 6 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 36 \text{ m}^2 \quad (153)$$

El área por cubrir de la segunda parte será la unidad de sedimentación, entonces:

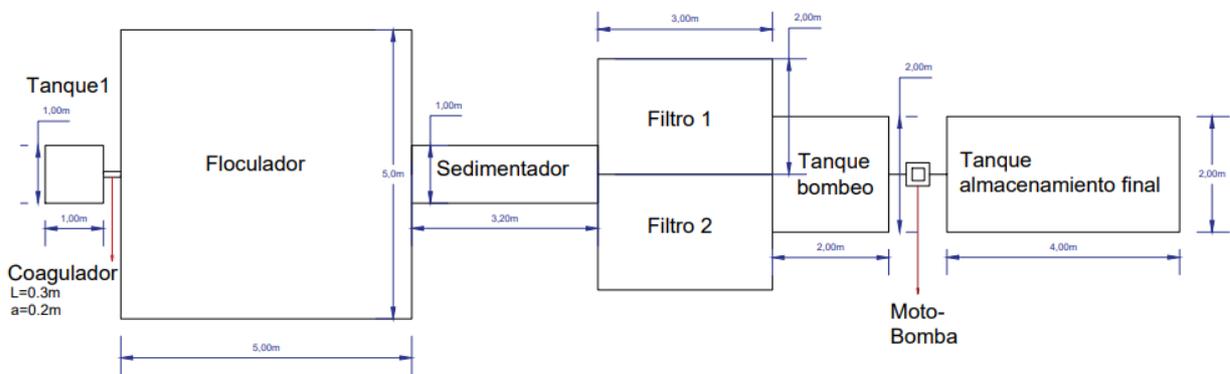
$$\text{Área a cubrir 2}^{\text{da}} \text{ parte} = 1,5 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} = 5,25 \text{ m}^2 \quad (154)$$

La tercera parte por cubrir será la unidad de filtración, entonces:

$$\text{Área a cubrir 3}^{\text{ra}} \text{ parte} = 4 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 8 \text{ m}^2 \quad (155)$$

A continuación, se muestra un aproximado del dimensionamiento de estructuras de las unidades de tratamiento.

Figura 37. Esquema de las dimensiones estructurales de las unidades de tratamiento. Vista en planta.



Fuente: Autores 2019.

14.3.3.10. Estimación de costos de materiales

Luego del cálculo de los materiales para la construcción de las unidades de tratamiento se procede a realizar la consolidación de la cantidad de materiales necesarios y los costos aproximados de cada uno de ellos, teniendo en cuenta que los siguientes valores se tomaron del sistema de información de precios 2018 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).

Tabla 40. Consolidación de materiales necesarios para la construcción.

Estructura	Material	Cantidad
Zapatas	Concreto	1,78 m ³
	Varilla φ1/2	172 kg
Columnas	Concreto	3,42 m ³
	Varilla φ1/2	342,4 kg
Placa corrida	Concreto	6,3 m ³
	Varilla φ1/2	790 kg
Muro de ladrillos	ladrillo recocido	9672

Estructura	Material	Cantidad
	Impermeabilizado SIKA 1	9,24 m ²
Vigas tansversales	Concreto	2,16 m ³
	Varilla ϕ 1/2	216 kg
Herraje tapa del tanque	Varilla ϕ ½	80 kg
Herraje de la tapa de acceso	Varilla ϕ ½	2,4 kg
Herraje escalera	Varilla ϕ 1/2	16,2 kg
Tubos	hierro galvanizado ϕ 1 ½	5 de 6m
Malla trifilar	ϕ 3/16	8 m ²

Fuente: Autores 2019.

A continuación, se presentan la estimación de los costos para las estructuras de cada una de las unidades de tratamiento establecidas por el IDU, costos que fueron publicados en el segundo semestre del 2018 incluyendo mano de obra de 2019, teniendo en cuenta las tarifas estipuladas del salario mínimo legal vigente (SMLV) (IDU, 2019).

Tabla 41. Estimación de costos de materiales.

