Evaluación de un prototipo fotovoltaico, vinculado al sistema de desinfección del agua, en un acueducto rural del municipio de Tangua.

Gabriela Martínez Ocaña
José Alexander García Herrera
Juliana Andrea Montenegro Ayala

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
San Juan de Pasto
2024

Evaluación de un prototipo fotovoltaico, vinculado al sistema de desinfección del agua, en un acueducto rural del municipio de Tangua.

Gabriela Martínez Ocaña
José Alexander García Herrera
Juliana Andrea Montenegro Ayala

Informe de investigación para optar al título de: Ingeniero Civil

MSc. Sandra Milena Chañag Checa
Ingeniera Sanitaria y Ambiental
Asesora

MSc. Tito Manuel Piamba Mamian
Ingeniero en Automática Industrial
Co Asesor

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
San Juan de Pasto
2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007

Universidad Mariana

Agradecimientos

Este trabajo de grado no hubiera sido posible sin el apoyo y la guía de las siguientes personas e instituciones a las que extendemos el más sincero agradecimiento.

En primer lugar, agradecemos a nuestra asesora Sandra Chañag y al Co – asesor Tito Piamba, de la Universidad Mariana, por su valiosa orientación, paciencia y compromiso a lo largo de todo el proceso. Su experiencia y consejos fueron fundamentales para la realización de este proyecto.

Extendemos nuestro agradecimiento a la Fundación Grupo Social, en especial a la ing. Valeria Martínez y al ing. Alfredo Martínez, por su incondicional apoyo, sus sugerencias técnicas y su dedicación en el desarrollo de este trabajo. Su inestimable ayuda fue clave para llevar a cabo esta indagación.

Asimismo, queremos agradecer a los laboratoristas del campus Alvernia de la Universidad Mariana, Edith Santacruz, Harold Santacruz y Hugo Espinosa, por su disposición y asistencia técnica en el uso de los laboratorios. Su colaboración fue vital para la ejecución de los experimentos que dieron lugar a este estudio.

Nuestra sincera gratitud.

Gabriela Martínez, José García y Juliana Andrea Montenegro

Dedicatoria

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, quien me ha dado la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para llegar hasta aquí. Gracias por iluminar mi camino, por darme la paciencia para afrontar los desafíos y por permitirme culminar esta etapa tan significativa en mi vida.

A mis padres, Amparo y Alfredo, mi mayor tesoro, quienes con su amor incondicional me han acompañado en cada paso de mi vida. Ustedes han sido mi mayor fuente de inspiración, mostrándome el valor del esfuerzo, la dedicación y el compromiso. Me enseñaron a nunca rendirme, a luchar por mis sueños y a ser siempre mejor cada día. Sin su apoyo inquebrantable y su fe en mí, este logro no habría sido posible. Cada sacrificio y cada gesto de amor que me han brindado ha marcado mi vida de una manera única y especial. No tengo palabras suficientes para expresar mi agradecimiento, pero todo lo que soy es gracias a ustedes.

A mis abuelos, Alfredo, Cecilia y Mercedes, por su amor eterno, sus enseñanzas, sus abrazos llenos de cariño y por estar siempre presentes en mi vida. Gracias por brindarme su sabiduría y por enseñarme a valorar las cosas importantes de la vida. A mi abuelo Memo, quien desde el cielo sigue cuidándome y guiándome con su amor infinito. Aunque ya no está físicamente conmigo, su recuerdo siempre estará en mi corazón, inspirándome a seguir adelante.

A mi hermana Daniela, mi mejor amiga, mi compañera de vida y mi mayor orgullo. Gracias por estar siempre a mi lado, por ser mi refugio en los momentos difíciles y mi alegría de cada día. Eres mi mayor orgullo, y me siento afortunada de tenerte como hermana. Tus palabras de aliento, tu apoyo y tu amor me han dado la fuerza para seguir luchando y alcanzando mis metas. Gracias por alegrar cada segundo de mi vida con tu presencia. Eres la razón por la que siempre quiero ser mejor y la inspiración para seguir mis sueños.

A mis profesores de la Universidad Mariana, quienes no solo me brindaron conocimientos, sino también valores y herramientas para enfrentar la vida profesional con responsabilidad y ética. En especial, quiero agradecer a mi asesora y coasesor de tesis, por su paciencia y dedicación. Gracias por creer en este proyecto, por guiarme en el proceso y por ayudarme a convertir una idea en un logro concreto. Su esfuerzo y compromiso quedarán siempre en mi memoria y corazón.

Con todo mi amor y gratitud, ¡gracias por estar a mi lado!

Gabriela Martínez Ocaña

Dedicatoria

"En el Señor tengo puesta mi confianza; ¿cómo podéis decirme: «¡Huye a tu montaña como un pájaro, porque los impíos han tendido arco, han puesto su flecha en la cuerda, y disparen en la oscuridad contra los rectos!»" (Salmo 64:6). Con estas palabras de David, quiero expresar mi gratitud a Dios por ser mi refugio y mi fortaleza durante la realización de este trabajo. Por haberme guiado en este camino y brindarme la fortaleza necesaria para culminar este trabajo.

A mi madre Martha Lucia Herrera Benavides, mi mayor fuente de inspiración. Porque desde pequeño me inculcaste el amor por el aprendizaje y la importancia de la educación, me enseñaste a nunca rendirme y que por más difíciles que fueran las dificultades siempre ibas a estar presente para apoyarme y para encaminarme de nuevo con tu sabiduría y con tu amor. A ti, mamá, que siempre has estado a mi lado, celebrando mis victorias y consolándome en mis derrotas. Te amo con todo mi corazón y te dedico esta tesis a ti, como un pequeño gesto de agradecimiento por todos los sacrificios que has hecho para que yo pudiera cumplir mis sueños.

A los profesores y a la comunidad universitaria. Su compromiso no solamente radica en los conocimientos académicos; también me formaron en la disciplina y el esfuerzo. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a nuestra asesora Mag. Sandra Chañag y Co asesor Mag. Tito Piamba por su inestimable apoyo, paciencia y orientación a lo largo del proceso de elaboración de esta tesis. A los encargados de los laboratorios de la sede Alvernia, profesora Edith Santacruz y profesores Harold Santacruz y Hugo Espinosa. Gracias a su apoyo técnico y conocimiento fue posible realizar este trabajo. Su apoyo constante, a través de su dedicación y atención, fue fundamental durante todo este proceso. Por ello, si no por mucho más, les estoy agradecido.

A mi novia Camila Ordoñez. Gracias, amor por tu paciencia, amor y amistad en los momentos de mayor dificultad. Tu amor, apoyo y comprensión significaron mucho en el transcurso de este viaje. Dedico este trabajo con el corazón lleno de gratitud. Sin ustedes, este camino no habría sido posible. ¡Muchas gracias a todos!

Jose Alexander García Herrera

Dedicatoria

En primer lugar, dedico todo mi esfuerzo a Dios, quien me ha iluminado y dado la fortaleza necesaria para mantenerme firme en este compromiso de superación.

Agradezco profundamente a mis padres, Julio Montenegro y Yomaira Ayala, por ser el ejemplo constante de trabajo y responsabilidad. Su esfuerzo y apoyo incondicional han sido fundamentales en mi formación como persona y profesional. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes.

A mi hermano, el arquitecto Jhonatan Montenegro, por ser mi guía, fuente de inspiración y motivación para superarme cada día.

A los "ángeles" que la vida puso en mi camino a lo largo de mi carrera, quienes, con sus palabras de aliento, consejos y compañía, hicieron más llevadero mi camino, mi más sincero agradecimiento.

A todos aquellos que han sido parte de este proceso, gracias infinitas. Este logro es el resultado de mucho esfuerzo, dedicación y paciencia compartida.

Juliana Andrea Montenegro Ayala

Tabla de contenido

Introducción 13
1. Resumen del proyecto 16
1.1. Resumen 16
1.2. Abstract 17
1.3. Formulación del problema 18
1.4. Justificación 18
1.5. Objetivos 19
1.5.1. Objetivo general 19
1.5.2. Objetivos específicos 20
1.6. Marco referencial o fundamentos teóricos 20
1.6.2. Internacionales 20
1.6.3. Nacionales 21
1.6.4. Regionales 22
1.7. Metodología 22
1.7.1. Descripción de los materiales y métodos por objetivo especifico 22
2. Presentación de resultados 39
3. Conclusiones 81
4. Recomendaciones 84
Referencias bibliográficas 87
Anexos 92

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. *Vulnerabilidad a la contaminación de las fuentes de captación* 25

Ilustración 2. *Calidad de la fuente y grado de tratamiento* 27

Ilustración 3. *Diagrama objetivo 1* 28

Ilustración 4. *Proceso curva demanda de cloro* 35

Ilustración 5. *Metodología implementada dentro de la aplicación oficial de la NASA* 36

Ilustración 6. *Sistema fotovoltaico* 37

Ilustración 7. *Levantamiento topográfico* 44

Ilustración 8. *Cajilla de nacimiento y cajillas de recolección* 45

Ilustración 9. *Vista en planta y en perfil de las cajillas* 45

Ilustración 10. *Desarenador* 46

Ilustración 11. *Vista en perfil del desarenador* 47

Ilustración 12. *Tanque de almacenamiento, cámara de reparto y caseta de cloración* 48

Ilustración 13. *Vista en planta del tanque de almacenamiento* 49

Ilustración 14. *Vista en perfil de la cámara de reparto* 49

Ilustración 15. *Vista interna caseta - proceso de desinfección* 50

Ilustración 16. *Localización toma de muestreos Tipo M2* 52

Ilustración 17. *Entrada tanque de almacenamiento* 57

Ilustración 18. *Muestras de Coliformes Totales Tipo M1, M2 y M3* 63

Ilustración 19. *Presencia de E. Coli* 64

Ilustración 20. *Curva de demanda de cloro* 66

Ilustración 21. *Radiación por cada año y meses de la Vereda el Tambor en KW/h* 73

Ilustración 22. *Radiación por mes y año - Sede Alvernia Universidad Mariana en KW/h* ... 73

Ilustración 23. *Radiación zona Alvernia – T.A de la vereda El Tambor* 75

Ilustración 24. *Prueba bomba dosificadora con tres repeticiones* 79

Ilustración 25. *Prueba bomba dosificadora con cinco repeticiones* 79

Ilustración 26. *Propuesta de instalación del Kit fotovoltaico* 80

Lista de tablas

Tabla 1. *Acueductos rurales del municipio de Tangua* 23

Tabla 2. *Toma de muestras fisicoquímicas y microbiológicas* 32

Tabla 3. *Ensayos realizados – fisicoquímicos y microbiológicos* 33

Tabla 4. *Acueductos rurales – Fase 1* 39

Tabla 5. *Acueductos rurales – Fase 2* 41

Tabla 6. *Acueductos rurales – Fase 3* 42

Tabla 7. *Parámetros de calidad del agua – Fase 4* 43

Tabla 8. *Jornadas de muestreo* 51

Tabla 9. *Datos de pH (Unidad pH)* 53

Tabla 10. *Datos de Temperatura (°)* 54

Tabla 11. *Datos de Turbiedad (UNT)* 56

Tabla 12. *Datos de Color aparente (UPC)* 57

Tabla 13. *Datos de Alcalinidad (mg/L)* 59

Tabla 14. *Valor máximo aceptable del olor y sabor* 61

Tabla 15. *Coliformes Totales (UFC)* 61

Tabla 16. *Datos de Escherichia Coli (UFC)* 63

Tabla 17. *Demanda de Cloro* 66

Tabla 18. *Datos de Cloro residual libre (mg/L)* 69

Tabla 19. *Radiación máximo y mínimo por año Vereda El Tambor en KW/h* 73

Tabla 20. *Radiación máximo y mínimo por año Alvernia Universidad Mariana en KW/h* .. 74

Tabla 21. *Consumo de energía eléctrica del equipo dosificador* 75

Tabla 22. *Potencia hora* 77

Tabla 23. *Horas útiles solar por día* 77

Tabla 24. *Horarios no solares* 77

Introducción

El acceso al agua potable representa uno de los desafíos más apremiantes a nivel global, con implicaciones directas en la salud pública, el desarrollo económico y el bienestar social. A nivel mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) estima que más de 2.200 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura, una situación que expone a un número significativo de la población a enfermedades gastrointestinales y parasitarias, como la diarrea, el cólera, amebiasis, giardiasis, entre otras. La falta de acceso no solo amenaza la salud de millones de personas, sino que también limita el potencial económico y social de las comunidades, afectando negativamente su calidad de vida, reduciendo la productividad laboral, incrementando los costos de atención sanitaria y restringiendo las oportunidades de desarrollo.

En Colombia, el suministro de agua potable en las zonas rurales ha sido históricamente un desafío significativo debido a la dispersión geográfica, las limitaciones en infraestructura y los recursos financieros limitados. A nivel nacional, el acceso al agua potable en zonas rurales es inferior al 70%, un porcentaje preocupante si se tiene en cuenta la importancia del agua potable para la salud pública y el desarrollo sostenible. A pesar de los esfuerzos del gobierno para mejorar la cobertura a través de políticas y programas, la realidad en muchas regiones es que las comunidades rurales continúan abasteciéndose de agua sin un tratamiento adecuado, lo cual incrementa los riesgos de enfermedades de origen hídrico. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2022).

Por otra parte, según el Censo Nacional de Población y Vivienda (2018), aproximadamente el 60% de los habitantes del departamento de Nariño se asientan en zonas y/o centros poblados rurales, esta población se caracteriza por sus altos índices de necesidades básicas insatisfechas, y que no cuentan con un suministro de agua potable ni con soluciones adecuadas de saneamiento básico.

En las zonas rurales del Departamento de Nariño, se presentan bajos porcentajes de coberturas de abastecimiento de agua y niveles del índice de riesgo de calidad del agua (IRCA) muy elevados;

por consiguiente, reflejan la mala calidad del agua que consume este tipo de población; por esta razón se presenta una grave problemática social y de salud pública, afectando por varios años a estas comunidades. (Informe Nacional de la Calidad del Agua para consumo humano, 2017)

El municipio de Tangua no es ajeno a esta situación, este municipio ubicado en el sur del departamento de Nariño enfrenta importantes desafíos en la prestación del servicio de acueducto, particularmente en sus zonas rurales que abarcan diversas veredas. En estas áreas, los sistemas de acueducto existentes son deficientes y carecen de procesos adecuados de potabilización del agua. En muchos casos, el agua que se suministra a las comunidades pasa únicamente por desarenadores y, en ocasiones, por un proceso básico de desinfección. Sin embargo, en algunas zonas ni siquiera se realiza esta última etapa, lo que expone a la población a los riesgos hacia la salud, asociados al consumo de agua de mala calidad. (Fundación Grupo Social, 2022).

El presente trabajo de investigación surge como resultado de una fructífera colaboración entre la gobernación de Nariño, la Fundación Grupo Social, la Universidad Mariana y la Universidad de Nariño. Esta alianza interinstitucional, que reúne a destacados académicos, investigadores y profesionales de diversas disciplinas, tuvo como objetivo evaluar un prototipo fotovoltaico, vinculado al sistema de desinfección, de la vereda el Tambor del municipio de Tangua (Nariño), con el propósito de mejorar la calidad del agua y reducir así los riesgos a la salud publica asociados con la mala calidad del agua de los habitantes de Tangua, abordando de manera integral la deficiencia en la calidad del agua. El propósito inicial del proyecto fue llevar a cabo un diagnóstico detallado de las falencias presentes en el sistema de abastecimiento y tratamiento de agua en la región, con el objetivo de identificar los principales problemas que afectan la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. A partir de este diagnóstico, se analizaron alternativas viables para mejorar la calidad del agua, con un enfoque específico en el proceso de desinfección. Finalmente, se evaluó un prototipo fotovoltaico integrado al sistema de desinfección, aprovechando la energía solar como fuente de electricidad. Este enfoque permitió realizar la desinfección del agua de manera eficiente, reduciendo los costos y garantizando un suministro de agua más seguro para la población rural de Tangua.

Además de sus beneficios inmediatos en términos de salud pública, este proyecto tiene el potencial de servir como un modelo replicable para la implementación de tecnologías sostenibles en la gestión del agua en otras regiones con condiciones similares. Al abordar esta problemática desde una perspectiva integral y sostenible, este proyecto no solo contribuirá a mejorar la calidad del agua en Tangua, sino que también proporcionará una base sólida para futuras iniciativas en el ámbito de la potabilización y gestión del agua en áreas rurales y de difícil acceso en otros territorios.

1. Resumen del proyecto

1.1. Resumen

El presente proyecto, tuvo como propósito evaluar un prototipo de desinfección fotovoltaico, para el mejoramiento del sistema de potabilización del agua en una vereda del municipio de Tangua. Su importancia radica en la implementación de paneles solares; es decir, la utilización de energía solar fotovoltaica, la cual genera electricidad para el funcionamiento de un equipo dosificador de cloro. En primer lugar, se realizó la selección de un acueducto rural del Municipio de Tangua, departamento de Nariño, el cual cumplió con los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto a través de un diagnóstico de evaluación. En este estudio se analizaron fuentes de información importantes como el SIVICAP para consultar los valores del IRCA, informes aportados del Grupo Fundación Social, plan de desarrollo, esquema de ordenamiento territorial de Tangua y observaciones directas de la zona. Posteriormente, se realizó el montaje y evaluación correspondiente de la bomba dosificadora junto al prototipo fotovoltaico en el laboratorio de procesos fisicoquímicos y microbiológicos de la sede Alvernia de la Universidad Mariana, en donde se estableció un plan de monitoreo de calidad del agua cruda y tratada del acueducto y se la comparó con el agua de la misma fuente, pero tratada mediante la implementación del sistema mencionado anteriormente, así como también se realizó un análisis de la curva del break point; de esta manera, se evaluó y comparó la eficiencia del actual proceso de desinfección Vs el realizado por el prototipo, resultando este último muy eficiente en comparación con el realizado actualmente por el acueducto.

Palabras clave: Proyecto interacción social, proceso de desinfección, potabilización del agua, prototipo fotovoltaico.

1.2. Abstract

This project aims to evaluate a photovoltaic disinfection prototype to improve the water treatment system in a rural community of Tangua municipality. Its significance lies in the implementation of solar panels; that is, the utilization of photovoltaic solar energy, which generates electricity to operate a chlorine dosing equipment. Firstly, a rural aqueduct in the municipality of Tangua, Nariño department, specifically in the El Tambor community, was selected as it meets the necessary requirements for project development. This study analyzed important information sources such as the SIVICAP (a Colombian information system) to consult IRCA values, reports provided by the Grupo Fundación Social, Tangua's development plan and land use plan, and direct observations of the area. Subsequently, the assembly and corresponding evaluation of the dosing pump along with the photovoltaic prototype were carried out in the physicochemical and biological processes laboratory at the Alvernia campus of the Universidad Mariana. A monitoring plan for the quality of the raw and treated water from the aqueduct was established and compared with water from the same source but treated using the aforementioned system. Additionally, a break-point curve analysis was performed. In this way, the efficiency of the current disinfection process was evaluated and compared to that performed by the prototype, with the latter proving to be highly efficient compared to the current aqueduct process.

Keywords: Social interaction project, Disinfection process, Water purification, photovoltaic prototype.

1.2.1. Formulación del problema

Considerando la descripción del problema y las generalidades del trabajo de investigación que se desea desarrollar, se plantea la siguiente pregunta: ¿Es viable evaluar un prototipo fotovoltaico que mejore la eficiencia del sistema de desinfección del agua en un acueducto rural del municipio de Tangua, optimizando el uso de energía y garantizando la calidad del agua para prevenir enfermedades gastrointestinales y/o parasitarias?

1.3. Justificación

El agua potable es una de las necesidades básicas para las funciones vitales del ser humano, sin embargo, no todas las comunidades rurales cuentan con este líquido vital. En Colombia, el acceso de agua potable en las comunidades rurales presenta un déficit, a pesar de que en el país se realizan inversiones de gran magnitud en sistemas de acueducto, así mismo el departamento de Nariño ha venido mejorando en los últimos años la cobertura del servicio de acueducto, pero hace falta mejorar la calidad del agua especialmente en las zonas con mayor vulnerabilidad. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2018).

Es necesario mencionar que hay sistemas de acueducto que cuentan con fuentes de abastecimiento de buena calidad, los cuales requieren concentrarse en realizar un proceso de desinfección eficiente para suministrar agua potable, lo cual ocurre en Tangua, dado que hay fuentes tipo manantial sin embargo sus procesos de desinfección son deficientes. Por lo anterior, surge la necesidad de evaluar un prototipo que emplee equipos electrónicos que permitan realizar la dosificación adecuada de cloro y que sean alimentados mediante energía solar, de esta manera se busca optimizar el proceso de desinfección del agua, en consecuencia, es necesario la utilización de un proceso de desinfección adecuado y completo que evite las diversas enfermedades exponiendo a la población a riesgos para su salud, aspectos que en realidad se puede prevenir con inversiones y proyectos que mejoren este servicio de manera sostenible en el tiempo.

Cabe resaltar que, el proyecto surge a partir de la necesidad de proponer un proyecto en beneficio de una comunidad vulnerable, carente del servicio de agua potable, es por esto que

después de un análisis de datos de los 33 acueductos del Municipio de Tangua, se eligió una de las veredas que reúne las condiciones para mejorar e implementar el sistema de desinfección del agua; de esta manera se disminuirán los factores de riesgo por insalubridad debido a que las personas enfermaran menos, por ende, toda la comunidad podrá disfrutar de una mejor calidad de vida que, a su vez, potenciará su productividad y bienestar general.

Por otra parte, se utilizaron tecnologías innovadoras; como es el caso del aprovechamiento de la energía fotovoltaica como una implementación de tecnologías no convencionales de abastecimiento de energía y tratamiento del agua, logrando bajo costo de capital, fácil operación y menor necesidad de mantenimiento. Sandia National Laboratories (2024) afirma que, "La energía solar y eólica se denominan renovables debido a que son un recurso inagotable respecto del ciclo de vida humano. Además, presentan la característica de ser abundantes y limpias. De modo que esta energía es amigable con la naturaleza debido a que el uso de paneles fotovoltaicos no genera emisiones de gases de efecto invernadero, del mismo modo no emite CO_2, considerando alternativas más limpias para la naturaleza por su baja generación de desechos"; por lo tanto, este proyecto tiene un doble compromiso con la comunidad y el medio ambiente.

Según las Naciones Unidas, el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS 6), es garantizar el acceso universal y equitativo al agua potable. Al implementar tecnologías como sistemas de desinfección eficientes y sostenibles, se promueve la desinfección adecuada del agua en comunidades rurales, abordando tanto la mejora en el acceso como en la calidad del recurso hídrico, lo que se alinea directamente con las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar un prototipo fotovoltaico, vinculado al sistema de desinfección, en un acueducto rural del municipio de Tangua – Nariño.

1.4.2. Objetivos específicos

- Seleccionar un acueducto rural del municipio de Tangua que permita la ejecución del proyecto mediante un diagnóstico de evaluación.
- Realizar los planos a detalle de las principales estructuras hidráulicas del acueducto rural seleccionado.
- Comparar la eficiencia del actual proceso de desinfección del acueducto rural seleccionado, con la eficiencia de desinfección del equipo dosificador operando en laboratorio.
- Verificar el suministro de energía del kit fotovoltaico instalado en el laboratorio de Alvernia para que permita el adecuado funcionamiento del sistema de desinfección.

1.5. Marco referencial o fundamentos teóricos

1.5.1. Antecedentes

A continuación, se presenta una revisión exhaustiva de conceptos clave extraídos de diversas fuentes sobre la implementación de tecnologías fotovoltaicas en la desinfección del agua. Este análisis abarca estudios internacionales, nacionales y regionales, proporcionando un contexto relevante para el desarrollo del proyecto.

1.5.1.1. Internacionales. El artículo de Kahana (2024), “Energía Fotovoltaica para Desinfectar Aguas Residuales,” explora el uso de energía solar fotovoltaica para la desinfección de aguas residuales, destacando los avances recientes en la tecnología y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales. Se discuten los beneficios de la tecnología fotovoltaica en términos de sostenibilidad y reducción de costos operativos, así como su potencial para mejorar la calidad del agua en diversas regiones. Este análisis es particularmente relevante para la investigación sobre la integración de tecnología solar en sistemas de desinfección de agua en contextos internacionales, ya que proporciona una perspectiva actualizada sobre cómo la tecnología fotovoltaica puede ser utilizada para tratar aguas residuales de manera efectiva y económica.

En la República Dominicana (2023), se están implementando sistemas de abastecimiento y almacenamiento de agua mediante bombeo con energía solar, así como sistemas de purificación en escuelas. Estos sistemas utilizan paneles solares para alimentar el bombeo y garantizar un acceso constante a agua potable. La capacitación a las comunidades beneficiarias en el uso y mantenimiento de estos sistemas, junto con el establecimiento de comités locales para su cuidado, asegura la sostenibilidad y operatividad a largo plazo. Esta experiencia es directamente relevante para el proyecto en Tangua, al igual que en las comunidades dominicanas, el proyecto en Tangua busca integrar la tecnología solar para mejorar el acceso a agua potable y garantizar un sistema sostenible y eficiente. Suministro de agua mediante el uso de Energía Renovable en comunidades de la República Dominicana.

1.5.1.2. Nacionales. Mendoza y Rodríguez (2023), en su trabajo de grado analizan la eficiencia de los paneles solares para alimentar un sistema de potabilización de agua en regiones sin servicio de acueducto o con fuentes de agua limitadas. El estudio se centró en la región de Orinoquia, específicamente en Villavicencio, y se realizaron mediciones de radiación solar durante enero de 2018. Los datos obtenidos mostraron que la radiación media de 1000 W/m² en la zona es adecuada para la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica. El estudio también destaca la importancia de componentes adicionales como baterías, inversores y reguladores para asegurar la autonomía y el funcionamiento óptimo del sistema. Esta investigación es relevante para el contexto de Tangua al proporcionar un análisis práctico sobre la aplicación de sistemas solares en una región con características similares.

El proyecto, titulado “Formulación y Desarrollo de un Proyecto para la Potabilización de Aguas Lluvias Mediante Energía Solar,” Acofi Papers (2022), presenta un sistema de potabilización de aguas lluvias impulsado por energía solar. El sistema abarca bombeo, filtración ultravioleta, ozonificación e iluminación, todo operado por energía solar. El estudio demuestra cómo la energía solar puede hacer funcionar de manera autónoma sistemas de potabilización en áreas con acceso limitado a electricidad, lo que es muy relevante para Tangua. Este modelo ofrece una solución eficiente y económica, adaptada a condiciones rurales y remotas, mejorando la calidad del agua y reduciendo costos operativos. La investigación proporciona un enfoque práctico que puede ser directamente aplicable a la implementación de sistemas similares en Tangua.

En el trabajo de Ibargüen y Bernal (2008), titulado "Demanda de Cloro en el Acueducto Tribunas Córcega de la Ciudad de Pereira", se observó un comportamiento lineal en la curva de demanda de cloro, similar al registrado en el acueducto de la vereda El Tambor. Ambos estudios atribuyen esta tendencia lineal a la alta calidad del agua, con bajos niveles de amoníaco y aminas orgánicas, lo que simplifica la curva y elimina la necesidad de un tratamiento químico más complejo.

1.5.1.3. Regionales. El informe de la Alcaldía de Pasto (2022), titulado “Avances en el Mejoramiento y Saneamiento Básico de los Acueductos Veredales del Sector Rural del Municipio” detalla cómo la administración municipal ha mejorado acueductos veredales mediante la implementación de tecnología solar. La experiencia documentada en este informe proporciona un ejemplo práctico de cómo la tecnología solar puede ser utilizada para mejorar la calidad del agua en contextos rurales similares a Tangua. Este informe ofrece información valiosa sobre la aplicación efectiva de la tecnología solar en el saneamiento básico, lo cual es relevante para el desarrollo del prototipo propuesto.

1.6. Metodología

1.6.1. Descripción de los materiales y métodos por objetivo especifico

Objetivo 1. Seleccionar un acueducto rural del municipio de Tangua que permita la ejecución del proyecto de investigación mediante un diagnóstico de evaluación.

La selección del acueducto rural se realizó a través de un diagnóstico de evaluación con el fin de establecer un proceso sistemático que nos permita analizar y entender la situación actual en la que se encuentran los acueductos rurales del municipio de Tangua y, de esta manera, optar por el acueducto más apropiado para llevar a cabo este estudio. Para esta selección se revisó la información que se obtuvo de la Fundación Grupo Social (2022) y el Instituto Nacional de Salud de Nariño (INS).

Por otra parte, se tiene en cuenta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) Según el Titulo 2. Sistemas de Acueducto, el cual establece los requisitos mínimos y los valores específicos y límites que deben tenerse en cuenta en los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueducto que se desarrollen en la República de Colombia. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2018).

En la **Tabla 1** se proporciona una descripción con los 32 acueductos rurales y las veredas a las cuales abastece de agua potable en el municipio de Tangua.

Tabla 1.

Acueductos rurales del municipio de Tangua

Acueductos rurales	Veredas a las que abastece
Santa Rosalía	Santa Rosalía
Las Palmas	Las Palmas- sector Agualongo
El Palmar	Palmar - sector Agualongo bajo
San Luis bajo (el romeral)	San Luis bajo
Palizada bajo y Concepción alto	Palizada bajo y Concepción alto
La Concepción	Concepción baja
Birmania sector 2 (Albarracín)	Birmania sector 2
San Luis alto	San Luis alto
La Marqueza alta y los Ajos	Marqueza alto y los Ajos
El Paramo	Marqueza bajo, Palizada, Paramo
El Tambor	Los Ajos, El Tambor, el Cebadal y Buena Esperanza
Manantial - Cebadal y Buena Esperanza	Buena Esperanza, Cebadal y sector San Antonio
La Cocha sector Rosal	La Cocha (sector rosal)

Acueductos rurales	**Veredas a las que abastece**
La Cocha sector la Floresta	La Cocha (sector floresta)
La Cocha sector medio	La Cocha (sector centro)
La Joya - vereda las Piedras	Las Piedras
Santander	Santander
JAC Tamborcillos	Tamborcillos
Chaves	Chaves
El Yugo - Paramillo alto	Paramillo alto
El Pedregal - Paramillo bajo	Paramillo bajo
Chupadero Paramillo	Paramillo medio
Providencia alto	Providencia alto
Vergel	Vergel
Siquitan	Siquitan sector 2
Tapialquer alto	Tapialquer alto y Tapialquer bajo
San Rafael	San Rafael
El Carrizal vereda San Francisco	San Francisco Y Providencia
Tapialquer bajo	Tapialquer bajo, Tapialquer medio, Nazcán y parte de Tapialquer alto, municipio de Funes
Vereda Guayabal	Guayabal
San Pedro obraje	San Pedro obraje
El pescador del tablón obraje	El pescador del tablón obraje
Cocha verde	Cocha verde

Fuente: Base información general acueductos Tangua (2022)

Este diagnóstico evaluativo, que abarcó la totalidad de los 32 acueductos rurales del municipio de Tangua, se estructuró en cuatro fases secuenciales con el objetivo primordial de garantizar la sostenibilidad y eficiencia del proyecto considerando los siguientes factores.

Fase 1: Permisos de la autoridad ambiental.

Para la primera fase se tuvo en cuenta el proceso de legalización que deben cumplir todos los acueductos rurales, para poder realizar el uso y aprovechamiento de un cauce, con la autoridad ambiental pertinente. En este caso, es la Corporación Autónoma de Nariño (Corponariño) quien otorga a una persona natural o jurídica la legalización para el "aprovechamiento de un caudal de los recursos hídricos para una obra, actividad, proyecto o consumo". (Corponariño, 2009).

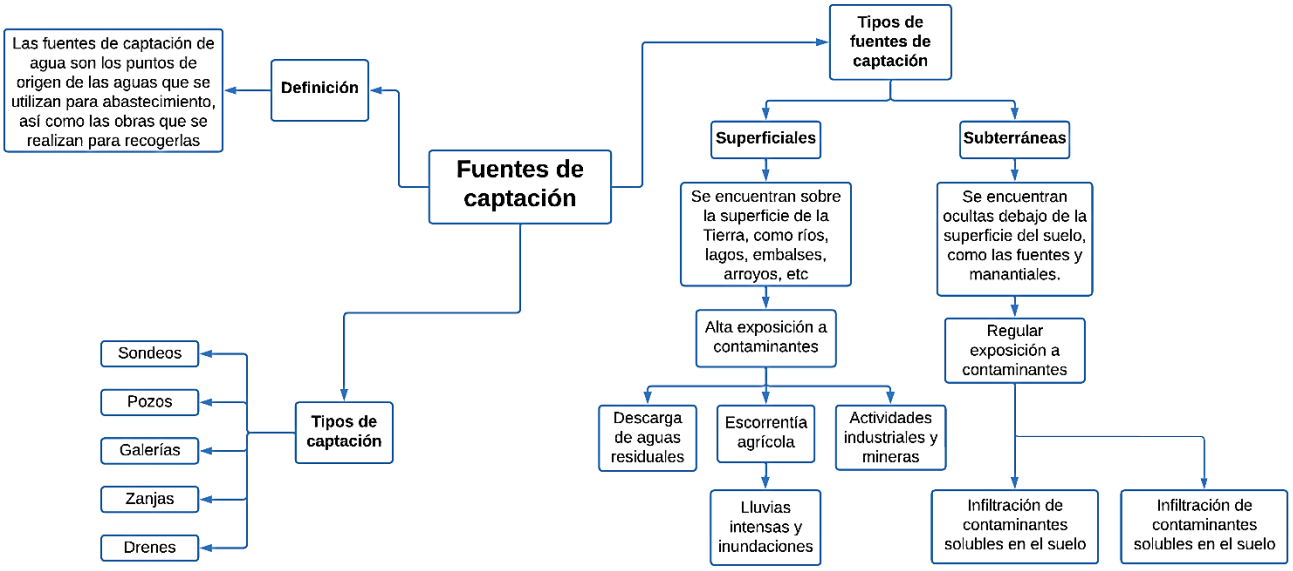
Lo anterior se rige bajo el decreto 2811 de 1974 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales y de protección del medio ambiente, y el decreto 1541 de 1978 por el cual se reglamenta la ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la ley 23 de 1973.

Fase 2: Tipo de fuente de captación.

Esta fase busca determinar la vulnerabilidad del agua a la contaminación ya que es un tema de gran relevancia en la actualidad, especialmente considerando el creciente estrés hídrico y la degradación ambiental. La fuente de captación del agua juega un papel fundamental en determinar su susceptibilidad a la contaminación. En el diagrama de flujo que se observa en la **Ilustración 1** se detalla la vulnerabilidad que tiene el agua al estar expuesta a la contaminación dependiendo del tipo de fuente de captación.

Ilustración 1.

Vulnerabilidad a la contaminación de las fuentes de captación



Fuente: Hamilton (2020). Microplastics in freshwater ecosystems: A global synthesis. Gleeso (2011). Groundwater depletion and food security.

Fase 3: Evaluación del desarenador.

Los desarenadores tienen un papel fundamental dentro de un eficiente sistema de suministro de agua ya que protegen a las tuberías de la conducción al igual que reduce las cargas en los posteriores procesos de tratamiento. Con lo anterior, esta fase evita la selección de un acueducto rural que le pueda generar futuros sobre costos a la organización administradora del acueducto por la necesidad de reparación y/o mantenimiento del desarenador o por la implementación de una PTAP.

En el **Anexo H** se encuentra el documento con la cual se realizó la identificación y caracterización de los acueductos rurales que corresponden al municipio de Tangua.

Fase 4: Calidad del agua.

En esta fase final, se verificará que el acueducto rural seleccionado requiera únicamente la desinfección como tratamiento de potabilización. Dada la realidad de la mayoría de los acueductos

rurales en esta zona, donde el cloro en pastillas es el método más común, se busca optimizar el proceso y evitar costos adicionales. Al eliminar la necesidad de una planta de tratamiento completa (coagulación, floculación, sedimentación y filtración).

En conformidad con el Artículo 12 del decreto 1575 de 2007 se define el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (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.".

Para verificar cuál es el proceso correcto de tratamiento de agua que se debe utilizar de acuerdo con los parámetros de calidad de agua y saber en qué estado está la fuente, se utilizó la tabla C.2.1 del reglamento técnico del sector de agua potable RAS (2000), que se muestra en la **Ilustración 2** en donde identificamos los niveles de calidad de las fuentes hídricas.

Ilustración 2.

Calidad de la fuente y grado de tratamiento

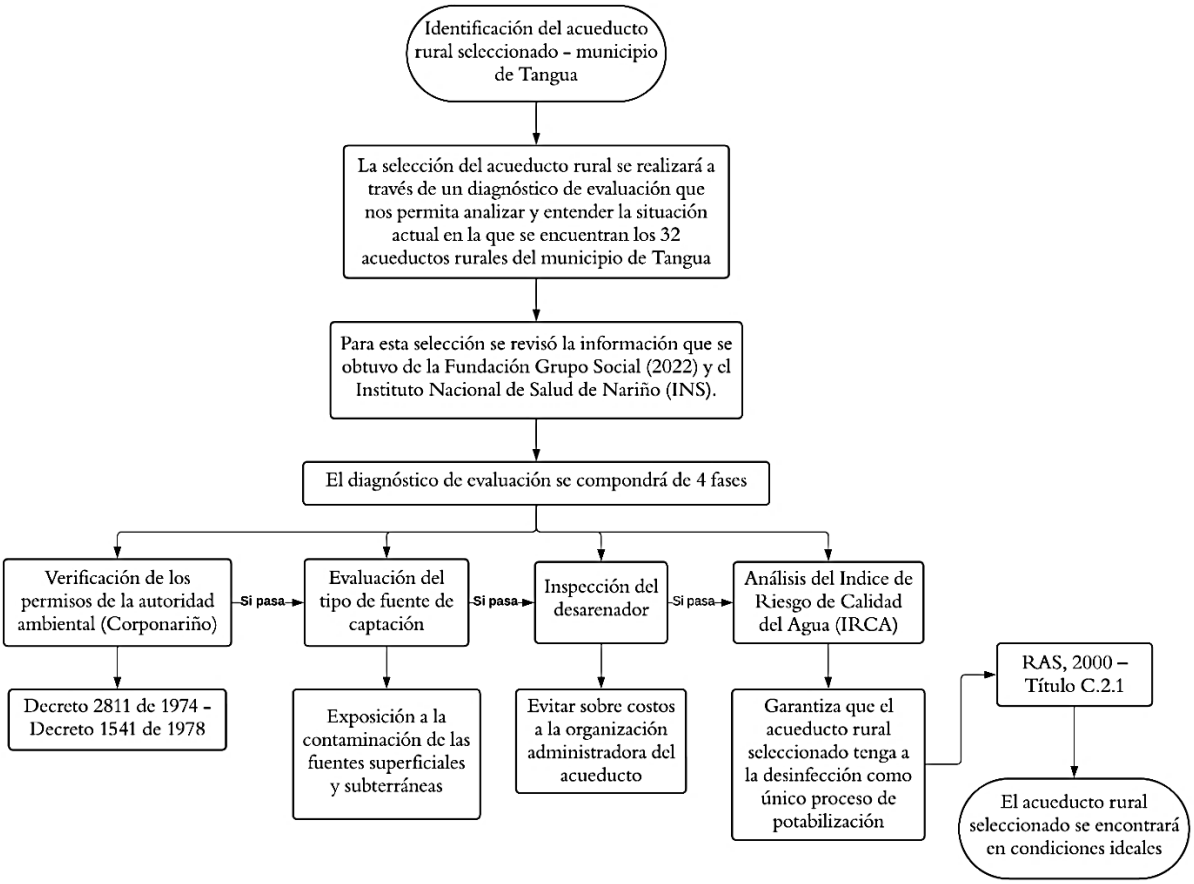
Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3.Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 – 4	>4
Máximo diario mg/L			1 – 3	3 - 4	4 – 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 – 50	50 - 500	500 – 5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	>=4	>=4	>=4	<4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 – 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	<2	2 - 40	40 – 150	>= 150
Color verdadero (UPC)			<10	10 -20	20 – 40	>= 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 – 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	<1.2	<1.2	<1.2	>1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Fuente: (RAS, 2000) – Titulo C.2.1

En el siguiente diagrama se puede observar el procedimiento que se llevará a cabo para lograr determinar la selección del acueducto rural seleccionado.

Ilustración 3.

Diagrama objetivo 1



Objetivo 2. Realizar los planos a detalle de las principales estructuras hidráulicas del acueducto rural seleccionado.

Visita de campo y reconocimiento de las estructuras hidráulicas que componen al sistema de suministro de agua potable.

La primera visita de campo tuvo como propósito identificar el funcionamiento del sistema de suministro de agua potable del acueducto rural seleccionado y el proceso de desinfección que se emplea para tratar al agua, de igual forma se identificaron cada una de las estructuras que la componen, es decir, cajillas de recolección, desarenador, tanque de almacenamiento, cámara de reparto y la caseta, en donde generalmente está montado el sistema de desinfección.

Esta visita se llevó a cabo en conjunto con representantes de la Fundación Grupo Social, la junta administradora del acueducto rural, el fontanero a cargo, estudiantes del programa de Tecnología en promoción de la salud de la Universidad de Nariño junto con el docente Alfredo Martínez, y con un representante de la Gobernación de Nariño.

Herramientas y equipos.

- Flexómetros y decámetros.
- GPS (Garmin GPSMAP 64S).
- Elementos de protección personal, guantes, bata, cofias y tapabocas.

Se estableció una jornada de visitas de campo que nos permitieron obtener por completo las medidas correspondientes a las estructuras que componen el sistema de abastecimiento de agua potable, para esto fue necesario solicitar el apoyo y acompañamiento del fontanero a cargo ya que estas personas poseen las llaves para abrir las tapas que no permiten observar la estructura por dentro. Por otra parte, se tomaron las coordenadas exactas de los puntos en donde se encuentren cada una de las estructuras hidráulicas con ayuda del GPS (Garmin GPSMAP 64S), estos puntos se localizaron con ayuda del software Google Earth Pro con el cual se detalla el tramo de la zona de estudio. Se realizaron los dibujos de las estructuras hidráulicas a través del software AutoCAD con vistas en planta y en perfil.

Objetivo 3. Comparar la eficiencia del actual proceso de desinfección del acueducto rural seleccionado, con la eficiencia de desinfección del equipo dosificador operando en laboratorio.