Material	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Total
Concreto	16,754	m ³	\$361.980 (m ³)	\$6'064.613
Varilla ϕ 1/2	1619	kg	\$ 2.419	\$ 3'916.361
Tubos hierro galvanizado	25	m	\$39.083	\$997.075
Ladrillo recocido	9672	unidades	\$ 450	\$4'352.400
SIKA 1	9,24	m ²	\$21.773	\$201.183
Malla trifilar	8	m ²	\$3823	\$30584
Gran total				\$ 15'562.216

Fuente: Autores 2019.

14.3.3.11. Estimación teórica de los costos de las unidades

A continuación, se presenta un estimado teórico de los costos de las unidades de tratamiento por medio de las ecuaciones que plantea (Romero Rojas, 2009) para determinar los costos aproximados de construcción, operación y mantenimiento para cada unidad. Teniendo en cuenta que las fórmulas arrojan el resultado en dólares, es necesario realizar la conversión a pesos colombianos utilizando la Tasa Representativa del Mercado (por sus siglas, TRM) promedio del dólar en el periodo de febrero y marzo de 2019, la cual fue de COP\$ 3.122,80 (Banco de la República de Colombia, 2019).

Tabla 42. Cuantificación de costos de las unidades de tratamiento.

Proceso	Costo de construcción de procesos unitarios (COP \$)	Costo de operación y mantenimiento (COP \$/año)
Mezcla rápida y floculación	26'404.826.15	2'640.849,50
Sedimentación	84'272.814.40	3'227.453,1
Filtración lenta de arena	16'863.120	1'686.312
Cloración	44'913.413,50	13'965.630,72
TOTAL	172'454.174	21'520.245,32

Fuente: Autores 2019

Según (Romero Rojas, 2009), las ecuaciones para estimar los costos utilizan datos e información recopilada de diferentes plantas alrededor del mundo; sin embargo, estas plantas manejan caudales considerablemente mayores (desde 11 L/s en adelante) al caudal de diseño propuesto para este proyecto, por lo que las estructuras que requieren dichas plantas, así como los costos de construcción, operación y manejo, siempre serán mayores, ya que se trata más cantidad de agua. Esto presenta una desventaja a la hora de realizar el cálculo de costos para plantas con caudales muy pequeños, ya que, aunque el autor en cuestión no plantea ninguna observación al respecto, puede que estas fórmulas presenten restricciones implícitas en sus coeficientes que permiten que los costos obtenidos sean un poco exagerados a los que realmente son.

15. Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas por cada objetivo específico.

15.1. Objetivo 1. Diagnosticar las condiciones sociales y ambientales del centro poblado Palonegro.

En este objetivo fue posible realizar una recopilación de información primaria y secundaria sobre aspectos generales del centro poblado Palonegro, en relación con características demográficas, zonas de riesgo, usos del suelo, zonificación del área de estudio, situación socioeconómica de sus residentes; así como la calidad del agua captada del río Túa destinada para el consumo, presencia de enfermedades asociadas al consumo del agua suministrada y un análisis utilizando el Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA).

A partir de toda esta información, se determinó que el agua que captada para el consumo de la comunidad del centro poblado Palonegro cumple con algunos parámetros de calidad, aunque cuenta con un alto nivel de coliformes totales y coliformes fecales que están afectando la salud de las personas. Lo anterior, y teniendo en cuenta el resultado obtenido para el IRCA, permite concluir que es necesario que se plantee un sistema de potabilización del agua que trate los parámetros encontrados en el informe de calidad del agua que son no conformes con la norma, así como otras características indeseables que posee el agua (olor y sabor), según lo manifestó la comunidad.

15.2. Objetivo 2. Identificar las unidades de tratamiento necesarias para la potabilización del agua en relación con las características fisicoquímicas del agua y el diagnóstico realizado.

Para este objetivo se hizo una comparación entre las características no conformes encontradas en el informe de calidad del agua, así como otras que fueron planteadas por la comunidad; con las tecnologías de tratamiento que se pueden utilizar sugeridas por el RAS 2017, realizando algunas modificaciones dadas por referentes teóricos para que se ajustaran al nivel socioeconómico y técnico del centro poblado. Inicialmente, se estableció que el diseño de las unidades será de carácter hidráulico, aprovechando que el tanque de almacenamiento inicial del agua se encuentra a cinco metros de altura.

Se plantearon tres opciones de tratamiento según referentes teóricos, que permitían obtener una calidad del agua aceptable para consumo, de las cuales se eligió la opción que comprendía los procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración rápida, y un tanque de contacto donde se realiza la dosificación del cloro. Esta opción permite un tratamiento muy completo del agua, además de que es flexible con los grados de sedimentos y contaminación que presenta el agua, los cuales pueden llegar a incrementar en la temporada de lluvias, y/o por la ubicación de residencias o zonas productivas aguas arriba del sitio de captación. Dentro de las adaptaciones anteriormente mencionadas, se optó por utilizar un proceso de filtración lenta de arena, ya que es un proceso más económico y no requiere de personal con niveles técnicos para su mantenimiento.

15.3. Objetivo 3. Realizar el dimensionamiento y esquematización de las unidades de tratamiento requeridas para la potabilización del agua.

Una vez decididos las unidades de tratamiento, se realizó el diseño hidráulico, dimensionamiento y requerimiento de materiales para todo el proyecto. Primero, se realizaron los respectivos cálculos para determinar la tasa de crecimiento poblacional que presenta el centro poblado Palonegro, la población a 25 años (el cual es el periodo de diseño planteado por el RAS 2017), y el caudal de

diseño. Teniendo en cuenta que se obtuvo una tasa de crecimiento negativa, indicando que la población está decreciendo, se decidió utilizar el caudal máximo diario calculado para el 2019 como el caudal de diseño, el cual fue de 0,5 L/s. Teniendo en cuenta que al haber un mejoramiento en la calidad del agua es posible que la población encuentre un motivo más para asentarse en el centro poblado y generar allí una estrategia de turismo.

Con este caudal se realizó el dimensionamiento de las estructuras para mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración, y el tanque de almacenamiento. Para la desinfección, se planteó utilizar hipoclorito de calcio como agente desinfectante, dosificado por medio de un hipoclorador de orificio de carga constante, o también conocido como tanque con válvula flotador, el cual es de bajo costo y no requiere de personal con experiencia técnica ni supervisión continua. No se plantea una dosis exacta de aplicación de agente desinfectante, por lo que es necesario realizar las respectivas pruebas de demanda de cloro para determinar la dosis adecuada que arroje valores de cloro residual libre en la red de distribución, según lo establecido por la resolución 2115 de 2007.

En lo relacionado con la estimación teórica de los costos, a partir de las ecuaciones de (Romero Rojas, 2009), se obtuvo que valor total de construcción de las unidades de tratamiento planteadas fue de \$172'454.174 y el costo de operación y mantenimiento por año es de \$21'520.245,32; aunque el costo real del sistema de potabilización, tanto en construcción como en mantenimiento y operación puede ser menor, teniendo en cuenta el origen y las características de los datos que permitieron la deducción de dichas ecuaciones.

16. Recomendaciones

- Dado que el RAS 2017, en su artículo 107, plantea que para la caracterización del agua cruda es necesario tomar mínimo tres muestras puntuales en una semana, cada una en un intervalo mayor a 24 horas, en un periodo no menor a tres semanas, en el sitio de captación durante un periodo seco, y de igual manera para un periodo de lluvias; con el fin de obtener un grado de representatividad del estudio aceptable, por lo que se sugieren realizar las respectivas pruebas para corroborar la calidad del agua con la que se trabajó en el proyecto.
- Es importante realizar las respectivas pruebas de laboratorio para determinar la dosis adecuada de desinfectante que se le debe aplicar al agua, con el fin de cumplir con lo establecido por la resolución 2115 de 2007.
- Realizar un estudio para determinar la prospectiva turística que tiene el centro poblado Palonegro, con el fin de determinar si es posible que a la zona lleguen nuevos habitantes o la población flotante incremente significativamente, y dado el caso, adaptar el caudal de diseño y las dimensiones de las unidades de tratamiento.
- Teniendo en cuenta que el caudal de diseño obtenido fue muy pequeño (0,5 L/s), y el costo de la construcción, operación y mantenimiento de un sistema de tratamiento puede llegar a considerarse alto por la comunidad, es posible evaluar la posibilidad de ampliar la capacidad de los diseños planteados para que puedan abastecer diferentes centros poblados.
- Dado a que la bomba con la que cuenta el centro poblado actualmente que es de 96 GPM, lo que representa 6 L/s, y que, para el llenado del tanque de almacenamiento inicial, que es de 36 m³, se utiliza sólo 2 horas al día, se pueda realizar el adecuamiento para que esta misma bomba sea la que conduzca el agua del tanque de recepción al tanque de almacenamiento final, con el fin de reducir costos y evitar la compra de otra bomba.

17. Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Municipal Monterrey. (2016). *Plan de Desarrollo Territorial 2016 - 2019. Documento diagnóstico y caracterización municipal Monterrey - Casanare*. Monterrey.
- Allen, M. (1996). La importancia para la Salud Pública de los indicadores bacterianos que se encuentran en el agua potable. Reunión sobre la calidad del Agua Potable. *CEPIS. OPS. OMS*.
- Alvarado Espejo, P. (2013). *Estudios y diseño del sistema de agua potable del barrio San Vicente, parroquia Nambacola, cantón Gonzanamá*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Arcillas de la Sabana. (s.f.). *Arcilla de la sabana*. Obtenido de Tolete Recocido: <https://www.arcillasdelasabana.com/tolete-recocido>
- Asociación de Ingenieros Forestales de Casanare. (2013). *ESTUDIO DE IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS AMBIENTALMENTE PROTEGIDAS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TÚA EN JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE MONTERREY CASANARE*. Monterrey.
- Banco de la República de Colombia. (29 de Marzo de 2019). *Tasa de cambio del peso colombiano (TRM)*. Obtenido de Banco de la República: <http://www.banrep.gov.co/es/tasa-cambio-del-peso-colombiano-trm>
- Briones Laguna, R. (2015). *Proyecto de la estación de tratamiento de agua potable en Santpedor*. Barcelona: Escuela Técnica Superior d'Enginyeria de Camins.
- Caminati Briceño, A. M., & Caqui Febre, C. (2013). *Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para su consumo humano y su distribución en la Universidad de Piura*. Piura: Uniiversidad de Piura.
- Campoy Aranda, T. J., & Gomes Arújo, E. (2009). *Técnicas e instrumentos cualitativos de recogida de datos*. EOS.
- Castillo, L. (2005). *Universitat de Valencian*. Obtenido de Análisis documental: <https://www.uv.es/macas/T5.pdf>
- Cemex Colombia. (s.f.). *Construdata*. Obtenido de <http://www.construdata.com/BancoConocimiento/C/cuadropreciosconstrudata100205/cuadrpreciosconstrudata100205.asp>
- Centro de Colaboración en materia de Agua y Medio Ambiente. (2009). *Integrated Water Resources Management in Action*.
- Cerda, H. (1991). *Medios, instrumentos, técnicas y métodos en la recolección de datos e información*. Bogotá: El Buho.
- CIAF. (S. f). *Centro de Innovación Tecnológica y de Fortalecimiento institucional para el IGAC*. Obtenido de Clasificación de coberturas: <https://www.igac.gov.co/es/contenido/ciaf>
- Clavijo, S. (2017). La problemática del agua. *La república*, 1-5.
- Colmenares Melo, M. J., & Sáenz Esquivel, L. E. (2015). *Diseño del sistema de acueducto en la vereda perdiguiz del municipio de Macanal, Boyacá, utilizando modelación matemática*. Bogotá D.C: Universidad Militar Nueva Granada.
- Concejo Municipal de Monterrey. (2009). *Componente General*. Monterrey.
- Congreso De Colombia. (1993). *Ley 99*. Obtenido de <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22-ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>
- Corporinoquia. (2015). *Resolución 200.41-15.0862*. Yopal.
- Domínguez Calle, E. A. (2012). Las contradicciones de la abundancia de agua en Colombia. *Semana Sostenible*, 4.
- ESAP. (S.f). *Diagnóstico territorial del municipio de Monterrey, Casanare*. Monterrey.
- Galán Amador, M. (27 de Abril de 2009). *El cuestionario en la investigación*. Obtenido de <https://www.nodo50.org/sindpitagoras/Likert.htm>

- Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.* Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García
- García Londoño, C. (2015). *Propuesta de diseño de una planta de potabilización para la zona veredal del municipio de Apulo, Cundinamarca - Colombia.* Bogotá D.C: Universidad el Bosque.
- Gil Rivera, M. (1994). La base de datos. Importancia y aplicación en educación. *Perfiles educativos*, 1-9.
- Global Water Partnership. (2013). *Guía para la aplicación Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal.* Tegucigalpa.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación.* Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Homecenter. (s.f.). *Homecenter.* Obtenido de <https://www.homecenter.com.co>
- IDU. (2019). *Precios unitarios de referencia 2018 II Mano de obra 2019.* Bogota D.C.
- Ironmart. (s.f.). *Ironmart.* Obtenido de <https://www.ironmart.co/products/varilla-de-media-pulgada>
- Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (26 de Mayo de 2015). *Decreto 1076.* Obtenido de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/08/Decreto-Unico-Reglamentario-Sector-Ambiental-1076-Mayo-2015.pdf>
- Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). *Resolución 631.* Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/col145327.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Resolución 2115 de 2007.* Bogotá D.C.
- Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (25 de Octubre de 2010). *Decreto 3930.* Obtenido de https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_3930_2010.htm
- Ministerio De La Protección Social. (9 de Mayo de 2007). *Decreto 1575.* Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Decreto 1575 de 2007.* Bogotá D.C.
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (22 de Junio de 2007). *Resolución 2115.* Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legisla%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2000). *Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.* Bogotá D.C.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.* Bogotá.
- Morga Rodriguez, L. E. (2012). *Teoría y técnica de la entrevista.* México: Red tercer milenio.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos.* Bogotá D.C: Pearson.
- ONU-Agua. (24 de Noviembre de 2014). *Decenio Internacional para la Acción 'El agua, fuente de vida' 2005-2015.* Obtenido de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>
- Organización Mundial de la Salud. (12 de Julio de 2017). *2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento.* Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/detail/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>
- Organización Panamericana de la Salud. (2007). *Guía para la Instalación de Sistemas de Desinfección.* Lima.
- Pajares, M., & Orlando, E. (2002). Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima Metropolitana. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 69.
- Peersman, G. (2014). *Sinopsis: Método de recolección y análisis de datos en la evaluación de impacto.* Florencia: UNICEF.
- Proyectos Consultoría. (2018). *Legalización urbanística de asentamientos humanos centro poblado Palonegro.* Monterrey.

Propuesta de diseño: Unidades de tratamiento para la potabilización del agua captada por el centro poblado Palonegro del municipio de Monterrey, Casanare.

Luisa Fernanda Figueredo Garcia
Mario Andrés Martínez García

- Rodríguez, S. (2016). *Estudios y Diseños Planta de Potabilización de Agua Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.
- Romero Rojas, J. A. (2009). *Calidad del Agua*. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ruiz, R. (2007). *El método científico y sus etapas*. México.
- Sánchez Montenegro, H. (1970). *Ingeniería de Acueducto y Tratamiento aguas*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.
- Schulz, C. R., & Okun, D. A. (1998). *Tratamiento de Aguas Superficiales para Países en Desarrollo*. México D.F: Limusa S.A.
- Secretaria de gobierno, seguridad y convivencia. (2018). *Documento técnico de soporte Política Pública de Empleo*. Monterrey Casanare: Alcaldía Municipal.
- Segura Pérez, D. (2012). *Proyecto de planta potabilizadora para agua en Cidade Velha. Cabo Verde*. España: Universidad politécnica de Cartagena.
- UNESCO. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Obtenido de http://www.unesco.org/culture/natlaws/media/pdf/colombia/colombia_constitucion_politica_1991_spa_orof.pdf