Se llevó a cabo un monitoreo de la calidad del agua del acueducto bajo condiciones normales de operación, evaluando sus principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Paralelamente, se realizó el montaje del prototipo en el laboratorio de procesos fisicoquímicos y biológicos de la sede Alvernia, utilizando como insumo el agua proveniente del mismo acueducto. Este prototipo, compuesto principalmente por un panel solar y una bomba dosificadora, fue diseñado para operar bajo condiciones controladas.

El panel solar fue conectado con el propósito de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento de la bomba dosificadora, la cual se ajustó para trabajar dentro de los rangos previamente establecidos en el proyecto. Este procedimiento permitió realizar una comparación directa entre la calidad del agua en condiciones normales y aquella sometida al proceso de desinfección implementado mediante el prototipo, asegurando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Durante la operación del prototipo, se monitorearon parámetros clave como el flujo de dosificación y la estabilidad del suministro energético, evaluando el desempeño del sistema en condiciones simuladas que reflejan el funcionamiento real en un acueducto rural. Este montaje permitió verificar la efectividad del sistema fotovoltaico para alimentar el proceso de dosificación de cloro, uno de los pasos críticos en la potabilización del agua.

Se realizó el plan de muestreo teniendo en cuenta el "Manual para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio, (2011)" del Instituto Nacional de Salud. Se estableció una jornada de muestreo por 12 días, en los cual se tomaron tres tipos de muestras diferentes de agua, el primer tipo de muestra "M1" corresponde a agua cruda (sin someterse a ningún proceso potabilización), los puntos de muestreos fueron en la cajilla recolectora principal y en la entrada del tanque de almacenamiento del acueducto rural seleccionado.

El segundo tipo de muestra "M2", corresponde a muestras de agua tratadas (desinfectadas), tomadas en diferentes viviendas a las que les suministra de agua la red de distribución del acueducto rural seleccionado.

El tercer tipo de muestra (M3), corresponde al agua tratada y/o desinfectada mediante la implementación de la bomba dosificadora alimentada por el prototipo fotovoltaico que fue instalado en el laboratorio de procesos fisicoquímicos y microbiológicos de la Universidad Mariana. Para este tipo de análisis se tomó agua del tipo de muestra "M1" para así lograr verificar su eficiencia de una manera más realista.

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados.

En la **Tabla 2** se encuentra una breve descripción del proceso que se llevó a cabo para tomar las muestras correspondientes a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras tipo M1, M2 y M3.

Tabla 2.

Toma de muestras fisicoquímicas y microbiológicas

Análisis	M1	M2	M3
Fisicoquímicos	Se purga el recipiente plástico de 2 a 3 veces con el agua de la muestra, se sumergen las botellas a una profundidad de 20-30 cm quedando completamente llenas sin dejar espacios de aire al interior.	Se limpian las llaves y/o grifos de las viviendas seleccionadas aleatoriamente, posteriormente se purga el recipiente plástico de 2 a 3 veces con el agua de la muestra, este se llena completamente sin dejar espacios de aire al interior.	Se purga la garrafa plástica de 20 L de 2 a 3 veces, en la cual se transporta el agua de la muestra de agua tipo "M1" hacia el laboratorio. Posteriormente se trasvasa esta agua hacia los recipientes plásticos del laboratorio en los cuales se realiza el proceso de desinfección mediante el prototipo.
Microbiológicos	Se llena el frasco esterilizado con la muestra hasta un poco más de la mitad, posteriormente se cierra el frasco con la respectiva tapa cubierta por una capa de aluminio. Es necesario usar elementos de protección personal para este análisis como guantes, bata de laboratorio y gorros quirúrgicos.		

Todas las muestras fueron almacenadas en sus respectivas neveras junto a la pila que se encargó de preservar su temperatura y transportadas hasta los laboratorios de la Universidad Mariana.

Esta actividad se realizó en los laboratorios de procesos fisicoquímicos y biológicos, laboratorio de química y laboratorio de biología y biotecnología del Campus de la Universidad Mariana.

Equipos e instrumentos empleados: Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos fue necesario implementar una gran variedad de equipos de medición, así como instrumentos estándar

de laboratorio. Entre los equipos de medición utilizamos pH-metro, turbidímetro y colorímetro, sellador Quanti – Tray, lampara UV e incubadora y entre los instrumentos de laboratorio se necesitaron neveras y frascos para toma de muestras, pilas, beakers (100ml, 250 ml), probetas (10 ml, 50 ml), bandejas, inserto de goma, buretas, soportes universales, agitador magnético y agua destilada. De igual forma, se necesitaron de reactivos como Colilert, ácido sulfúrico (H2SO4), indicador mixto y fenolftaleína (C20H14O4).

En el **Anexo O** se pueden observar detalladamente los equipos e instrumentos empleados junto con el procedimiento utilizado para el cálculo de la alcalinidad. Este cálculo se llevó a cabo utilizando la ecuación descrita en el método Standard Methods SM – 2320B, titulado "Titulación potenciométrica al pH del punto final".

En la **Tabla 3** se muestra un resumen de los parámetros que se analizaron al igual que el número de muestras y datos obtenidos.

Tabla 3.

Ensayos realizados – fisicoquímicos y microbiológicos

Parámetro	Método	Cantidad de días analizados	Número de muestras*	Número de mediciones Dato/ muestra
pH	SM – 2580	12	3	3
Turbiedad	SM – 2130		3	3
Conductividad eléctrica	SM – 2510		3	3
Color	SM – 2120		3	3
Alcalinidad	SM -2320		3	3
Coliformes totales y fecales	SM - 9223		3	1

***** Muestra tipo 1 corresponde a agua cruda; muestra tipo 2, corresponde a muestra de agua tratada (punto red), y muestra tipo 3, corresponde al agua tratada y/o desinfectada mediante la implementación de la bomba dosificadora.

Por otra parte, la Resolución 2115 de 2007 establece parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad del agua y con base a ello se ejecutó la caracterización fisicoquímica y microbiológicas de las muestras.

De igual forma, se tuvo en cuenta la Guía para determinación de Coliformes totales y fecales (Escherichia Coli) de aguas mediante la técnica de sustrato definido Colilert, por método de número más probable.

Preparación de la solución madre con hipoclorito de calcio ($Ca(ClO)_2$): Para la preparación de la solución madre fue necesario hacer un previo cálculo de la cantidad de cloro que se debe agregar, a través de la guía técnica de tratamiento y desinfección de agua para consumo humano usamos las siguientes fórmulas:

$$P.cloro = \frac{V.Agua \times C.Patrón}{C.cloro \times 10}$$

P. Cloro: Cantidad de cloro que se agrega (gr)

V. agua: Volumen de agua a desinfectar (L)

C. Patrón: Concentración deseada de la solución madre o patrón (1% - 10.000 mg/L)

C. Cloro: Concentración del Hipoclorito de Calcio a usar (%).

El cálculo del volumen de la solución madre que se necesitó para realizar la desinfección del agua se determinó con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{Cd \times Vd}{Cc}$$

V: Volumen de solución madre a agregar (L)

Cd: Concentración deseada de Cloro en el agua (mg/L, dosis acorde a Resolución 2115/2007)

Vd: Volumen deseado de agua a desinfectar (L)

Cc: Concentración conocida de la Solución madre (1%-10.000 mg/L)

Determinación de la demanda de cloro en la muestra de agua cruda.

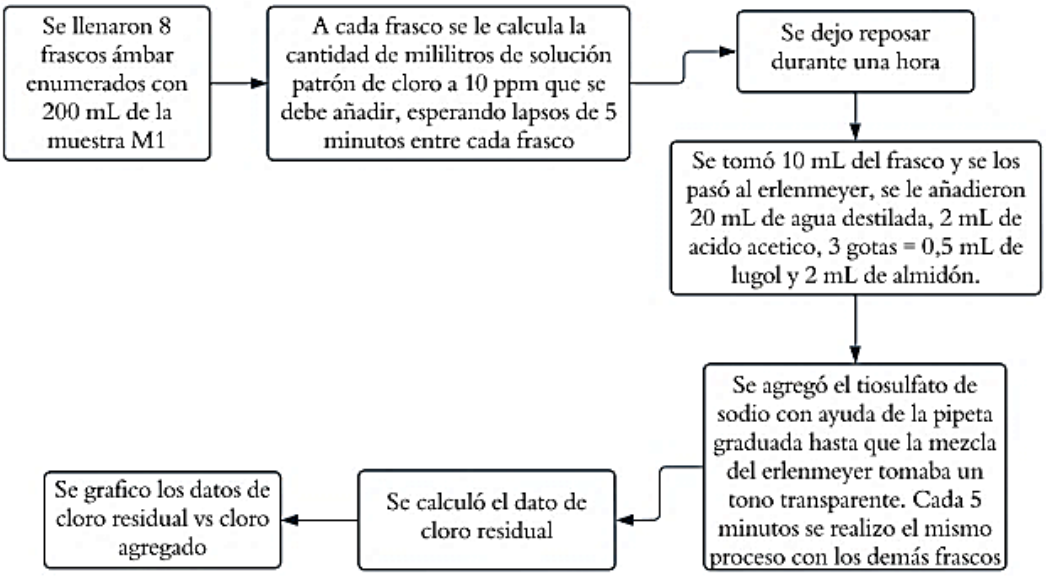
Se realizó el laboratorio de demanda de cloro con el fin de obtener el "break point" o punto de quiebre de la muestra M1.

Equipos e instrumentos empleados: Para la determinación de la demanda de cloro se emplearon instrumentos de laboratorio, entre ellos, frascos de 200 mL, pipetas graduadas, cronometro, erlenmeyers, probetas de 250 ml, soporte universal, agitador magnético y agua destilada. También se necesitaron algunas sustancias químicas como cloro a 10 ppm, ácido acético, lugol, almidón y tiosulfato de sodio.

En el diagrama de la **Ilustración 4** se describe el procedimiento que se llevó a cabo para determinar la curva de demanda de cloro utilizando el método yodo-métrico 4500 – C1 B. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005).

Ilustración 4.

Proceso curva demanda de cloro



Fuente: SM - 4500 C1 B. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005).

Se determinó la concentración de Cloro con la siguiente formula:

$$\frac{mg}{ml} Cl = \frac{(A - B) * N * 35{,}45}{m}$$

A: Volumen gastado de tiosulfato (ml)

B: Volumen de tiosulfato de sodio gastado en el blanco (ml)

N: Normalidad del tiosulfato de sodio

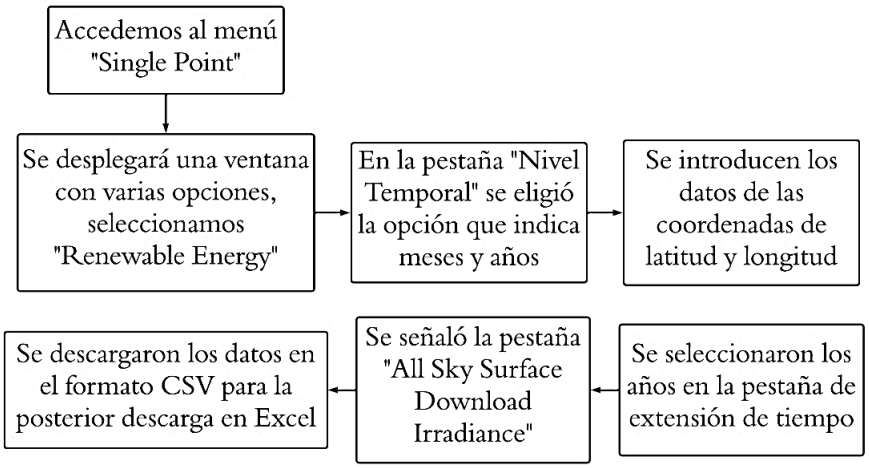
m: Volumen de la muestra (ml)

Objetivo 4. Verificar el suministro de energía del kit fotovoltaico instalado en el laboratorio de Alvernia, para el adecuado funcionamiento del sistema de desinfección.

Se realizó una revisión bibliográfica de los datos históricos de captación de radiación solar obtenidos en la vereda del acueducto rural seleccionado, para este paso, nos dirigimos a la aplicación oficial de la NASA POWER DAV, con esta aplicación logramos obtener mapas interactivos y descripciones meteorológicas para predecir los recursos energéticos mundiales. En la **Ilustración 5** encontraremos una breve descripción de la metodología llevada a cabo dentro de la aplicación de la NASA. Por otra parte, se realizó este procedimiento tanto para los datos de las coordenadas del tanque de almacenamiento de la vereda El Tambor como para las coordenadas de la ubicación actual del panel solar en la sede Alvernia de la universidad Mariana para un periodo de 5 años.

Ilustración 5.

Metodología implementada dentro de la aplicación oficial de la NASA

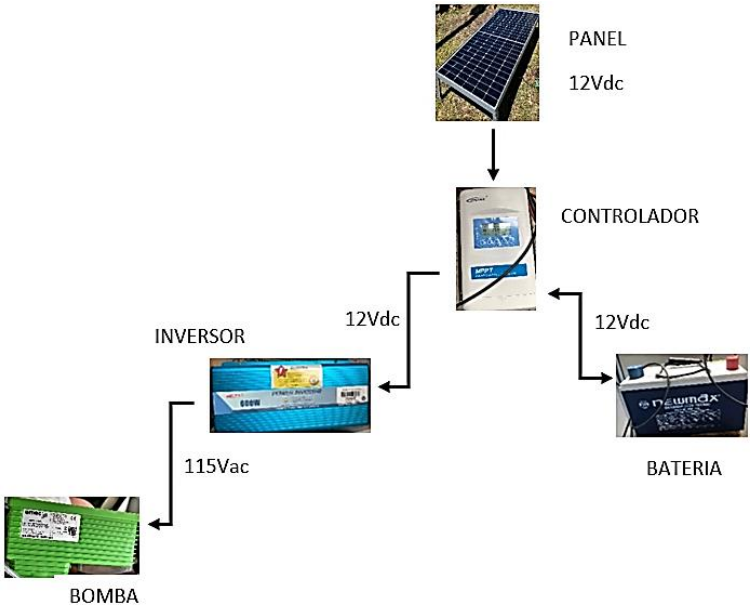


Fuente: NASA POWER DAV.

Kit Solar: El conjunto de componentes que constituyen el sistema fotovoltaico instalado en la sede de Alvernia de la Universidad Mariana permiten la captación y el aprovechamiento de la energía solar, así como la conversión de esta energía en electricidad adecuada para el consumo que en este caso es para el acueducto de la vereda El Tambor. El kit solar empleado consta de panel solar, batería, inversor y controlador de carga (Ver **Ilustración 6**). Para determinar las características y especificaciones de la potencia, intensidad y voltaje de cada uno de los equipos instalados en la sede de Alvernia fue necesario dirigirnos al respectivo manual.

Ilustración 6.

Sistema fotovoltaico



La bomba corresponde al modelo MOD 1502. Para hallar los requisitos energéticos de consumo hay que tomar como referencia la Placa de la bomba dosificadora: VMS MF 1502.

Para calcular la potencia de la bomba dosificadora, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = V \times I$$

P: potencia watts (W)
V: voltios (115Vac dato tomado de la ilustración del manual)
I: corriente en amperios (A)

Y para calcular la energía requerida, se utiliza la siguiente ecuación:

$$E = P \times h$$

P: potencia watts (W)
h: hora

2. Presentación de resultados

Objetivo 1. Seleccionar un acueducto rural del municipio de Tangua que permita la ejecución del proyecto de investigación mediante un diagnóstico de evaluación.

Fase 1: Permisos de la autoridad ambiental. Se realizó una revisión bibliográfica de documentos otorgados por la Fundación Grupo Social, entre ellos se encuentran la Caracterización de Acueductos rurales Tangua 2022 y la Base información general acueductos Tangua 2022.

De la **Tabla 1** se analizaron la totalidad de los 32 acueductos rurales con un criterio inicial que fue la verificación del proceso que deben cumplir los representantes legales de las organizaciones administrativas (en caso de tenerlos) con la autoridad ambiental, teniendo en cuenta que si se utiliza el recurso hídrico sin el permiso de concesión de aguas se impondrán medidas preventivas por parte de Corponariño (Corponariño, 2018). Esto afectaría directamente el objetivo del proyecto limitando el apoyo que se pueda brindar por parte de la Fundación Grupo Social y haciendo inviable la implementación del prototipo y equipos de desinfección en el acueducto rural. Los resultados obtenidos se pueden observar en la **Tabla 4**, donde se identifican a los acueductos rurales que pasan la primera fase.

Tabla 4.

Acueductos rurales – Fase 1

Acueductos rurales
El Palmar
San Luis bajo (el romeral)
Palizada bajo y Concepción alto
San Luis alto
La Marqueza alta y los Ajos
El Paramo
El Tambor

Acueductos rurales
Manantial - Cebadal y Buena Esperanza
La Cocha sector Rosal
La Cocha sector la Floresta
La Cocha sector medio
Santander
Chaves
Providencia alto
Vergel
Tapialquer alto
San Rafael
El Carrizal vereda San Francisco
Tapialquer bajo
El pescador del tablón obraje
Cocha verde

Para esta primera fase solo el 65,62% del total de los acueductos rurales lograron pasar el primer filtro el resto no cuenta con una concesión de aguas, lo que quiere decir que captan el agua de manera ilegal (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009).

Fase 2: Tipo de fuente de captación. El tipo de fuente captación representa un criterio demasiado importante dentro de nuestra selección del acueducto rural ya que se busca la mayor eficiencia en operación y costos al momento de implementarse el prototipo fotovoltaico. De acuerdo con la **Ilustración 1**, se puede inferir que las fuentes subterráneas representan un mayor beneficio en nuestro proceso de selección ya que se consideran dentro de una vulnerabilidad regular a contaminantes y microorganismos, por ende, los procesos de potabilización podrían reducirse considerablemente al igual que los costos que requeriría para la operación y mantenimiento del proceso de tratamiento, posteriormente esto se verificará en la fase 4. Los resultados de la fase dos se pueden observar en la **Tabla 5**.

Tabla 5.

Acueductos rurales – Fase 2

Acueductos rurales	Tipo de fuente subterránea
San Luis Bajo (el romeral)	Subterránea Manantial
Palizada bajo y Concepción Alto	Subterránea Manantial
San Luis Alto	Subterránea Ciénaga
El Tambor	Subterránea Manantial
Manantial - Cebadal y Buena Esperanza	Subterránea Manantial
La Cocha sector Rosal	Subterránea Manantial
La Cocha sector La Floresta	Subterránea Manantial
Vergel	Subterránea Manantial
Cocha Verde	Subterránea Manantial

La segunda fase nos deja el 28,12 % del total de los acueductos rurales, con 8 acueductos que captan el agua desde una fuente subterránea tipo manantial y 1 fuente subterránea tipo ciénaga.

Fase 3: Evaluación del desarenador. Para esta fase se estableció como criterio la existencia y el estado del desarenador, debido a su gran importancia dentro del correcto y eficiente suministro de agua dentro de un sistema de acueducto rural, ya que, como es de prever los resultados de análisis de calidad del agua siempre son mucho más positivos para acueductos en general que tienen su sistema de suministro con todos los componentes principales, es decir, bocatoma, desarenador, aducción, conducción y tanque de almacenamiento.

Para valorar la situación actual en la que se encuentran las infraestructuras fue necesario hacer una revisión de la documentación otorgada por la Fundación Grupo Social. Con esto, se logra establecer la fase 3 que corresponde a la necesidad de la construcción del desarenador dentro del sistema del acueducto rural seleccionado y además de ello, es necesario destacar la importancia de que se encuentre en buen estado buscando las condiciones más ideales para la implementación del prototipo y de la bomba dosificadora.

Sin embargo, el documento de Caracterización de Acueductos Rurales de Tangua (2022) nos demuestra que la situación actual de la infraestructura en el municipio de Tangua es deficiente en muchos acueductos, ya que, aunque todos poseen sus estructuras como bocatoma, aducción, conducción y tanque de almacenamiento, se evidencia una carencia del desarenador en gran parte de los sistemas de acueducto rurales, esto principalmente afecta al proceso de remoción de partículas como arenas, arcillas, gravas finas y material orgánico contenidas dentro del agua.

En esta fase se evaluaron los 9 acueductos rurales que pasaron las fases 1 y 2. En la **Tabla 6** podemos observar un resumen de los resultados que se obtuvieron.

Tabla 6.

Acueductos rurales – Fase 3

Acueductos rurales	Tienen desarenador / Estado
Palizada bajo y Concepción alto	Sí, Regular
El Tambor	Sí, Bueno
Manantial - Cebadal y Buena Esperanza	Sí, Bueno
Vergel	Sí, Bueno

De la anterior tabla observamos que solo el 12,5% de la totalidad de los acueductos rurales logran pasar a la cuarta y última fase, es decir, tan solo 4 de los 32 acueductos cumplen los requisitos para realizar este proyecto de investigación.

Fase 4: Calidad del agua. Para evaluar esta fase, se solicitó los datos del IRCA ante la sección de Salud Ambiental del Instituto Departamental de Salud de Nariño, lo anterior se realizó contando con el apoyo a través de la sección Ventanilla Única – Gobernación de Nariño (Mecanismo de evaluación y viabilización de proyectos del sector agua potable y saneamiento básico) en cumplimiento con los compromisos pactados en la mesa técnica del agua del programa Territorio Progreso Tangua. Estos datos fueron solicitados el día 15 de agosto de 2023.

Al momento de la respuesta estaban en vigencia los datos del año 2022 mientras que para el 2023 estaban realizados únicamente para el primer semestre, por lo tanto, se trabajó con los consolidados hasta el año 2022. En el **Anexo G** se encuentra el archivo con la respuesta por parte del SIVICAP.

En este orden de ideas, continuamos con la evaluación de los 4 acueductos rurales que pasaron la fase 3, teniendo como objetivo principal descartar a los acueductos que no cumplan con los parámetros mínimos establecidos según el reglamento del sector de agua potable (RAS, 2000).

En la **Tabla 7** se observan los valores puntuales para cada acueducto de los análisis de calidad del agua del IRCA otorgados por el Instituto departamental de salud de Nariño para el año del 2022 (siendo para este año el reporte más actualizado por el IDS desde la fecha de su solicitud).

Tabla 7.

Parámetros de calidad del agua – Fase 4

Parámetros	Unidad	Palizada bajo y Concepción alto	El Tambor	Vergel	Cebadal y Buena Esperanza
pH	pH	6.8	6,8	6,9	Sin datos
Color aparente	UPC	5	0,5	5	Sin datos
Turbiedad	UNT	0,5	0,5	0,5	Sin datos
Conductividad	µs/cm	134	131	224	Sin datos
Temperatura	°C	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
Coliformes Totales	UFC	613,1	148,3	727	Sin datos

En conformidad con la tabla C.2.1. del título C de la Resolución 1096 del 2000 (RAS, 2000), la cual se presenta en la **Ilustración 2**, se identifican a los acueductos rurales de la palizada bajo y concepción alto, y del Vergel, como unas fuentes deficientes debido a sus altos porcentajes de coliformes totales, por lo que, necesitan de un pretratamiento, coagulación, sedimentación,

filtración lenta y desinfección. Para el caso del acueducto rural del Cebadal y Buena Esperanza no se presenta ningún reporte del IRCA por lo que no podemos evaluarlo dentro de nuestro proceso de selección quedando inmediatamente eliminado. Mediante el diagnostico de evaluación logramos obtener al acueducto rural ubicado en la vereda El Tambor. Además de este criterio también se tuvo en cuenta la necesidad de la existencia de una caseta en donde deberá ir instalado el prototipo fotovoltaico para que no genere ese sobre costo, para el caso de la vereda El Tambor este factor si aplica de modo que su selección es totalmente viable. (Ver **Ilustración 12**).

Objetivo 2. Realizar los planos a detalle de las principales estructuras hidráulicas del acueducto rural seleccionado.

Al realizar las visitas descritas dentro de la metodología del objetivo 2, se realizaron mediciones en campo de las estructuras hidráulicas y posteriormente se dibujaron los planos de cada una de las estructuras hidráulicas que componen al sistema de suministro de agua del acueducto de la vereda El Tambor mediante la aplicación AutoCAD. Los planos se implantaron a la topografía otorgada por un funcionario de la Ventanilla Única de la Gobernación de Nariño (ver **Ilustración 7**), acorde a compromisos pactados al proyecto interinstitucional de proyección e interacción social que se estuvo llevando a cabo con diferentes instituciones.

Ilustración 7.

Levantamiento topográfico

Las primeras estructuras que se observaron en el recorrido fueron la cajilla de nacimiento y las cajillas recolectoras, estas estructuras se pueden observar en la **Ilustración 8**.

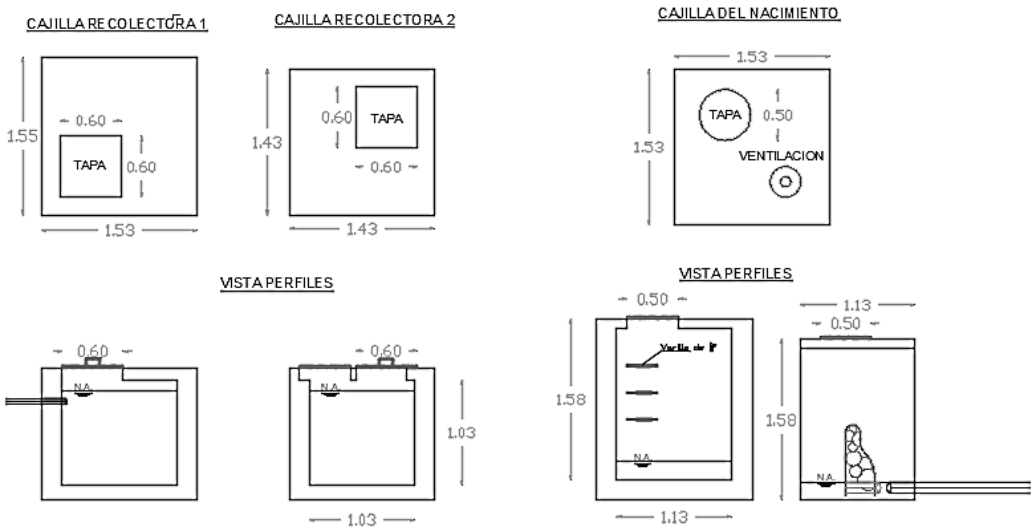
Ilustración 8.

Cajilla de nacimiento y cajillas de recolección

A continuación, se muestran las vistas en perfil y en planta de las estructuras mencionadas que se obtuvieron en el software AutoCAD (todas las medidas en metros).

Ilustración 9.

Vista en planta y en perfil de las cajillas



La cajilla localizada en el nacimiento de la fuente capta el agua de un manantial subterráneo que conduce el agua a través de una tubería de 3”, esta agua muestra una filtración de manera natural. El agua vuelve a pasar por una tubería de 3” hasta las 2 cajillas de recolección que se conducen finalmente a través de la aducción hacia el desarenador.

La estructura del desarenador capta el agua a través de 3 diferentes puntos, dos tuberías, una de 3” y otra de 2” (ver **Ilustración 10**), que conducen el agua desde las cajillas, y una última tubería de 4” que suministra el agua directamente en la zona de sedimentación del desarenador. El desarenador se compone de 4 zonas, en la primera zona de aquietamiento encontramos 3 cajillas de inspección y dos zonas de evacuación del caudal de excesos, conduciéndose hacia la zona de evacuación de lodos. La zona de entrada posee una pantalla de 6 orificios que se encargan de reducir la velocidad del agua. La zona de sedimentación es de 7.94 m * 2.40m y dos pantallas a la entrada y salida del agua. La zona de almacenamiento de lodos se compone de una válvula de compuerta de 6” que permite conducir los lodos hacia una tubería que con ayuda del agua de excesos se conducen hacia otras fuentes. Finalmente, la zona de salida conducía el agua a través de una tubería de 3”

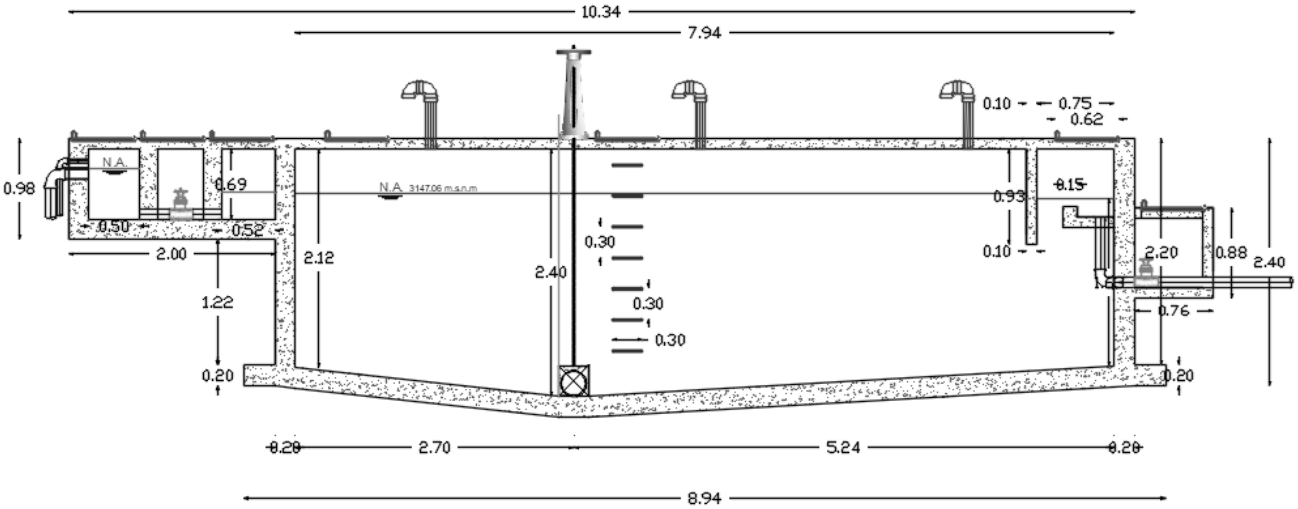
Ilustración 10.

Desarenador

En la **Ilustración 11** se muestra la vista en perfil del desarenador (todas las medidas en metros).

Ilustración 11.

Vista en perfil del desarenador



El agua se transmite a través de la conducción hacia el tanque de almacenamiento. Esta estructura se compone de 3 zonas que suministran agua a las veredas El Tambor y el Cebadal, a través de la cámara de reparto (ver **Ilustración 14**).. En esta estructura también encontramos la caseta en donde se realiza el proceso de desinfección a través de cloro en pastillas. En esta estructura se realizaron mediciones del caudal a través del método volumétrico en donde se tomó

la cantidad de agua que llegaba al tanque de almacenamiento antes de ser distribuida a las diferentes zonas de reparto en un balde de 10 litros, posteriormente se tomó el tiempo y se lo dividió. El caudal se midió 3 veces y se promedió, dando un resultado de 8.45 L/s.

Ilustración 12.

Tanque de almacenamiento, cámara de reparto y caseta de cloración

El tanque de almacenamiento, cuyas dimensiones son 6.30 m de base, 12.10 m de largo y 3.30 m de alto, presenta un volumen total de 251.6 $m3$ (ver **Ilustración 13**).

Para determinar el tiempo de retención hidráulico del sistema, se aplicó la ecuación TRH = V/Q, donde V representa el volumen del sistema en metros cúbicos y Q el caudal en metros cúbicos

47 Evaluación de un prototipo fotovoltaico para la desinfección del agua por segundo. Sustituyendo los valores obtenidos previamente, es decir, V = 251.6 m³ y Q = 0.0085 m³/s, se obtuvo un tiempo de retención hidráulica de 29600 segundos. Este valor de tiempo de retención puede considerarse elevado. Según Metcalf & Eddy (2013), un tiempo de retención prolongado podría conllevar una disminución en la calidad del agua debido a la absorción de sustancias indeseables de las paredes del tanque y a una reducción en los niveles de cloro residual.

Ilustración 13.

Vista en planta del tanque de almacenamiento

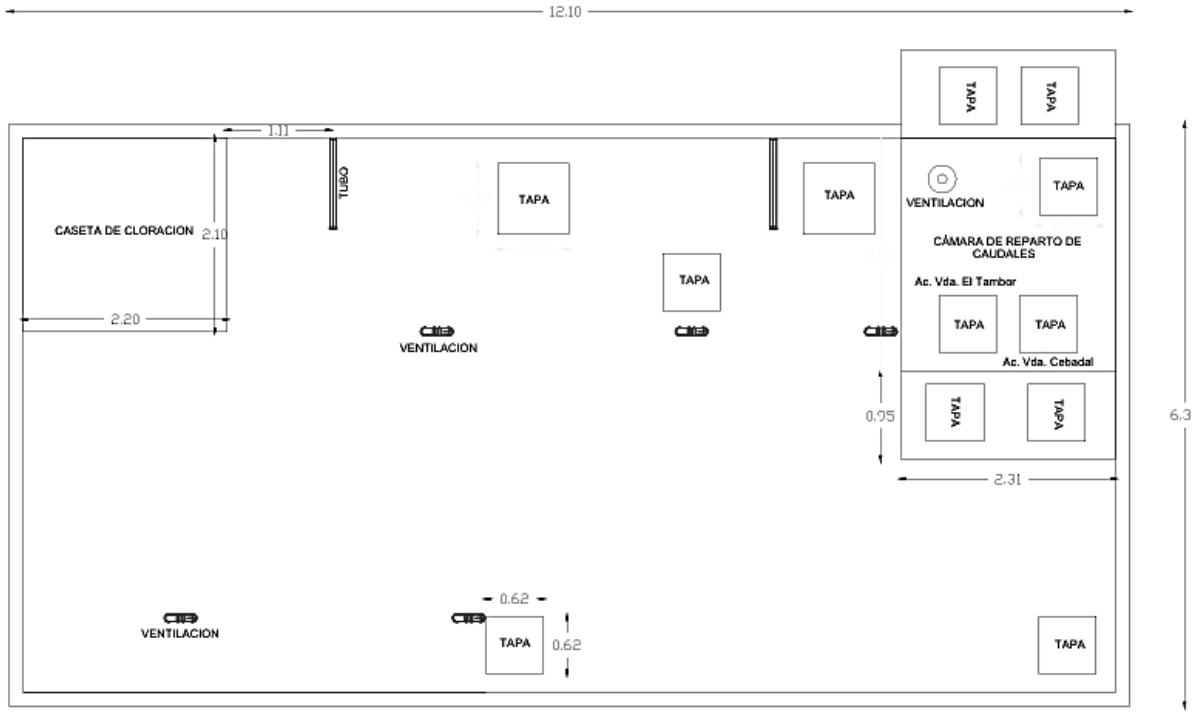


Ilustración 14.

Vista en perfil de la cámara de reparto

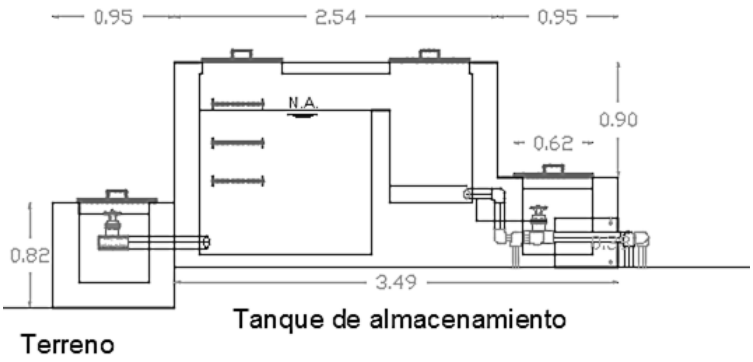
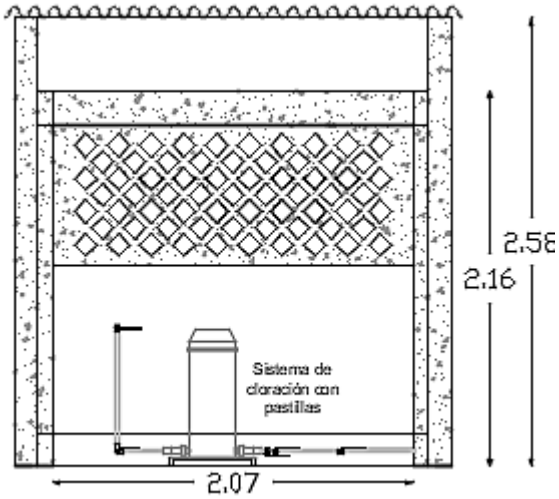


Ilustración 15.

Vista interna caseta - proceso de desinfección



En el **Anexo K** se pueden apreciar los planos realizados en AutoCAD del levantamiento de estructuras hidráulicas de la vereda El Tambor.

Objetivo 3. Comparar la eficiencia del actual proceso de desinfección del acueducto rural seleccionado, con la eficiencia de desinfección generada por el equipo dosificador electrónico, operando bajo condiciones de laboratorio.

A continuación, se presenta una tabla que detalla las jornadas de muestreo realizadas durante un periodo de 12 días. En ella se incluyen la fecha, la hora y el estado del clima para cada una de

las muestras recolectadas, para el caso de la georreferenciación de las muestras tipo M1 y M3 éstas tienen la siguiente coordenada N 01°08'29.6" W077°21'23.8" correspondiente al punto de la cámara de reparto.

Tabla 8.

Jornadas de muestreo

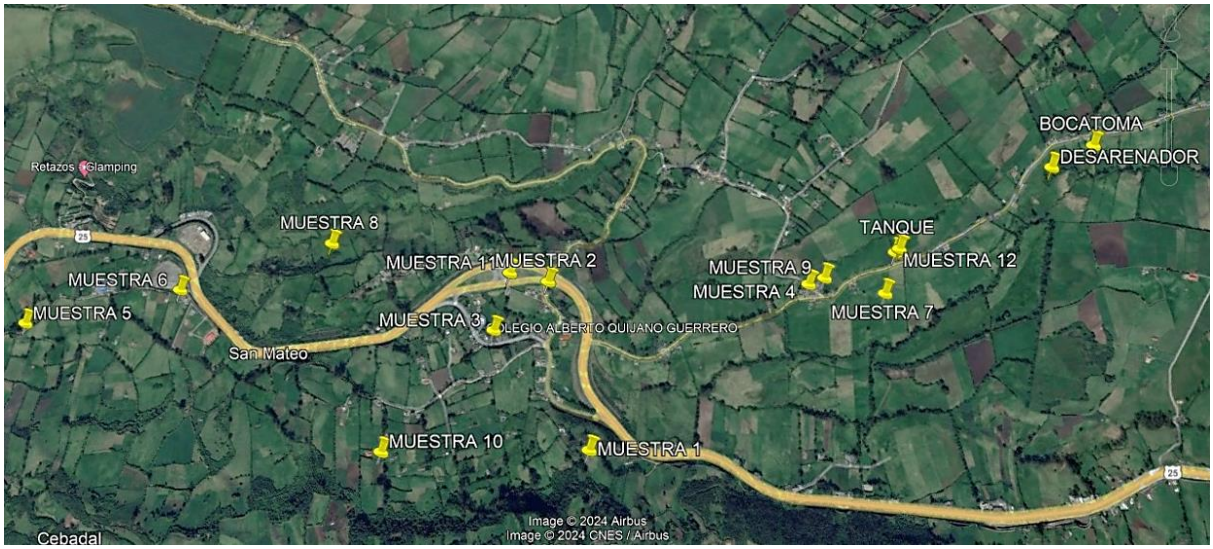
Plan de muestreo tipo M1, M2 Y M3					
Jornada	**Fecha**	**Hora**	**Clima**	**Tipo M1 y M3**	**Tipo M2**
1	24/07/2024	7:00 A.M	Nublado	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°07'48.7" W077°21'29.4"
2	29/07/2024	7:02 A.M	Lluvioso	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°07'57.2" W077°21'46.6"
3	30/07/2024	6:52 A.M	Nublado	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°07'48.9" W077°21'46.4"
4	31/07/2024	7:20 A.M	Nublado	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°08'19.4" W077°21'27.3"
5	1/08/2024	6:59 A.M	Nublado	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°07'07.2" W077°22'22.8"
6	2/08/2024	6:40 A.M	Lluvioso	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°07'23.9" W077°22'13.7"
7	3/08/2024	7:32 A.M	Nublado	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°08'25.2" W077°21'21.0"
8	5/08/2024	7:19 A.M	Nublado	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°07'26.9" W077°22'06.5"
9	6/08/2024	6:25 A.M	Nublado	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°08'21.2" W077°21'26.7"
10	8/08/2024	8:31 A.M	Nublado	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°07'53.2" W077°21'44.2"
11	9/08/2024	6:22 A.M	Nublado	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°07'54.5" W077°21'50.2"

Plan de muestreo tipo M1, M2 Y M3					
Jornada	**Fecha**	**Hora**	**Clima**	**Tipo M1 y M3**	**Tipo M2**
12	12/08/2024	6:03 A.M	Lluvioso	N 01°08'29.6" W077°21'23.8	N 01°08'29.0" W077°21'23.8"

En la siguiente ilustración elaborada a través de Google Earth, se puede observar el área de muestreo seleccionada donde se llevaron a cabo las diferentes tomas de muestras de agua. La localización precisa de los puntos de muestreo permite una mejor contextualización geográfica del estudio, facilitando la interpretación de los resultados y asegurando que las muestras sean representativas de la zona de interés.

Ilustración 16.

Localización toma de muestreos Tipo M2



Fuente: Google Earth

Las muestras una vez tomadas, fueron llevadas inmediatamente para su análisis en los laboratorios de Alvernia, el tiempo promedio transcurrido entre su toma y su procesamiento en Laboratorio era aproximadamente de 45 minutos (tiempo de recorrido entre la Vereda El Tambor y las instalaciones de Alvernia de la Universidad Mariana). A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Parámetros fisicoquímicos

El pH es la medida de acidez o alcalinidad de un cuerpo de agua, según la Resolución 2115 (2007), El valor para el potencial de hidrógeno del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0 pH.

En la siguiente tabla podemos observar los resultados de los valores de pH obtenidos, verificando el cumplimiento normativo:

Tabla 9.

Datos de pH (Unidad pH)

Jornada	Tipo M1	Cumple Normativa (M1)	Tipo M2	Cumple Normativa (M2)	Tipo M3	Cumple Normativa (M3)
1	6,5	Si	6,5	Si	6,5	Si
2	6,5	Si	6,6	Si	6,5	Si
3	6,5	Si	6,6	Si	6,6	Si
4	6,4	No	6,5	Si	6,5	Si
5	6,3	No	6,9	Si	6,5	Si
6	6,3	No	6,9	Si	6,5	Si
7	6,4	No	6,6	Si	6,5	Si
8	6,3	No	6,9	Si	6,9	Si
9	6,3	No	6,4	No	6,5	Si
10	6,4	No	6,6	Si	6,5	Si
11	6,5	Si	6,5	Si	6,5	Si
12	6,3	No	6,4	No	6,3	No
Promedio	6,39		6,60		6,51	
Desv. Estándar	0,09		0,19		0,13	

El proceso de desinfección aplicado a la muestra tipo M3, que emplea cloro granular a base de hipoclorito de calcio ($Ca(OCl)_2$), demuestra ser efectivo en ajustar el pH de la muestra M1, llevándolo dentro del rango normativo en la mayoría de las jornadas evaluadas.

Según (CDC, 2010), el incremento del pH en las muestras tipo M3 se atribuye a la naturaleza alcalina del hipoclorito de calcio, el cual, al disolverse en agua, libera iones calcio (Ca^{2+}) y genera un efecto buffer (amortiguador), reduciendo la acidez del agua. Esta reacción puede expresarse químicamente como: $Ca(OCl)_2 + H_2O \rightarrow 2HOCI + Ca(OH)_2$.

El hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) aumenta el pH, favoreciendo un ambiente menos corrosivo y garantizando que el agua sea más segura para el consumo humano.

Por otro lado, los resultados indican que las muestras tipo M1 presentan valores que en su mayoría no cumplen con el rango normativo, resaltando la necesidad del tratamiento de desinfección.

Temperatura

La temperatura del agua es un parámetro esencial que afecta tanto las propiedades fisicoquímicas del agua como la eficiencia de los procesos de desinfección. Aunque la Resolución 2115 (2007), no especifica límites para la temperatura, es fundamental mantener condiciones que garanticen estabilidad en el tratamiento y que no alteren las características organolépticas del agua.

A continuación, se analiza el comportamiento de la temperatura de las muestras:

Tabla 10.

Datos de Temperatura (°)

Jornada	Tipo M1	Tipo M2	Tipo M3
1	13,9	14,2	14,1

Jornada	Tipo M1	Tipo M2	Tipo M3
2	11,4	11,3	11,6
3	12,3	13,7	12,5
4	13,2	13,3	15
5	12,5	13,8	16,2
6	12,7	13	15,8
7	12,4	12,2	14,1
8	11,2	11	16,6
9	15	14,9	15,8
10	11,9	11,7	12,2
11	12,5	11,6	15
12	11,6	12,6	13,2
Promedio	12,6	12,8	14,3
Desv. Estándar	1,08	1,24	1,67

La temperatura promedio de la muestra Tipo M3, tratada con cloro granular (hipoclorito de calcio), fue de 14,3 °C, significativamente superior a las muestras Tipo M1 (12,6 °) y Tipo M2 (12,8 °C). Este aumento no puede atribuirse únicamente a la reacción exotérmica del cloro, ya que dicho proceso genera incrementos leves de temperatura. Algunas posibles explicaciones:

- Reacciones químicas secundarias: El cloro granular reacciona con compuestos como materia orgánica o amoníaco, generando calor adicional (National Research Council, 1980).
- Condiciones operativas: Factores como exposición ambiental o manipulación prolongada pudieron influir en el resultado (WHO, 2017).

El incremento podría mejorar la eficacia del cloro como desinfectante al aumentar su solubilidad, pero requiere control para evitar alteraciones en la calidad del agua.

Turbiedad

La turbiedad es un parámetro crucial, ya que indica la presencia de partículas suspendidas en el agua, lo que puede afectar no solo la calidad estética del agua sino también su seguridad sanitaria. Según la Resolución 2115 (2007), se establece que la turbiedad en el agua potable no debe exceder 2 UNT, para determinar este parámetro, se utilizó el turbidímetro modelo HI93703, que garantiza precisión y confiabilidad en las mediciones realizadas

En la siguiente tabla podemos observar los resultados de los valores de Turbiedad obtenidos, verificando el cumplimiento normativo:

Tabla 11.

Datos de Turbiedad (UNT)

Jornada	Tipo M1	Cumple Normativa M1	Tipo M2	Cumple Normativa M2	Tipo M3	Cumple Normativa M3
1	0.2	Si	0.1	Si	0.1	Si
2	0.3	Si	0.1	Si	0.1	Si
3	0.1	Si	0.1	Si	0.1	Si
4	0.1	Si	0.1	Si	0.1	Si
5	0.2	Si	0.1	Si	0.1	Si
6	0.3	Si	0.1	Si	0.1	Si
7	0.1	Si	0.1	Si	0.1	Si
8	0.1	Si	0.1	Si	0.1	Si
9	0.2	Si	0.1	Si	0.1	Si
10	0.3	Si	0.1	Si	0.1	Si
11	0.4	Si	0.1	Si	0.1	Si
12	0.5	Si	0.1	Si	0.1	Si
Promedio	0.2		0.1		0.1	
Desv. Estándar	0.1		0.1		0.1	

Los valores de turbiedad registrados en las tres muestras están muy por debajo del límite máximo de 2 UNT establecido por la Resolución 2115 (2007), en la siguiente imagen se puede analizar que el agua es clara y presenta una mínima concentración de partículas suspendidas, lo

cual es indicativo de una buena calidad del agua, la cual al ser un agua de una fuente tipo manantial ha pasado por un proceso de filtración natural.

Ilustración 17.

Entrada tanque de almacenamiento

Color aparente

El color aparente del agua, medido en Unidades de Platino-Cobalto (UPC), es un parámetro que refleja la presencia de sustancias como materia orgánica, metales o productos químicos. Según la Resolución 2115 de 2007, el límite máximo aceptable para agua potable es de 15 UPC.

En la siguiente tabla podemos observar los resultados de los valores de Color aparente obtenidos, verificando el cumplimiento normativo:

Tabla 12.

Datos de Color aparente (UPC)

Jornada	Tipo M1	Cumple Normativa M1	Tipo M2	Cumple Normativa M2	Tipo M3	Cumple Normativa M3
1	0	Si	0	Si	0	Si
2	0	Si	0	Si	0	Si
3	0	Si	0	Si	0	Si
4	0	Si	0	Si	0	Si
5	0	Si	0	Si	0	Si
6	0	Si	0	Si	0	Si
7	0	Si	0	Si	0	Si
8	0	Si	0	Si	0	Si
9	0	Si	0	Si	0	Si
10	0	Si	0	Si	0	Si
11	0	Si	0	Si	0	Si
12	0	Si	0	Si	0	Si
Promedio	0.0		0.00		0.00	
Desv. Estándar	0.0		0.0		0.0	

Los resultados obtenidos para las muestras Tipo M1, Tipo M2 y Tipo M3 mostraron valores constantes de 0 UPC, como se puede observar en la **Ilustración 17**, el agua no carece de color visible y cumple con los estándares establecidos para el consumo humano según la Resolución 2115, (2007).

El hecho de que todas las muestras, tipo M2 (agua tratada con cloro granular) y M3 (agua de tipo M1 tratada con cloro granular), también registraran valores de 0 UPC sugiere los siguientes aspectos:

- Ausencia de sustancias colorantes: Las muestras originales no contenían materia orgánica o metales capaces de generar color.
- Reacciones químicas controladas: El tratamiento con cloro granular no introdujo compuestos que alteraran el color, ya que las posibles reacciones con contaminantes no generaron subproductos visibles. Según la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2017), el color del agua puede permanecer inalterado cuando las concentraciones de materia orgánica y metales son bajas.

Esto indica que el tratamiento con cloro granular no ha introducido compuestos que modifiquen el color del agua, y que el agua tanto antes como después del tratamiento mantiene características de color aparente dentro de los límites aceptables según la resolución 2115.

Alcalinidad

Según la Resolución 2115 (2007), la alcalinidad mide la capacidad de una solución para neutralizar ácidos, un parámetro crucial para mantener la estabilidad química del agua, el límite máximo aceptable para agua potable es de 200 mg/L.

En la siguiente tabla podemos observar los resultados de los valores de Alcalinidad obtenidos, verificando el cumplimiento normativo:

Tabla 13.

Datos de Alcalinidad (mg/L)

Jornada	Tipo M1	Cumple Normativa M1	Tipo M2	Cumple Normativa M2	Tipo M3	Cumple Normativa M3
1	1.41	Si	1.7	Si	1.58	Si
2	1.92	Si	1.44	Si	1.83	Si
3	2.13	Si	1.1	Si	2.34	Si
4	1.75	Si	1.23	Si	1.36	Si
5	1.11	Si	1.06	Si	1.06	Si
6	1.02	Si	1.1	Si	0.93	Si
7	1.07	Si	1.1	Si	1.15	Si
8	1.11	Si	1.32	Si	1.11	Si
9	1.32	Si	1.11	Si	1.19	Si
10	0.89	Si	1.02	Si	1.11	Si
11	1.24	Si	1.19	Si	1.62	Si
12	1.32	Si	1.11	Si	1.75	Si
Promedio	1.36		1.21		1.42	

Jornada	Tipo M1	Cumple Normativa M1	Tipo M2	Cumple Normativa M2	Tipo M3	Cumple Normativa M3
Desv. Estándar	0.4		0.2		0.4	

Todos los valores de alcalinidad registrados están muy por debajo del límite máximo establecido por la Resolución 2115 de 2007, que es de 200 mg/L. Esto demuestra la buena calidad del agua y su cumplimiento con los requisitos para agua apta para el consumo humano. La estabilidad observada en los valores, incluso después del tratamiento con cloro granular (muestra Tipo M3), indica que este proceso no afecta de manera significativa la capacidad de amortiguación del agua.

Estos resultados son consistentes con estudios que señalan que el cloro granular, al interactuar con el agua, no altera de forma relevante la composición de carbonatos presentes, lo que permite mantener la alcalinidad dentro de rangos aceptables (WHO, 2017). Por lo tanto, el proceso de desinfección con cloro granular no afecta negativamente este parámetro, preservando las propiedades químicas necesarias para garantizar la calidad del agua.

Olor y Sabor.

Durante los días de muestreo, se realizaron pruebas de olor y sabor para evaluar la calidad organoléptica del agua antes y después de su desinfección. Estas pruebas sensoriales fueron llevadas a cabo por un grupo de cuatro personas, dado que el olor del agua puede utilizarse de manera subjetiva para describir cualitativamente su calidad, estado, procedencia o contenido.

Las pruebas de olor, realizadas en las muestras Tipo M1, M2 y M3, confirmaron que todas eran inodoras. Esto sugiere una buena calidad del agua y la ausencia de sustancias que suelen generar olores característicos, como compuestos sulfurosos o materia orgánica en descomposición. Este resultado está alineado con lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2017)**,** que destaca que el agua potable debe ser inodora para ser aceptada por los consumidores.

En cuanto al sabor, las pruebas se limitaron a las muestras Tipo M3 (agua desinfectada), como medida precautoria para garantizar la seguridad de los evaluadores. Ninguna de las muestras analizadas presentó problemas relacionados con el sabor, lo que refuerza la efectividad del proceso de desinfección y la calidad final del agua. Estudios previos han indicado que el tratamiento con cloro granular, cuando se realiza correctamente, no debería generar sabores detectables, siempre y cuando las concentraciones de cloro residual estén dentro de los rangos recomendados (WHO, 2017).

Los resultados obtenidos mostraron que tanto el olor como el sabor del agua en las muestras M1, M2 y M3 cumplieron con los estándares establecidos en la Resolución 2115 (2007). Según esta normativa, el agua potable no debe presentar olores ni sabores objetables que la hagan inaceptable para el consumo. En todas las pruebas realizadas, se verificó que el olor y el sabor estaban dentro de los límites aceptables, confirmando que el agua tratada era apta para el consumo humano desde el punto de vista organoléptico.

Tabla 14.

Valor máximo aceptable del olor y sabor

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable

Fuente: (Resolucion 2115, 2007)

Parámetros microbiológicos.

Coliformes totales. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano, La Resolución 2115 (2007), establece como 0 UFC/100mL el valor de coliformes totales en el agua potable. En la siguiente tabla se observar los resultados de Coliformes Totales obtenidos:

Tabla 15.

Coliformes Totales (UFC)

Jornada	Tipo M1	Cumple Normativa M1	Tipo M2	Cumple Normativa M2	Tipo M3	Cumple Normativa M3
1	146.2	No	0.0	Si	0.0	Si
2	17.3	No	12.1	No	0.0	Si
3	2.0	No	0.00	Si	0.0	Si
4	107.6	No	0.00	Si	0.0	Si
5	7.5	No	5.2	No	0.0	Si
6	3.0	No	0.00	Si	0.0	Si
7	195.1	No	3	No	0.0	Si
8	45.5	No	0.0	Si	0.0	Si
9	38.9	No	0.0	Si	0.0	Si
10	46.4	No	0.0	Si	0.0	Si
11	3.1	No	0.0	Si	0.0	Si
12	1553.1	No	1732.9	No	0.0	Si
Promedio	255.5		146.1		0.0	

Los datos obtenidos muestran lo siguiente:

- Tipo M1: La muestra Tipo M1 presenta unos valores moderados de coliformes totales con un promedio de 255,5 UFC/100mL. Este valor excede el valor límite establecido por la normativa sanitaria para agua potable, indicando una contaminación significativa con microorganismos. Los niveles varían considerablemente entre las fechas de muestreo, lo que sugiere fluctuaciones en la calidad microbiológica del agua y la posible presencia de fuentes de contaminación.
- Tipo M2: La muestra Tipo M2 presentó una concentración promedio de 146,1 UFC/100 mL, superando ligeramente el límite permisible establecido para agua potable según la Resolución 2115, (2007). Este resultado evidencia que el proceso de desinfección implementado en el acueducto de la vereda El Tambor no cumple con los estándares de calidad microbiológica requeridos, lo que genera riesgos significativos para la salud pública.
- Dado que las muestras Tipo M2 se recolectaron en puntos estratégicos de la red de distribución, específicamente en los más distantes del sistema, estos resultados reflejan

una baja eficiencia en el proceso de desinfección actual. Esta insuficiencia podría estar relacionada con factores como la dosificación inicial de cloro, lo cual es un problema común en redes de distribución extensas y mal optimizadas.

- Tipo M3: Las muestras Tipo M3, que es la misma que Tipo M1, pero tratada con cloro granular, presenta una concentración de 0,0 UFC/100mL en todos los casos muestreados. Esto indica que el proceso de desinfección con cloro granular ha sido altamente efectivo en la eliminación de coliformes totales, alcanzando niveles no detectables.

Ilustración 18.

Muestras de Coliformes Totales Tipo M1, M2 y M3

Coliformes totales (E. Coli)

La Resolución 2115 (2007), establece que el agua potable no debe contener Escherichia Coli (E. Coli), su valor debe ser de 0 UFC/100 mL, ya que su presencia indica contaminación fecal y un riesgo significativo para la salud pública.

En la siguiente tabla podemos observar los resultados de Escherichia Coli obtenidos.

Tabla 16.

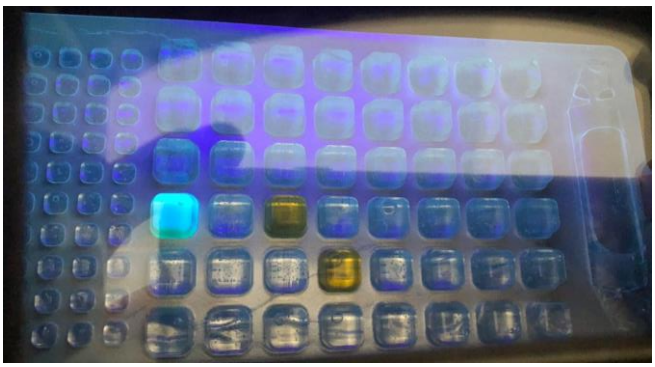
Datos de Escherichia Coli (UFC)

Jornada	Tipo M1	Cumple Normativa M1	Tipo M2	Cumple Normativa M2	Tipo M3	Cumple Normativa M3
1	0.0	Si	0.0	Si	0.0	Si
2	0.0	Si	0.0	Si	0.0	Si
3	0.0	Si	0.0	Si	0.0	Si
4	1.0	No	0.0	Si	0.0	Si
5	0.0	Si	0.0	Si	0.0	Si
6	0.0	Si	0.0	Si	0.0	Si
7	0.0	Si	0.0	Si	0.0	Si
8	0.0	Si	0.0	Si	0.0	Si
9	0.0	Si	0.0	Si	0.0	Si
10	0.0	Si	0.0	Si	0.0	Si
11	1.0	No	0.0	Si	0.0	Si
12	0.0	Si	0.0	Si	0.0	Si
Promedio	0.2		0.00		0.00	

- **Tipo M1**: Las muestras Tipo M1, muestran en general la ausencia de E. Coli en la mayoría de los días de muestreo. Sin embargo, se detectó E. Coli en dos ocasiones, el 31 de julio y el 9 de agosto de 2024, con una mínima concentración de 1,0 UFC/100 mL, resultando un valor promedio de 0,2 UFC/100 mL. Aunque los niveles de E. Coli son bajos, su presencia en cualquier cantidad es inaceptable según la normatividad sanitaria, lo que señala la necesidad de un tratamiento eficiente de desinfección en este acueducto.

Ilustración 19.

Presencia de E. Coli



- **Tipo M2**: Las muestras Tipo M2, que corresponden a un punto de red de distribución, no muestran presencia de E. Coli en ninguna de las fechas de muestreo, manteniendo un nivel de 0,0 UFC/100 mL. Este resultado indica que el tratamiento o proceso de desinfección, aunque reporte unos valores por debajo del mínimo de concentración de Cloro residual libre permisible, fue efectivo para realizar la eliminación de E. Coli.
- **Tipo M3**: Las muestras Tipo M3, también reportaron un nivel de 0,0 UFC/100 mL en todas las fechas de muestreo. Esto confirma que el proceso de desinfección es completamente eficiente en la eliminación de E. Coli, cumpliendo con los criterios de la normatividad sanitaria, garantizando así la buena calidad del agua para su consumo.

La comparación directa entre los resultados microbiológicos de las muestras Tipo M1 y M3 demuestra la efectividad del proceso de desinfección empleando el prototipo de desinfección y el cloro granular. La completa ausencia de coliformes y E. Coli en las muestras Tipo M3 indica el cumplimiento de lo estipulado en la Resolución 2115 (2007), para el agua potable, y es un claro indicador que demuestra la eficiencia del proceso de desinfección realizado en el laboratorio, empleando la bomba dosificadora electromagnética de membrana, su alimentación energética empleando energía solar y el uso de hipoclorito de calcio o cloro granular al 70%. Estos resultados resaltan que, para lograr un eficiente proceso de desinfección, es importante contar con equipos dosificadores adecuados, preparar la solución madre o patrón de cloro respetando estrictamente su concentración, al igual que brindar una mezcla homogénea y un tiempo de contacto adecuado. Cabe resaltar que con todo lo anterior se contó o se realizó durante la jornada de muestreo por ello los resultados de este parámetro microbiológico ratifican la eficiencia del proceso de desinfección.

Demanda de cloro (Break point). Según EPA (2024)**,** la demanda de cloro se refiere a la cantidad de cloro que se debe añadir a una fuente de agua para desinfectarla de manera efectiva, eliminando microorganismos y otros contaminantes. Este parámetro es crucial en el tratamiento de agua potable, ya que garantiza que se utilice la cantidad adecuada de cloro para asegurar la calidad del agua sin generar subproductos nocivos.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de la demanda de cloro.

Tabla 17.

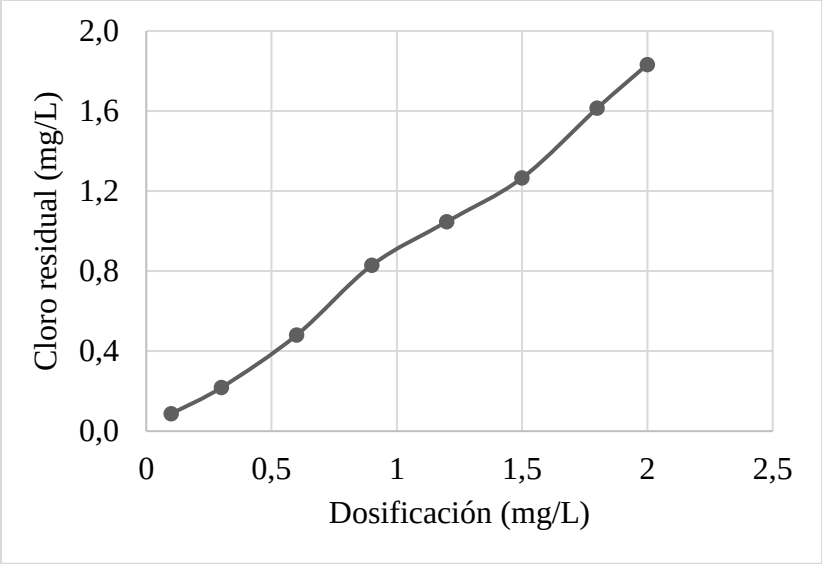
Demanda de Cloro

Frasco	Concentración Cl añadido mg/L	Vol. Cl añadido mL	Titulación mL	mg/L Cloro libre	Demanda de Cloro mg/L	% de Reducción de Cloro
1	0,1	2	0,03	0,087	0,013	12,73
2	0,3	6	0,06	0,218	0,082	27,27
3	0,6	12	0,12	0,480	0,120	20,0
4	0,9	18	0,2	0,829	0,071	7,88
5	1,2	24	0,25	1,047	0,153	12,73
6	1,5	30	0,3	1,265	0,235	15,64
7	1,8	36	0,38	1,615	0,185	10,30
8	2	40	0,43	1,833	0,167	8,36
				Promedio	0,128	14,36
Blanco	0,01					

De la **Tabla 17** se logra obtener la gráfica de la curva de demanda de cloro que se muestra a continuación.

Ilustración 20.

Curva de demanda de cloro



El análisis de las diferentes muestras evaluadas en laboratorio ha demostrado que el agua captada por el acueducto de la vereda El Tambor presenta características físicas excelentes, tales como su baja turbiedad, color y pH. Estas propiedades facilitan el tratamiento del agua, que, según lo establecido por la Resolución 0330 (2017), solo requiere procesos de filtración y desinfección. Es importante resaltar que, en este acueducto, la filtración se lleva a cabo de manera eficiente de forma natural, por lo que solo se requiere un proceso eficiente de desinfección, el cual fue realizado y probado bajo condiciones de laboratorio.

El comportamiento lineal observado en la gráfica de demanda de cloro ratifica la excelente calidad del agua en el acueducto de la vereda El Tambor, lo que sugiere que la demanda de cloro es baja. La ausencia de un punto de quiebre claro en la curva de demanda se puede explicar por varios factores relacionados con las características del agua. Probablemente el agua presenta bajos niveles de amoniaco y compuestos nitrogenados, lo que limita la formación de cloro combinado y simplifica la curva de demanda (Hazen, 2001). Además, la baja carga orgánica del agua implica que el cloro agregado no se consume significativamente en reacciones con materia orgánica, permitiendo que la curva de demanda se mantenga lineal (Vigneswaran, 2014). La alta calidad del agua, caracterizada por su baja turbiedad y contenido mínimo de contaminantes, contribuye a que no sea necesario un tratamiento químico complejo, como el que se generaría en un escenario con un punto de quiebre, donde el cloro reaccionaría intensamente con los contaminantes presentes.

Como resultado, la curva de demanda de cloro no muestra el comportamiento típico, y el cloro residual libre aumenta de manera progresiva, sin presentar un cambio abrupto que indique la completa oxidación de los productos del amoniaco.

En un escenario ideal, según (Zhu, 2013), la curva de demanda de cloro muestra un comportamiento característico, en el cual, inicialmente, el cloro añadido reacciona con los agentes reductores presentes en el agua, provocando una ligera disminución en la concentración de cloro residual. A medida que se añade más cloro, este reacciona con el amoniaco y las aminas orgánicas, formando un residual de cloro combinado, lo que se refleja en un aumento en la curva. Posteriormente, cuando estas reacciones se completan, se empieza a formar cloro residual libre, lo cual genera un descenso en la curva hasta llegar al punto de quiebre, donde la oxidación de los productos del amoniaco es total. En este punto, cualquier cantidad adicional de cloro genera cloro residual libre, mostrando otro incremento en la curva. Este punto de quiebre es crucial para determinar la demanda de cloro.

En el trabajo de grado de Ibargüen y Bernal (2008) titulado "Demanda de Cloro en el Acueducto Tribunas Córcega de la Ciudad de Pereira", se identificaron fenómenos similares a los observados en la evaluación de la calidad del agua del acueducto de la vereda El Tambor. En ambas investigaciones, la curva de demanda de cloro mostró un comportamiento lineal, en contraste con la forma ideal esperada. Esta tendencia se atribuye a la alta calidad del agua, que presenta bajos niveles de amoníaco y aminas orgánicas, resultando en una curva menos compleja. Como consecuencia, se optó por calcular la demanda de cloro promediando los valores obtenidos, en lugar de identificar un punto de quiebre claro.

Ibargüen y Bernal resaltan que esta baja complejidad de la curva de demanda de cloro indica una buena calidad de las fuentes de agua en el sistema de acueducto Tribunas Córcega, lo cual también se refleja en el análisis del acueducto de El Tambor. Ambos estudios coinciden en que la calidad del agua influye directamente en la curva de demanda de cloro, simplificando su comportamiento y destacando la efectividad de los procesos de potabilización en estas regiones. Esta consistencia entre los resultados de ambos estudios refuerza la conclusión de que las fuentes

de agua en estas áreas presentan características favorables, minimizando así la necesidad de un tratamiento químico más complejo.

La ausencia de un punto de quiebre claro sugiere que el comportamiento del cloro residual libre en el agua no presentó el patrón esperado, posiblemente debido a las características específicas del agua, como su baja carga orgánica y la baja presencia de amoníaco o compuestos nitrogenados (Vigneswaran, 2014). Dado que el punto de quiebre no se observó de manera definida, se optó por dosificar al valor máximo permisible según la Resolución 2115 (2007) que es de 2,0 mg/L.

Cloro residual libre

Según lo establecido en la Resolución 2115 (2007), el cloro residual libre en el agua potable es un parámetro esencial para evaluar la efectividad de los procesos de desinfección y garantizar la potabilidad del agua. De acuerdo con dicha normativa, la concentración de cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución de agua para consumo humano debe estar comprendida entre 0,3 y 2,0 mg/L.

En la siguiente tabla podemos observar los resultados del Cloro residual libre obtenidos:

Tabla 18.

Datos de Cloro residual libre (mg/L)

Jornada	Tipo M1	Tipo M2	Tipo M3 (Inst.)	Tipo M3 (30min cont.)	Unidades de reducción	%Reducción de Cloro
1	0,0	0,0	1,90	1,82	0,08	4,21
2	0,0	0,05	2,04	1,99	0,05	2,45
3	0,0	0,05	1,85	1,73	0,12	6,49
4	0,0	0,1	1,84	1,71	0,13	7,07
5	0,0	0,0	1,95	1,74	0,21	10,77
6	0,0	0,01	1,70	1,60	0,10	5,88

Jornada	Tipo M1	Tipo M2	Tipo M3 (Inst.)	Tipo M3 (30min cont.)	Unidades de reducción	%Reducción de Cloro
7	0,0	0,01	2,17	2,00	0,17	7,83
8	0,0	0,02	1,92	1,89	0,03	1,56
9	0,0	0,03	1,89	1,72	0,17	8,99
10	0,0	0,01	2,12	2,00	0,12	5,66
11	0,0	0,02	2,00	1,94	0,06	3,00
12	0,0	0,0	1,92	1,89	0,03	1,56
Promedio	0,0	0,03	1,94	1,84	0,11	5,46
Desv. Estándar	0,00	0,03	0,13	0,13	0,06	2,97

Es fundamental destacar que las mediciones de cloro residual se llevaron a cabo tanto de forma instantánea como después de 30 minutos de contacto, según la Resolución 0330, (2017), el tiempo de contacto es un factor crucial para considerar, ya que durante este período se producen reacciones entre el cloro, el agua y las sustancias presentes en ella. El tiempo mínimo necesario para una cloración efectiva depende de varios elementos, como la temperatura, el pH, la concentración y el tipo de organismos, con un mínimo de 20 minutos. Esto permite evaluar la efectividad del proceso de desinfección en distintos momentos, proporcionando una comprensión más completa de cómo el cloro actúa en el agua a lo largo del tiempo y asegurando que se logren los niveles adecuados para garantizar la calidad del agua tratada.

El valor de este parámetro en las muestras Tipo M1 fue consistentemente nulo (0,0 mg/L), lo que indica que el agua captada no presentaba ningún residuo de cloro en su estado inicial, valor que era de esperarse puesto que el agua es cruda.

En las muestras Tipo M2, los valores de cloro residual varían ligeramente, con un promedio de 0,03 mg/L. Esto muestra un incremento mínimo en comparación con M1, sugiriendo que algún nivel de cloro fue añadido, aunque no en cantidades suficientes para una desinfección efectiva según la normativa establecida.

De acuerdo con la Resolución 2115 (2007), la ausencia de cloro residual libre o las concentraciones extremadamente bajas este último tipo de muestras, pueden indicar un proceso de desinfección ineficiente, convirtiéndose lo anterior en un riesgo hacia la salud pública de los habitantes de la vereda El Tambor, ya que un agua sin una correcta desinfección puede ser un agente de enfermedades parasitarias y gastrointestinales, entre ellas se pueden resaltar las EDAS, gastroenteritis, disentería.

Tipo M3 (Instantánea): Este tipo de muestra proporciona una medida del nivel de cloro residual libre inmediatamente después de la aplicación del desinfectante, reflejando la cantidad de cloro libre disponible en el agua en el momento de la medición Para el Tipo M3, la concentración de cloro residual libre instantáneo osciló entre 1,70 mg/L y 2,17 mg/L, con un promedio de 1,94 mg/L. Estos valores están en un rango adecuado para asegurar la desinfección efectiva, superando el mínimo requerido de 0,3 mg/L establecido por la normativa.

La variabilidad en las concentraciones de cloro residual libre puede atribuirse a varios factores. En primer lugar, la cantidad de cloro añadido es un factor clave, ya que la dosis de cloro aplicada puede variar en cada muestra. A pesar de los esfuerzos por mantener una dosificación constante, pequeñas fluctuaciones en la cantidad de cloro introducido pueden generar diferencias en los niveles de cloro residual libre (Zhu, 2013).

Otro factor importante es la temperatura del agua, que influye significativamente en las reacciones químicas del proceso de desinfección. A temperaturas más altas, las reacciones químicas tienden a ocurrir con mayor rapidez, lo que puede resultar en una reducción más acelerada del cloro residual libre (Vigneswaran, 2014). Estos factores combinados contribuyen a las variaciones observadas en las concentraciones de cloro residual libre durante el proceso de desinfección.

A pesar de estas fluctuaciones, los niveles de cloro residual libre en el Tipo M3 esto muestra que el proceso de desinfección ha sido efectivo en la introducción de cloro en el agua.

Tipo M3 (30 minutos de contacto): Después de 30 minutos de contacto, la concentración de cloro residual libre en el Tipo M3 mostró una disminución, con valores que variaron entre 1,60 mg/L y 2,00 mg/L, resultando en un promedio de 1,83 mg/L. La reducción en la concentración de cloro residual libre después del tiempo de contacto promedio fue del 5,81%, con valores de reducción que oscilan entre 1,56% y 10,77%.

La disminución del cloro residual libre es un fenómeno normal y esperado, ya que el cloro se consume durante el proceso de desinfección al reaccionar con diversos compuestos presentes en el agua, como materia orgánica, amoníaco y microorganismos (Zhu, 2013). La variabilidad en el porcentaje de reducción del cloro residual libre puede ser influenciada por varios factores, entre ellos la presencia de sustancias reactivas que consumen cloro, así como la interacción con la carga microbiana presente en el agua (Vigneswaran, 2014). Por lo tanto, esta disminución no solo es un indicador del consumo de cloro, sino también de la efectividad del proceso de desinfección, ya que un mayor consumo de cloro sugiere una mayor capacidad del agua para eliminar los contaminantes biológicos y químicos (Cote, 2003)

La normativa establece que la concentración de cloro residual libre debe asegurar la eliminación de agentes patógenos y el mantenimiento de la calidad del agua potable a lo largo de las redes de distribución. Para ello, el análisis de ambos tipos de muestras es crucial para determinar la demanda de Cloro y/o reducción de su concentración en el agua desinfectada del acueducto de la vereda El Tambor, lo anterior es de suma importancia para determinar la dosis óptima de solución desinfectante.

Objetivo 4. Verificar que el kit fotovoltaico suministre la energía necesaria para el adecuado funcionamiento del sistema de desinfección.

A través de la página oficial de la NASA POWER DAV, se obtienen los datos de radiación solar en kW/m2 para el periodo 2018 -2022, debido a que no se disponen datos actualizados para el año 2023 y 2024. En la siguiente tabla se puede visualizar el número máximo y mínimo de captación de radiación solar de los años 2018 hasta 2022.

Ilustración 21.

Radiación por cada año y meses de la Vereda el Tambor en KW/h

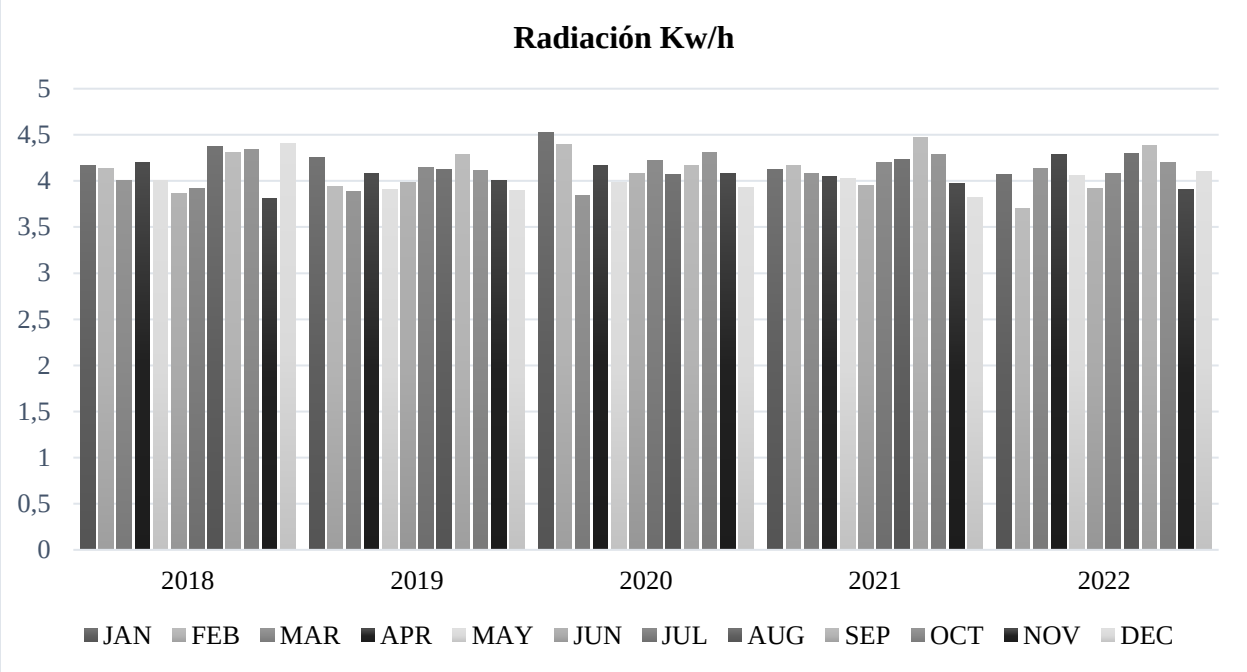


Tabla 19.

Radiación máximo y mínimo por año Vereda El Tambor en KW/h

AÑO									
2018		**2019**		**2020**		**2021**		**2022**	
MAX	***MIN***	***MAX***	***MIN***	***MAX***	***MIN***	***MAX***	***MIN***	***MAX***	***MIN***
DEC	NOV	SEP	MAR	JAN	MAR	SEP	DEC	SEP	FEB
4,41	3,81	4,29	3,89	4,53	3,84	4,47	3,82	4,38	3,7

De esta manera se puede observar que el promedio mínimo fue de 3.97 Kw/h mientras que el máximo fue de 4.17 kw/h, estos datos se comparan con los datos obtenidos de las coordenadas GPS de la zona donde está ubicado el panel solar. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Ilustración 22.

Radiación por mes y año - Sede Alvernia en KW/h

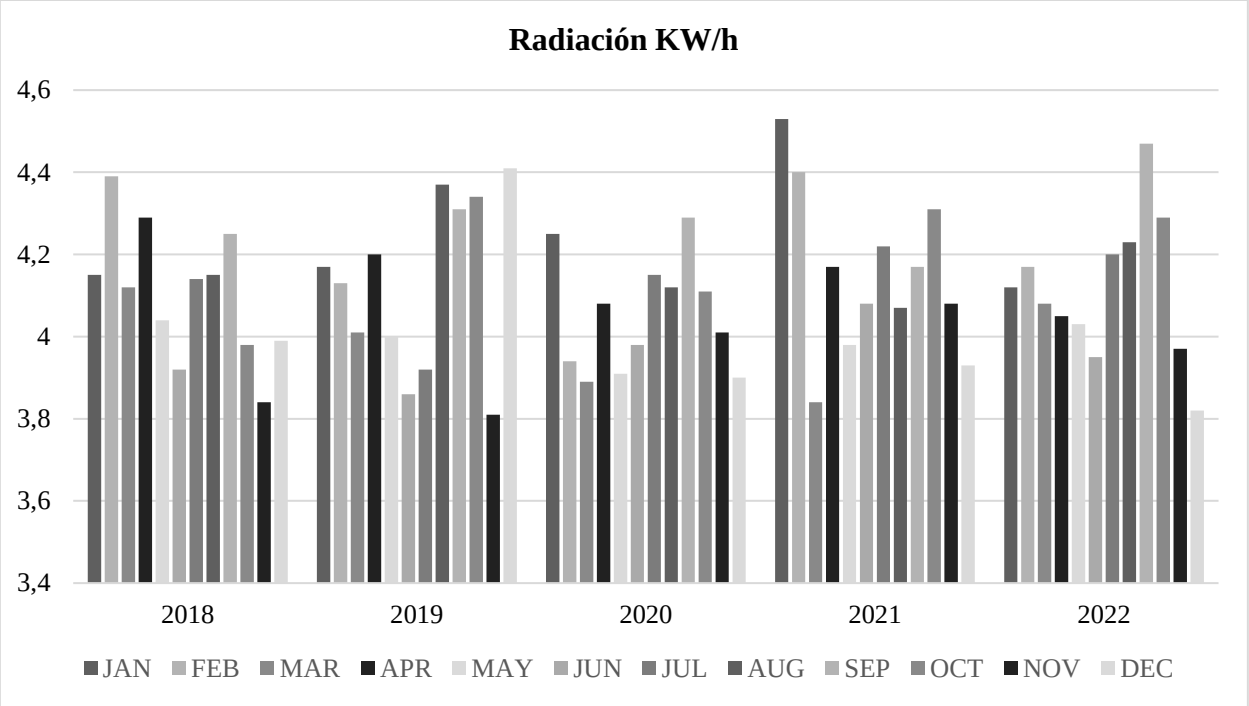


Tabla 20.

Radiación máximo y mínimo por año Alvernia Universidad Mariana en KW/h

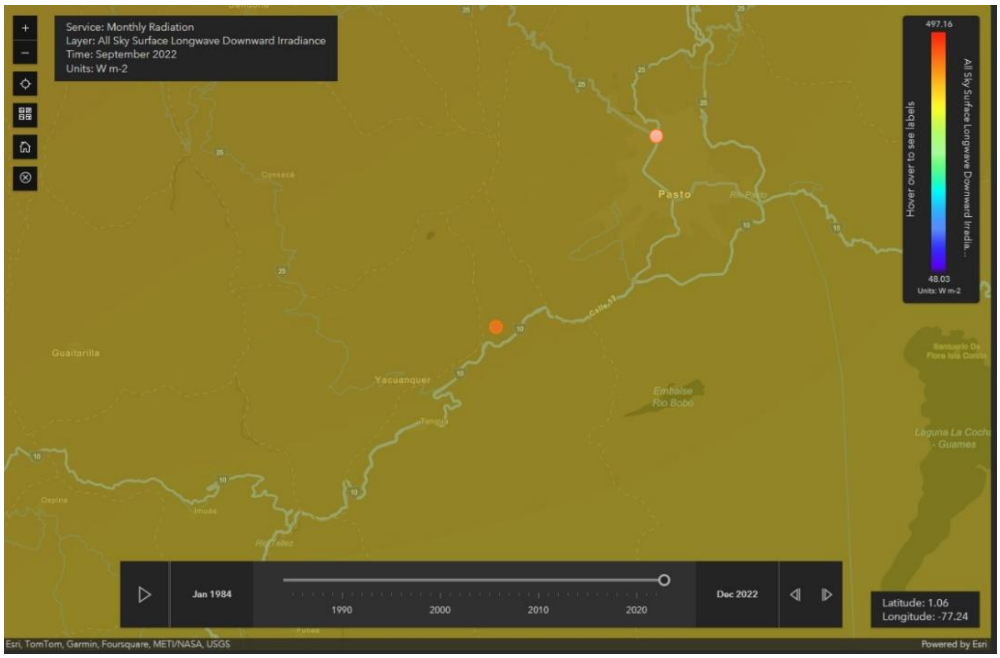
AÑO									
2018		**2019**		**2020**		**2021**		**2022**	
MAX	***MIN***	***MAX***	***MIN***	***MAX***	***MIN***	***MAX***	***MIN***	***MAX***	***MIN***
FEB	NOV	DEC	NOV	SEP	MAR	JAN	MAR	SEP	DEC
4,39	3,84	4,41	3,81	4,29	3,89	4,53	3,84	4,47	3,82

El análisis de la tabla revela que la radiación en la vereda El Tambor, en el municipio de Tangua, es similar a la radiación en la Sede Alvernia de la Universidad Mariana. Esto se debe a que las dos ubicaciones, según la aplicación, indica valores similares en radiación solar.

De igual manera, con la ayuda de la plataforma NASA POWER DAV (s.f.), se logró una mejor visualización de los lugares del proyecto mediante un mapa geográfico. Este mapa revela que, en el año 2022, específicamente en el mes de septiembre, la radiación fue alta, según la escala de colores. El color anaranjado indica un rango elevado de radiación, como se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 23.

Radiación zona Alvernia – T.A de la vereda El Tambor



Fuente: NASA POWER DAV (s.f.).

Versus prototipo instalado en Alvernia: Posteriormente se evaluó la energía que va a necesitar el sistema en su totalidad de tal manera que permita el correcto funcionamiento del equipo dosificador. Las características de dicho equipo correspondiente es MOD 1502 con un voltaje de 115 VAC como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 21.

Consumo de energía eléctrica del equipo dosificador

FUSIBLE VMS MF		
MOD.	**230 VAC**	**115 VAC**
2001	1 A	500mA
1802	1 A	500mA

1804	1.25 A	630mA
1502	800Ma	400mA
1504	1 A	500mA
1505	1.25 A	630mA
1004	800mA	400mA
1005	1 A	500mA
1010	1.25 A	630mA

Fuente: MANUAL OPERATIVO (2020).

Para calcular la potencia de la bomba dosificadora, se utiliza la siguiente formula:

$$P = V \times I$$

P: es potencia watts (W)

V: voltios (115Vac dato tomado de la ilustración del manual)

I: corriente en amperios (A)

$$P = (115Vac) \times (400mA)$$
$$P = (115Vac) \times 0.4\ A = 46W \approx 50W$$

La potencia que se necesita para funcionar es de 50W y para la potencia de la bomba en horas no solares se estima 14 horas.

Energía Bomba noche= 46W x 14h = 644W/h

Para la selección de la batería se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Potencia de la bomba
- ✓ Horario solar
- ✓ Panel solar

Tabla 22.

Potencia hora

Bomba Consumo	Panel solar produce
50Wh	450W

Tabla 23.

Horas útiles solar por día

Horas útiles	Total
7:00 am – 5:00 pm	10h

Tabla 24.

Horarios no solares

Horas no útiles	Total
5:00 pm – 7:00 am	14h

Para la selección de la batería, es necesario conocer la cantidad de horas solares disponibles por día. En este caso, se utilizó la página Tutiempo.net (2024), que proporciona un pronóstico de energía solar para la ciudad de Pasto. Según esta información, la radiación solar disponible es de 10 horas diarias; por lo tanto, durante las 14 horas restantes no se cuenta con radiación solar. A partir de lo anterior, se realiza la siguiente operación:

Energía noche= 50W x 14h = 700W/h

En teoría se requiere una batería de 700W/h que supla las 14 horas, por lo tanto, se requiere calcular el amperaje necesario, aplicando la ecuación de potencia, se obtiene:

$$\boldsymbol{700W/h} = 115\text{Vac} \times \text{I}$$

$$I = \frac{700W}{115Vac}$$

$$I = 6\ A/h$$

Por lo anterior se necesita una batería que este en el rango de 6 A/h de corriente y Voltaje de 12Vdc. Para el correcto funcionamiento del inversor se debe cumplir con las siguientes normas: mantener alejado de humedad o agua, mantener la ventilación y ausencia de obstrucciones a su alrededor para que el aire pueda circular libremente, no utilizar inversores cerca de materiales inflamables. Según, (BELTTT).

En este caso, el inversor recibe una entrada de 12 Vdc y convierte esta energía en una salida de 115 Vac. Además, debe proporcionar una potencia superior a 50 W, ya que la bomba requiere al menos esta cantidad para funcionar correctamente.

En este caso, se necesita un inversor porque la bomba funciona con corriente alterna (Vac), y la potencia del inversor debe ser superior a los 115 W que consume la bomba. El inversor disponible en el laboratorio tiene una capacidad de 600 W, por lo que es adecuado para esta aplicación.

$$P = V \times I$$
$$P = 115Va \times 0.4\ A$$
$$P = 46W$$

El panel solar disponible en el laboratorio, su potencia de generación es de 450W, por lo tanto, se puede garantizar la transformación de energía necesaria para el funcionamiento del dispositivo y cargue de batería. El dispositivo requiere 46W/h.

Verificación del sistema fotovoltaico: En el laboratorio de la Sede Alvernia de la Universidad Mariana, se llevó a cabo una serie de pruebas con la bomba dosificadora para comparar la eficiencia entre la energía eléctrica y la energía solar fotovoltaica. Estas pruebas se realizaron con

un total de tres repeticiones y cinco repeticiones, los resultados se muestran en las siguientes ilustraciones:

Ilustración 24.

Prueba bomba dosificadora con tres repeticiones

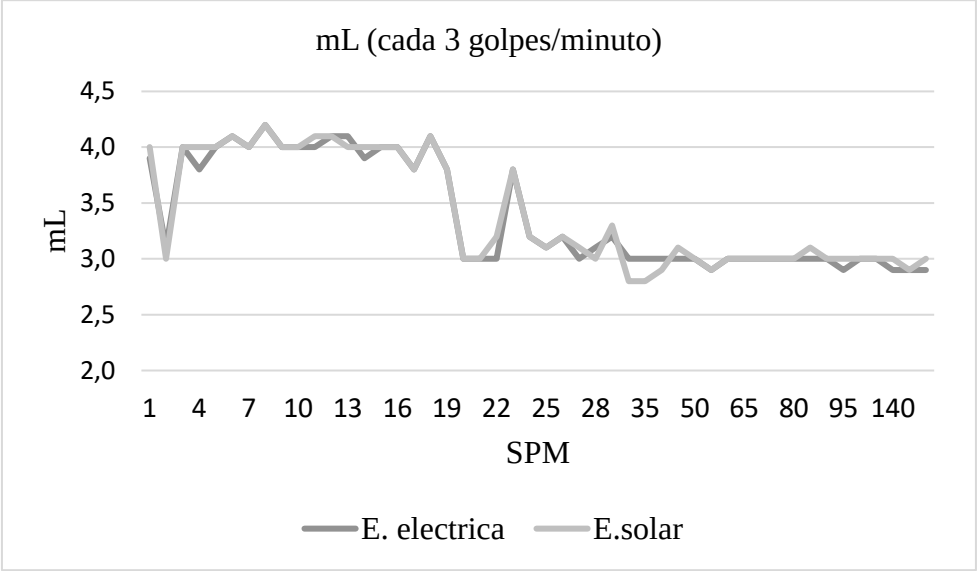
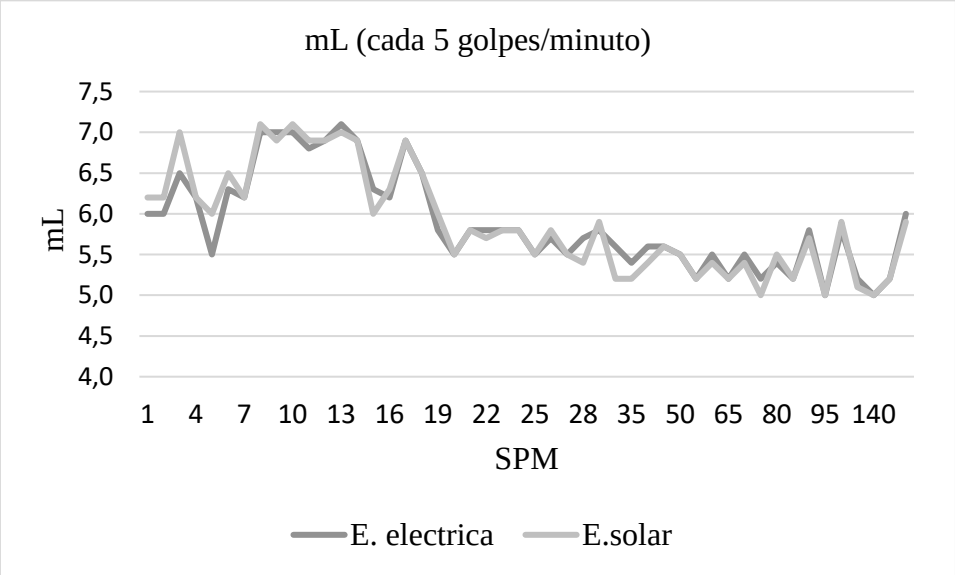


Ilustración 25.

Prueba bomba dosificadora con cinco repeticiones

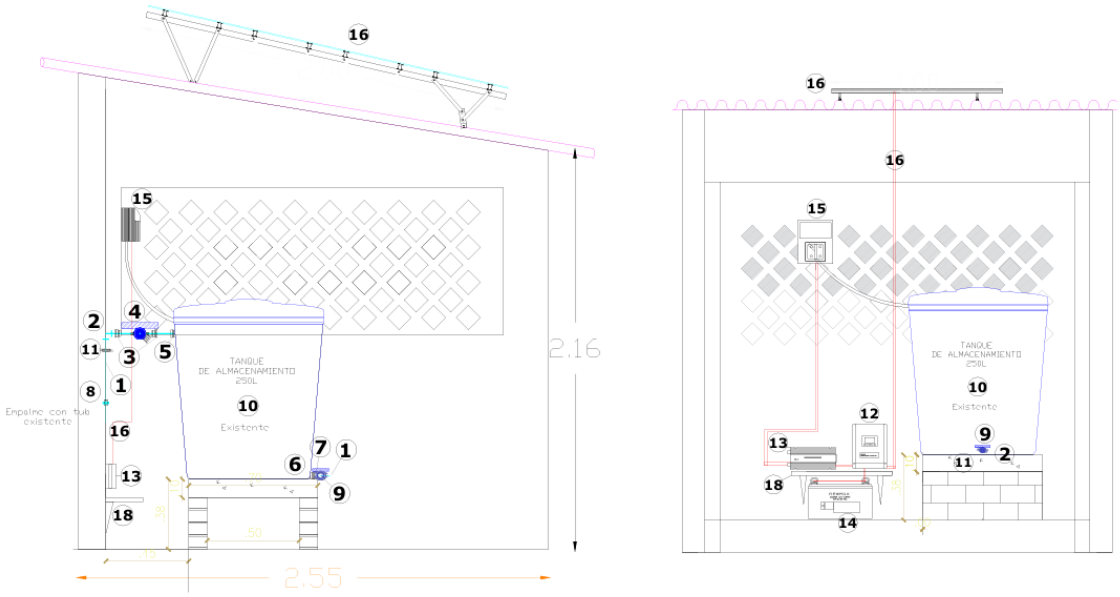


El análisis de las gráficas revela una notable similitud entre los resultados obtenidos en las pruebas. Es importante destacar que la bomba dosificadora opera dentro de un rango específico, arrojando la cantidad de líquido con una variabilidad que se mantiene entre 1 ml y 2 ml como máximo. Este aspecto es fundamental para interpretar adecuadamente los datos y entender el rendimiento de la bomba dosificadora, la cual funciona gracias a la batería y no depende directamente de la radiación solar, dado que el panel solar se encarga únicamente de cargar la batería.

Propuesta de instalación del Kit fotovoltaico en la caseta ubicada en el tanque de almacenamiento del acueducto rural de la vereda el Tambor.

Ilustración 26.

Propuesta de instalación del Kit fotovoltaico



En el **Anexo K** se encuentran los planos realizados en AutoCAD con las tablas de especificaciones para cada uno de los elementos numerados que se muestran en la **Ilustración 26**.

3. Conclusiones

La innovación tecnológica representada por este prototipo ha demostrado ser una solución prometedora para abordar el desafío de la calidad del agua en zonas rurales. Los resultados de las pruebas indican que el sistema es capaz de garantizar un suministro de agua potable más seguro y confiable, contribuyendo a mejorar la salud pública y el bienestar de las comunidades. Esta investigación sienta las bases para el desarrollo de soluciones escalables y replicables en otras regiones con similares características

El diagnóstico evaluativo implementado permitió identificar al acueducto de la vereda El Tambor como la opción más viable para el desarrollo del proyecto, considerando factores como la legalidad en el uso del recurso hídrico, el tipo de fuente de captación, el estado del desarenador y la calidad del agua según parámetros establecidos en la normativa vigente. Este proceso garantiza que la implementación del prototipo fotovoltaico se realice en un sistema con condiciones adecuadas para maximizar su efectividad y sostenibilidad.

Al momento de la realización de la investigación se logra evidenciar una fuerte relación de los resultados del IRCA, obtenidos por el SIVICAP, de algunos de los acueductos rurales del municipio de Tangua como lo son la vereda de la Palizada Bajo y Concepción Alto o la vereda el Vergel, entre otros; esto quiere decir que la posibilidad de replicar este proyecto en otras veredas del municipio puede ser muy acertada beneficiando no solo a la comunidad de la vereda el Tambor sino a una gran parte del municipio de Tangua y posiblemente a otros departamentos del país.

La utilización de software especializado como AutoCAD ha sido fundamental para obtener una representación gráfica precisa y detallada de las infraestructuras hidráulicas del acueducto de la vereda El Tambor. Estos planos constituyen una herramienta indispensable para comprender a cabalidad el funcionamiento del sistema actual, facilitando así la toma de decisiones informadas para futuras intervenciones de mantenimiento, ampliación o mejora del servicio de agua potable.

La comparación entre la eficiencia del proceso de desinfección actual del acueducto rural de la vereda El Tambor y la desinfección generada por el prototipo fotovoltaico destacó la notable

efectividad de este último, especialmente en las muestras Tipo M3 tratadas con cloro granular. Las concentraciones de cloro residual libre en estas muestras se mantuvieron dentro del rango normativo establecido por la Resolución 2115 (2007), con valores que garantizan la eliminación completa de coliformes totales y Escherichia coli, asegurando así la calidad del agua para consumo humano.

La bomba dosificadora electromagnética de cloro alimentada por energía solar garantiza la dosificación adecuada de solución madre de cloro, así como la continuidad del proceso, a diferencia de otros equipos que dependen de fuentes de energía convencionales, este sistema utiliza energía renovable, permite operar de manera constante y confiable, siendo ideal para su uso en comunidades rurales que carecen o cuentan con acceso limitado o intermitente a la electricidad. Este tipo de energía asegura que el proceso de desinfección no se vea interrumpido, manteniendo la calidad del agua en todo momento y garantizando el cumplimiento de los parámetros de potabilización del agua.

Además, el uso de energía renovable convierte al prototipo en una solución sostenible y económicamente viable a largo plazo, ya que reduce los costos asociados con el consumo energético. Esto lo posiciona como una alternativa replicable y escalable, adecuada para su implementación en otras comunidades especialmente de tipo rural con características similares.

Los ensayos llevados a cabo en el laboratorio de Alvernia han demostrado de manera concluyente la capacidad del kit solar para operar de forma óptima la bomba dosificadora. Estos resultados no solo validan la funcionalidad del sistema en condiciones controladas, sino que, además, proyectan un alto potencial para su implementación en escenarios reales, como el acueducto de la Vereda El Tambor.

La energía solar fotovoltaica es una forma ecológica y eficiente para suministrar energía eléctrica a las plantas de potabilización de Tangua y Nariño. Su implementación en campo permite aprovechar de manera directa un recurso natural abundante, como la radiación solar promedio de 3.97 kWh, garantizando un funcionamiento sostenible incluso en áreas rurales. Además, esta tecnología no solo reduce emisiones, sino que también se adapta a las condiciones específicas de

cada lugar, consolidándose como una solución práctica y a largo plazo para el suministro de agua potable y la mitigación del cambio climático.

Los resultados obtenidos a través de los estudios de radiación solar en la Sede Alvernia y la Vereda El Tambor evidencian una similitud significativa en los niveles de radiación. Esta homogeneidad en las condiciones de exposición solar permite inferir que ambos sitios son adecuados para la implementación de sistemas fotovoltaicos.

El sistema de desinfección fotovoltaico diseñado representa una mejora significativa respecto al método convencional empleado en el acueducto rural. Al utilizar energía solar como fuente primaria, el prototipo asegura una desinfección eficiente y sostenible, cumpliendo estrictamente con los estándares microbiológicos establecidos por la normativa vigente. Para garantizar su óptimo desempeño en campo, el sistema incorpora un controlador de carga que gestiona de manera eficiente la energía generada por los paneles solares, manteniendo un suministro constante incluso en condiciones de baja irradiación. Su diseño compacto, de fácil mantenimiento y adaptable a diversos entornos rurales, facilita su implementación y asegura un impacto positivo en comunidades con acceso limitado a fuentes de energía convencionales.

4. Recomendaciones

Para garantizar el cumplimiento de la Resolución 0330 (2017) y asegurar una desinfección óptima del agua, se recomienda complementar el sistema de tratamiento actual con la construcción de un tanque de contacto de cloro. Esta estructura adicional permitirá asegurar el tiempo de contacto con el desinfectante durante el tiempo mínimo establecido (20 minutos), la homogeneización del desinfectante y la eliminación de microorganismos cumpliendo con los estándares de calidad del agua potable.

La implementación de un tanque de contacto de cloro representa una inversión en la salud pública y la calidad de vida de la comunidad, al asegurar un suministro de agua segura y confiable

Se insta a la implementación de un sistema de monitoreo continuo en línea del cloro residual libre en el agua tratada. Esta medida permitirá optimizar el proceso de desinfección, garantizando la eficacia bacteriológica del agua y minimizando los riesgos asociados a niveles inadecuados de cloro. A través de la medición en tiempo real, se podrá ajustar de manera precisa y oportuna la dosificación de cloro, evitando tanto la sub – cloración, que compromete la calidad sanitaria del agua, como la sobre – cloración, que puede generar subproductos de desinfección y corrosión en las redes de distribución

Se sugiere implementar un programa integral de capacitación continua para el personal operativo del acueducto, enfocado en tres ejes principales:

Desinfección del agua: Profundizar en los principios de desinfección, los mecanismos de acción de los desinfectantes (principalmente cloro), la dosificación óptima según las características del agua cruda y las normativas sanitarias vigentes. Esto permitirá optimizar los procesos de desinfección, garantizar la calidad bacteriológica del agua y minimizar el riesgo de contaminación.

Tecnologías fotovoltaicas: Brindar formación en el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos aplicados a la potabilización de agua. Se debe enfatizar en la selección adecuada de componentes, el dimensionamiento de los sistemas, la conexión a la

red eléctrica y las medidas de seguridad. Esta capacitación permitirá aprovechar al máximo el potencial de las energías renovables, reducir los costos operativos y disminuir la huella de carbono del sistema.

Mantenimiento preventivo: Establecer un programa de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad de los equipos, con el objetivo de prolongar su vida útil, reducir las fallas inesperadas y optimizar los recursos. Se deben definir las tareas de mantenimiento, los intervalos de ejecución, los registros y los indicadores de desempeño. Esta práctica permitirá identificar y corregir a tiempo las desviaciones del funcionamiento normal de los equipos dosificadores de cloro y otros componentes críticos del sistema.

En cuanto a la bomba dosificadora electromagnética de membrana VMS MF, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo periódico para asegurar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil. Es importante verificar regularmente la calibración del equipo y ajustar la dosificación según las necesidades específicas del sistema de acueducto, garantizando una dosificación precisa de cloro.

Es necesario contar con un kit de respaldo de componentes clave, como las membranas y los sellos, para facilitar reparaciones rápidas en caso de fallas. Implementar estas acciones garantizará un proceso de desinfección eficiente y confiable en el sistema de potabilización del agua.

Con el objetivo de optimizar el rendimiento y la durabilidad de un sistema de energía fotovoltaica, se sugiere una cuidadosa selección de los paneles solares. Estos deben ser compatibles con el rango de temperaturas del entorno específico, garantizando así una operación eficiente. Además, es fundamental instalar los paneles en ubicaciones que promuevan una adecuada ventilación, minimizando el riesgo de sobrecalentamiento y maximizando la eficiencia de conversión de energía solar en eléctrica.

Se recomienda enfáticamente en la instalación de reguladores de carga de alta calidad en todos los sistemas fotovoltaicos. Estos dispositivos actúan como guardianes de la batería, optimizando su desempeño y prolongando su vida útil. Al controlar de manera precisa el flujo de energía entre

los paneles solares y el banco de baterías, los reguladores evitan tanto la sobrecarga, que puede dañar las células, como la descarga profunda, que reduce su capacidad. En consecuencia, se garantiza un suministro eléctrico estable y confiable, además de proteger los componentes electrónicos del sistema de posibles averías causadas por variaciones de tensión.

Referencias bibliográficas

James P. Dunlop. (2012). Photovoltaic Systems.

Acofi Papers. (2022). *Formulacion y Desarrollo de un Proyecto para la Potabilizacion de Aguas Lluvias Mediantes Energia Solar*.

Alcaldìa de Pasto. (2022). Obtenido de https://www.pasto.gov.co/index.php/gestion-ambiental/14924-alcaldia-de-pasto-avanza-en-el-mejoramiento-y-saneamiento-basico-de-los-acueductos-veredales-del-sector-rural-del-municipio

American Water Works Association (AWWA) y International Organization for Standardization (ISO) . (2012). *International Organization for Standardization (ISO)* .

Arencibia. (2016). pág. 2.

BELTTT. (s.f.). Power Inverter. *Solar Power Generation System*.

Bomba Dosificadora Electromagnética de Membrana. (2020). *Manual operativo*.

Caracterización Acueductos Rurales de Tangua. (2022). Obtenido de Fundación Grupo Social: file:///C:/Users/Asus/Downloads/Caracterizacio%CC%81n%20acueductos%20rurales%20Tangua%2020221010.pdf

Carlos Roxlo. (2001). Obras sanitarias del Estado. *Etapas del proceso de potabilización* .

CDC. (2010).

Censo Nacional de Poblacion y Vivienda. (2018). Obtenido de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018

Colombia Turismo Web. (2024). *Tangua*. Obtenido de https://www.colombiaturismoweb.com/DEPARTAMENTOS/NARINO/MUNICIPIOS/TANGUA/TANGUA.htm

Corponariño. (2009). Obtenido de https://corponarino.gov.co/tramites-y-servicios/tramites-ambientales/recurso-agua/concesion_aguas/

Corponariño. (2018). *Formalización de la Piscícultura en el departamento de Nariño. Concesión de aguas.* Obtenido de https://corponarino.gov.co/wp-content/uploads/2018/11/Cartilla-2-Concesi%C3%B3n-de-aguas-Nari%C3%B1o.pdf

Cote. (2003).

ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Tangua . (2011). *EOT*. Obtenido de https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/14090/13607-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fibras y Normas de Colombia . (2022). *S.A.S.*

Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (2022). *Blog Fibras y Normas de Colombia*. Obtenido de https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/aguas-subterraneas-definicion-importancia-formas-de-extraccion-tipos-de-contaminacion-y-recomendaciones/#

Francisco Javier Pérez de la Cruz. (2011). Captación de aguas superficiales y subterráneas. *Universidad Politécnica de Cartagena*. Cartagena.

Fundacion Grupo Social. (2022). *Caracterizacion Acueductos Rurales de Tangua.*

Hazen, T. C. (2001). Water Quality and the Chlorine Demand. Journal of Environmental Engineering.

Ibargüen y Bernal . (2008). *ESTABLECER LA DEMANDA DE CLORO EN EL ACUEDUCTO TRIBUNAS*. Obtenido de https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/34c04e9f-b81a-4b48-a5e8-428a6c9800af/content

Informe Nacional de la Calidad del Agua para consumo humano. (2017).

Instituciones como la U.S. Department of Energy . (2015). *National Renewable Energy Laboratory* .

Kahana, L. (31 de Enero de 2024). *Energía fotovoltaica para desinfectar aguas residuales*. Obtenido de https://www.pv-magazine.es/2024/01/31/energia-fotovoltaica-para-desinfectar-aguas-residuales/

la guía tecnica de tratamiento y desinfección de agua para consumo humano. (s.f.). Obtenido de https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214-parte01.pdf

Lydia Inés Muñoz Cordero. (2024). Historia. *Asamblea Departamental de Nariño*.

MANUAL OPERATIVO. (2020). *BOMBA DOSIFICADORA ELECTROMAGNÉTICA DE MEMBRANA.*

Manual para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. (2011). Obtenido de https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf

Mendoza y Rodriguez. (2023).

Michael Boxwell. (2012). Solar Electricity Handbook.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (21 de Julio de 2009). *Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.* Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36879

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2018). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Titulo B. Sistemas de Acueducto.* Obtenido de https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia . (2022). *Informe de Gestion*. Obtenido de https://www.minvivienda.gov.co

Naciones Unidas. (2015). Obtenido de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/#

Narvaez, E. (2022). Captaciones. *Universidad Mariana*.

NASA POWER DAV. (s.f.). Obtenido de https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

National Research Council. (1980).

OCDE. (2020). *Normatividad relacionada a la propuesta de investigación*.

ODS. (s.f.). Obtenido de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/

OMS. (2006). *Organización mundial de la salud.*

OMS. (2021). Organizacion Mundial de la Salud.

PLAN DE DESORROLLO MUNICIPAL, TANGUA. (s.f.). Obtenido de SANEAMIENTO BASICO Y AGUA POTABLE: file:///C:/Users/Asus/OneDrive/Escritorio/Plan%20de%20desarrollo%20tangua.pdf

Quirós, F. R. (2008). Editorial CanalEduca. *Tratamiento de Desinfección del agua Potable*. Madrid: CanalEduca.

RAS. (2000).

Reporte de facturas emitidas por EMAS, promedio. (s.f.). Obtenido de https://www.emas.com.co/servicio-al-cliente/recoleccion

República Dominicana. (2023).

Resolución 0330. (2017). Obtenido de https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0

Resolución 2115. (2007). Obtenido de https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res_2115_de_2007.pdf

Rojas, H. (2015). *tratamiento de aguas lluvias* .

Sandia National Laboratories. (2024). *Ciencias de la Tierra, la Energía y el Medio Ambiente*. Obtenido de https://www.sandia.gov/research/area/earth-energy-and-environmental-science/

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (2005).

Toda Colombia. (2019). *Departamento de Nariño*. Obtenido de https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/narino/index.html

Tutiempo.net. (2024). *Radiación solar Pasto*. Obtenido de Radiación solar Pasto: https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/pasto.html

Vigneswaran, S. e. (2014). Chlorine Demand in Water Treatment Processes. Journal of Water Process Engineering,.

WHO. (2017).

Zhu, X. e. (2013). The Breakpoint Chlorination Curve and Its Application in Water Treatment. Water Research.

Anexos

Anexo A. Carta de los estudiantes a la ventanilla única Nariño – Solicitud del IRCA de los acueductos rurales del municipio de Tangua.

San Juan de Pasto, 15 de agosto de 2023

Recibido 15-ago-2023 VU - Gobernación de Nariño

Ingeniero
ALFREDO MARTINEZ JARAMILLO
Director Ventanilla Única Nariño
Gobernación de Nariño
Ciudad

Referencia: Solicitud muestras de calidad del agua para consumo humano de los acueductos rurales del municipio de Tangua.

Cordial Saludo.

En cumplimiento con los compromisos pactados en la mesa técnica del agua del programa Territorio Progreso Tangua, solicitamos amablemente la gestión de los reportes del IRCA ante la Oficina de Salud Ambiental del Instituto Departamental de Nariño. Como es de su conocimiento, esta información es esencial para la mesa técnica del agua y para los proyectos de grado que se están desarrollando en torno a esta mesa, como lo es especialmente para el proyecto denominado: **"Evaluación de un prototipo fotovoltaico integrado en el sistema de desinfección, como único método de potabilización del agua en un acueducto rural del municipio de Tangua".**

De antemano, agradecemos por su valiosa colaboración para con estos proyectos de interacción social, los cuales repercutirán en el mejoramiento de la calidad del agua de la zona rural del municipio de Tangua.

Atentamente,

JULIANA ANDREA MONTENEGRO AYALA
CC. 1.004.578.542

GABRIELA MATINEZ OCAÑA
CC. 1.080.041.319

JOSE ALEXANDER GARCIA HERRERA
CC. 1.081.280.673

Anexo B. Solicitud de muestras de calidad del agua para consumo humano de los acueductos rurales del municipio de Tangua de la ventanilla única Nariño al Instituto Departamental de salud.

ventanilla única nariño

Gobernación de Nariño

San Juan de Pasto, 28 de agosto de 2023

DG-VU-271-2023

Doctor
MAURICIO GUERRERO OSEJO
Coordinador Salud Ambiental
IDSN - Gobernación de Nariño
Ciudad

Referencia: *Solicitud muestras de calidad del agua para consumo humano de los acueductos rurales del municipio de Tangua.*

Cordial Saludo,

Actualmente la Fundación Grupo Social, en conjunto con la Gobernación de Nariño, especialmente con la dependencia de Ventanilla Única Nariño, y las Universidades de la región, Universidad Mariana, I.U. CESMAG, E.S.A.P., Universidad de Nariño, U.C.C. y SENA, actualmente adelantan el programa de Interacción Social denominado "Tangua Territorio Progreso", mediante el cual se busca brindar apoyo a las Juntas Administradoras de dichos acueductos y al municipio de Tangua, de igual manera se busca brindar soluciones conjuntas para el mejoramiento de los acueductos y por ende de la calidad de la zona rural de este municipio.

Actualmente entre la Gobernación, la Universidad de Nariño y la Universidad Mariana se están elaborando prototipos de sistemas de desinfección del agua para acueductos rurales, por lo anterior solicitamos su colaboración brindándonos copia de las muestras de agua y reportes del IRCA de los acueductos rurales del municipio de Tangua y así evaluar y seleccionar los acueductos donde se implementaran dichos prototipos de sistemas de desinfección del agua.

De antemano, agradezco por su valiosa colaboración para con estos proyectos de Interacción Social, los cuales repercutirán en el mejoramiento de la calidad del agua de la zona rural del municipio de Tangua.

Atentamente,

ALFREDO MARTINEZ-JARAMILLO
Director Ventanilla Única Nariño
Gobernación de Nariño

INSTITUTO DEPARTAMENTAL DE SALUD DE NARIÑO
8:55. 29 AGO. 2023

Anexo C. Respuesta del IDS – Reporte de los resultados de las muestras de calidad de agua de los acueductos rurales del Municipio de Tangua.

Instituto Departamental de Salud de Nariño

F-PGED05-07 01

SSP.SA 20032759-23

San Juan de Pasto, 06 de septiembre de 2023.

Doctor:
ALFREDO MARTINEZ JARAMILLO
Director Ventanilla Única Nariño
Gobernación de Nariño
Pasto – Nariño

Asunto: Respuesta radicado 20021444. Reporte resultados de muestras de agua de acueductos rurales del Municipio de Tangua

Cordial Saludo,

En respuesta a su solicitud se envía matriz con el reporte de muestras de agua con sus características y reporte IRCA para los acueductos rurales del Municipio de Tangua, la información suministrada corresponde a la vigencia del 2022 y primer semestre del año 2023, información suministrada por SIVICAP.

Instituto Departamental de Salud de Nariño

Atentamente,

OSCAR MAURICIO GUERRERO
Profesional Especializado

ROCIO DEL PILAR JUELPAZ
Subdirectora de Salud Pública

Revisó: Luisa Fernanda Córdoba. Profesional Universitario
Proyectó: Milvia Moncayo. Técnico Operativo

Anexo: Matriz Excel reporte muestras (2 folios)

Anexo D. Concesión de aguas otorgado por Corponariño

CORPONARIÑO

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO

00015

Expediente No. CSC-279-16

RESOLUCIÓN No.

Por la cual se autoriza una concesión de aguas

EL SUBDIRECTOR DE CONOCIMIENTO Y EVALUACION AMBIENTAL DE LA CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO "CORPONARIÑO", EN USO DE SUS FACULTADES LEGALES Y EN ESPECIAL DE LAS CONFERIDAS EN LA LEY 99 DE 1993, EL DECRETO 1076 DE 2015, la Ley 373 de 1997, Y EL MANUAL ESPECIFICO DE FUNCIONES DE CORPONARIÑO, Y

CONSIDERANDO:

Que el día 11 de Agosto de 2016, LA ASOCIACIÓN JUNTA ADMINISTRADORA DE LOS ACUEDUCTOS MARQUEZA BAJO EL TAMBOR LOS AJOS, persona jurídica, identificado con Nit. No. 900307220-8 , representada legalmente por la señora LUZ ELENA RIVERA POPAYÁN, identificada con C.C No. 27.488.113 expedida en Tangua (N), solicito concesión de aguas de la corriente de uso público "LA ESPERANZA, EL PORVENIR", ubicada en la vereda Los Ajos, del Municipio de Tangua, Departamento de Nariño.

Que por tratarse de aguas destinadas para USO DOMESTICO Y CONSUMO HUMANO, el solicitante, aporto la Resolución No. 2040 del 5 de Agosto de 2016, por la cual el Instituto Departamental de Salud de Nariño expide Autorización Sanitaria Favorable para la concesión de aguas de la fuente hídrica de uso público "LA ESPERANZA, EL PORVENIR", ubicada en el Municipio de Tangua, localidad Los Ajos – Marqueza Bajo.

Que según lo dispuesto en la Ley 99 de 1993, y Decreto 1076 de 2015, y una vez verificados los documentos aportados por la parte solicitante, está Corporación, dictó auto de iniciación de trámite del 11 de Agosto de 2016, avocando conocimiento de la citada solicitud.

Que de acuerdo a lo establecido en los artículos 2.2.3.2.9.1 y siguientes Decreto 1076 de 2015, Decreto 2811 de 1974 y Decretos Reglamentarios, a la solicitud se le dio el trámite correspondiente, se realizó la visita ocular el día 30 de Agosto del 2016 tal como consta en el Informe Técnico No. 398/2016 y posteriormente se emite el Concepto Técnico de la misma numeración, donde se manifiesta procedente atender tal solicitud.

Que según lo establecido en el artículo 2.2.3.2.9.7 del Decreto 1076 de 2015, no hubo oposición ni objeciones de otras personas a la concesión solicitada al momento de la visita ocular.

Que conforme a lo contemplado en el artículo 88 del Decreto 2811 de 1974, salvo disposiciones especiales, solo puede hacerse uso de las aguas en virtud de concesión.

Que en virtud de lo establecido en la Ley 373 de 1997, las entidades encargadas de la prestación de servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico, deben elaborar y adoptar un programa de uso eficiente y ahorro del agua, el cual será aprobado por CORPONARIÑO Este programa deberá estar basado en el diagnóstico de la oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda del agua, y contener las metas anuales de reducción de pérdidas entre otros aspectos que defina CORPONARIÑO.

Que en relación a lo estipulado en el artículo 31, numerales 9, 12 y 13 de la Ley 99 de 1993, corresponde a la Corporación Autónoma Regional de Nariño "CORPONARIÑO", realizar la evaluación, control y seguimiento de los usos del agua, fijar el monto, recaudar las contribuciones, tasas, derechos, tarifas y multas por concepto del uso del agua.

Que de acuerdo con los artículos 2.2.9.6.1.3 Y 2.2.9.6.1.4 del Decreto 1076 de 2015, las Corporaciones Autónomas Regionales, son competentes para recaudar la tasa por utilización de aguas la cual están obligadas al pago todas las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que utilicen el recurso hídrico en virtud de una concesión de aguas.

Que de conformidad con lo establecido en el artículo 80 del Decreto 2811 de 1974 y artículo 2.2.3.2.4.2 del Decreto 1076 de 2015, el dominio de las aguas y sus cauces, es de carácter inalienable e imprescriptible, éstas no perderán su carácter cuando por compra o cualquier otro acto traslaticio de dominio los predios en los cuales nacían y morían dichas aguas pasen a ser de un mismo dueño.

PASTO: CALLE 26 No. 7 ESTE-84 FINCA LOPE VIA LA CAROLINA - PBX: 7309292-95 - FAX: 7309435
IPIALES: CARRERA 1A No. 3E-369 AV. PANAMERICANA - TEL.: 7730920 - FAX: 7733144
TUMACO: TERMINAL MARITIMO - ISLA EL MORRO - TEL: 7272347 - 7272087 - FAX: 7272088
TUQUERRES: CARRERA 13 No. 19-26 - 3ER PISO - TEL: 7260586
LA UNION: BIBLIOTECA AURELIO ARTURO TEL.: 7265411 - SOTOMAYOR: CENTRO MINERO - CEL.: 317 659 0520

Anexo E. Solicitud de concepto técnico al representante de la Asociación Junta Administradora de los Acueductos Marqueza Bajo, el Tambor, los Ajos.

LA ASOCIACIÓN JUNTA ADMINISTRADORA DE LOS ACUEDUCTOS MARQUEZA BAJO EL TAMBOR LOS AJOS
NIT 900307220-8

Señores
ESTUDIANTES UNIVERSIDAD MARIANA
Programa de Ingeniería Civil
La ciudad

Asunto: Solicitud de Concepto Técnico, Planos y evidencia audiovisual, que sirva como insumo para la implementación del sistema fotovoltaico vinculado al proceso de desinfección en el Acueducto Veredal El Tambor.

Reciban un cordial saludo,

Teniendo en cuenta el desarrollo del programa **"TERRITORIO PROGRESO TANGUA"** en cumplimiento de los compromisos pactados en la mesa técnica del agua, realizado con el apoyo de la Fundación Grupo Social, la Universidad Mariana y Universidad de Nariño, para desarrollar una propuesta de proyección e interacción social enfatizada en la *"Evaluación de un prototipo fotovoltaico, vinculado al sistema de desinfección del agua, en un acueducto rural del municipio de Tangua"*; **La Asociación Junta Administradora De Los Acueductos Marqueza Bajo El Tambor Los Ajos**, y Yo, en calidad de representante legal **Luis Eduardo Agreda López,** identificado con cedula número 98.380.375, nos permitimos solicitar a ustedes ***Gabriela Martínez Ocaña*** identificada con cédula de ciudadanía No. 1.080.041.319 de Pasto, ***Juliana Andrea Montenegro Ayala*** identificada con cédula de ciudadanía No. 1.004.578.542 de Pupiales y ***José Alexander García Herrera*** identificado con cédula de ciudadanía No. 1.081.280.673 de Pasto, de manera formal, la realización y entrega de un ***Concepto Técnico,*** avalado por su asesora la ***Mg. Sandra Milena Chañag Checa*** identificada con cedula número 59.314.427 de Pasto, profesor del programa de Ingeniería Civil y coasesor el ***Mg. Tito Manuel Piamba Mamian*** identificado con cedula número 76.342.929 de Ipiales, profesor del programa de Ingeniería Mecatrónica, de la Universidad Mariana.

Cabe resaltar que, a su vez, solicitamos como soporte a este concepto, los planos y la evidencia audiovisual resultante de su investigación, los cuales servirán como insumo para la implementación del sistema fotovoltaico vinculado al proceso de desinfección en el Acueducto Veredal El Tambor.

Su aprobación para realizar este concepto técnico será muy apreciada.

Atentamente,

cc 98360375

Luis Eduardo Agreda López
CC. 98380375
Presidente Asociación Junta Administradora De Los Acueductos
Marqueza Bajo El Tambor Los Ajos
Municipio de Tangua

17/X/24

Anexo F.

Enlace:
https://drive.google.com/drive/folders/1TWSVw0HN0FRfNM3K_xDmQjvPxETR_rWE?usp=drive_link

Descripción: Evidencias de las reuniones, presentaciones y capacitaciones que se dieron a lo largo de la ejecución del trabajo de grado con la comunidad de la vereda el Tambor (Proyección Social).

Objetivo 1.

Anexo G.

Enlace:
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1GqgC1Z9y8w4gNLgZJUqLS1K8kCbv5b0o/edit?usp=sharing&ouid=113559865160749645572&rtpof=true&sd=true

Descripción: Excel de la Base de información general acueductos de Tangua 2022 otorgado por la Fundación Grupo Social.

Anexo H.

Enlace:
https://drive.google.com/file/d/1F0TmVWwrXboNxMbcA7y6SAKdKztig3Y_/view?usp=sharing

Descripción: Documento de caracterización de acueductos rurales Tangua 2022 otorgado por la Fundación Grupo Social.

Anexo I.

Enlace: https://drive.google.com/file/d/1hvRP36wRO44LEMun-7w_pZFwfx4tSft9/view?usp=sharing

Descripción: Plan de Desarrollo Municipal de Tangua 2020 – 2023.

Anexo J.

Enlace: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1uW82zGimAH74Nm-eeBDU9Yhf8ditx8bg/edit?usp=sharing&ouid=113559865160749645572&rtpof=true&sd=true

Descripción: Anexo del Excel con el reporte IRCA Características Tangua 2022.

Objetivo 2.

Anexo K.

Enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1D2iXFMYuq8Z5mA-yCC4OD5loBho7mapM?usp=sharing

Descripción: Planos de las estructuras hidráulicas y de la propuesta de instalación del kit fotovoltaico en la vereda el Tambor del municipio de Tangua

Anexo L.

Enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1oq972PH1YcZ2G5srY9Rh5JQuj7Ov7Vpx?usp=sharing

Descripción: Fotos de las visitas de campo realizadas al acueducto rural de la vereda el Tambor.

Objetivo 3.

Anexo M.

Enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1s989HBH_MgPFnzvXqPmwzh-j-9pR-IXt?usp=sharing

Descripción: Fotos de la toma de muestras M1 y M2 que se realizaron en la vereda el Tambor del municipio de Tangua.

Anexo N.

Enlace:
https://drive.google.com/drive/folders/1hBG6Iff1wU5Yjvh1owELsd2TMOxzXijk?usp=sharing

Descripción: Videos de los laboratorios realizados para obtener los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en el laboratorio de procesos fisicoquímicos y biológicos y en el laboratorio de química de la sede Alvernia de la Universidad Mariana.

Anexo O.

Enlace:
https://docs.google.com/document/d/1IrLiLNVqLe830j8hqcWinGwmvOEtm_al/edit?usp=sharing&ouid=113559865160749645572&rtpof=true&sd=true

Descripción: Tablas de los equipos y reactivos empleados.

Anexo P.

Enlace:
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1nCtxSbmmey1rabPsut6bg69qt9OQFzBG/edit?usp=sharing&ouid=113559865160749645572&rtpof=true&sd=true

Descripción: Excel de los resultados de los laboratorios fisicoquímicos y microbiológicos.

Anexo Q.

Enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1vVB7le-yS8qz2KjDl5RpsxsdQN3UPlNA?usp=sharing

Descripción: Fotos de los resultados de los laboratorios microbiológicos en donde se logra evidenciar una muestra con presencia de coliformes fecales.

Objetivo 4.

Anexo R.

Enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1QU6jdILxgvyZAGyl_GW5CRPvJH49LMHd?usp=sharing

Descripción: Radiación del Tambor y de la sede Alvernia de la Universidad Mariana obtenido a través de la plataforma NASA POWER DAV.

Anexo S.

Enlace: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1-h_eEgzF5UrYtYYT4B9jlFHZ9XHUzbBk/edit?usp=sharing&ouid=113559865160749645572&rtpof=true&sd=true

Descripción: Excel de la comparación de los datos obtenidos de los mL/Golpe Vs los golpes por minuto para cada 3 y cada 5 repeticiones (SPM) siendo el equipo alimentado por el panel Vs el tomacorriente.

Anexo T.

Enlace: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Nqasl_J50AE-bSpia7agNt3Ob4FwbtNi/edit?usp=sharing&ouid=113559865160749645572&rtpof=true&sd=true

Descripción: Presupuesto del cloro con diferentes concentraciones y en posibles tabletas de cloro.