Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento de Agricultura

“PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD EL GUAYABO, DEPARTAMENTO DE GRANADA”.

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero Químico

Elaborado por:

Br. Jorge Manuel Vallecillo Méndez
Carnet: 2020-1202U

Br. Jonathan Eduardo Ocón García
Carnet: 2017-0542U

Tutor:

MSc. Wilfredo Varela Fonseca

03 de febrero de 2026
Managua Nicaragua

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a DIOS por brindarme la fortaleza y sabiduría necesarias para culminar esta monografía. A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante en cada etapa de mi formación académica. Extiendo también mi gratitud a mis docentes y especialmente a mi tutor guía, quienes con su rigurosidad y conocimientos me han orientado en este proceso de aprendizaje. De igual manera, reconozco el acompañamiento de mis compañeros de trabajo y amigos, cuya colaboración y palabras de aliento fueron un estímulo invaluable para seguir adelante. Finalmente, agradezco a todas aquellas personas e instituciones que, de una u otra manera, contribuyeron con su tiempo, recursos y confianza a la realización de este trabajo.

JORGE MANUEL VALLECILLO MÉNDEZ

Primero que nada, agradecer a DIOS por todo lo que conlleva la oportunidad de culminar esta etapa. A mi familia, por estar a mi lado apoyándome en todo momento y ser mi soporte y mi principal motivación. A mis amigos, que siempre me apoyan y me dirigen para ser mejor, a todos por nunca perder la fe en mí, a nuestro tutor el profesor Wilfredo por ser un buen guía, al equipo del PIENSA por apoyarnos en nuestros requerimientos. Y agradezco principalmente a mi compañero de estudios Jorge, pues es gracias a él que tuve la oportunidad de vivir esta experiencia, de la cual he aprendido mucho, y que a donde sea que lo lleve la vida, le deseo lo mejor.

JONATHAN EDUARDO OCÓN GARCÍA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a DIOS, a mi familia, que han sido el pilar fundamental en mi vida, por su amor, paciencia y constante apoyo en cada reto académico y personal. A ellos, que me inspiran a superarme y me recuerdan la importancia de la perseverancia y el esfuerzo, les ofrezco el fruto de esta etapa culminada, con la esperanza de que represente no solo un logro individual, sino también un reflejo de los valores y enseñanzas que me han transmitido.

JORGE MANUEL VALLECILLO MÉNDEZ

Este trabajo lo dedico a todos los que creen en mí, los que nunca dudaron de las cosas que soy capaz de lograr, aun cuando yo mismo lo dudo. Aquellos que confían en que puedo ser mejor. Que esta sea la prueba y demostración de que no traicionaré sus expectativas y que este será el comienzo de una mejor etapa.

JONATHAN EDUARDO OCÓN GARCÍA

RESUMEN

El presente estudio tuvo como finalidad proponer un sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad El Guayabo, localizada en el municipio de Granada, Nicaragua. Con el propósito de mejorar la calidad del suministro. La investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado y descriptivo estructurado en 4 etapas fundamentales: Análisis socioeconómico, caracterización fisicoquímica y microbiológica de la muestra, diseño del sistema de tratamiento y elaboración de un manual de operación y mantenimiento.

La caracterización del agua se realizó mediante métodos estandarizados tales como *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater, Metodología HACH y EPA.* Determinándose parámetros como pH, conductividad eléctrica, coliformes totales, entre otros. Los resultados evidenciaron un pH de 8.7, conductividad eléctrica de 434 µS/cm y coliformes totales de 6.9 NMP/100ml. Estos valores evidencian que, aunque el agua posea condiciones fisicoquímicas aceptables, requiere de un sistema de tratamiento que garantice la inocuidad microbiológica.

El sistema propuesto está conformado por tres unidades principales: Filtración lenta de arena, desinfección con hipoclorito de calcio y almacenamiento en tanque regulador. El filtro lento de arena se dimensionó considerando sus respectivas ecuaciones de diseño y el caudal suministrado por el sistema. La etapa de desinfección se fundamentó en la aplicación de la ecuación de Chick-Watson empleando hipoclorito de calcio al 65% y 30 minutos de contacto. Se diseñó un tanque de almacenamiento con capacidad de 1876,130 litros suficiente para satisfacer las exigencias hídricas de la comunidad siguiendo las especificaciones del Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados.

Finalmente, se propuso un manual de operación y mantenimiento con actividades específicas de cada equipo, tales como mediciones de caudal, turbidez y materia flotante en el Filtro Lento de Arena, concentración de cloro en el dosificador, inspección visual de condiciones físicas y contaminación externa en tanque de almacenamiento, estas deben ser realizadas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema propuesto, prolongar su vida útil y evitar fallos que interrumpan el servicio.

Contenido

AGRADECIMIENTOS I

DEDICATORIA II

RESUMEN III

I. INTRODUCCIÓN 1

II. OBJETIVOS 2

2.1. Objetivo General 2

2.2. Objetivos Específicos 2

III. MARCO TEÓRICO 3

3.1. El agua y su importancia como recurso 3

3.1.1. Ciclo del agua 3

3.1.2. Fuentes de abastecimiento 4

3.2. Calidad del agua 6

3.2.1. Indicadores físicos del agua 6

3.2.2. Indicadores químicos del agua 8

3.2.3. Indicios de contaminación hídrica 10

3.2.4. Otros microorganismos presentes en agua para consumo humano 11

3.3. Normativas nacionales e internacionales 12

3.3.1. Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense para la clasificación de los recursos hídricos (NTON-05-007-98). 12

3.3.2. Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y Rep. Dominicana (CAPRE). ... 13

3.3.3. Normativa – 066: Manual para la vigilancia sanitaria del agua para el consumo humano (Ministerio de Salud de Nicaragua). 16

3.3.4. Directrices de la Organización Mundial de la Salud para la calidad del agua potable (OMS). 19

3.3.5. Diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable (NTON 05-007-19). 21

3.4. Componentes principales de un sistema de abastecimiento de agua potable 21

3.4.1. Fuente de abastecimiento 21

3.4.2. Obras de captación 21

3.4.3. Variaciones de consumo 22

3.4.4. Distribución de agua 22

3.4.5. Línea de conducción 22
3.4.6. Red de distribución 22
3.4.7. Conexiones domiciliarias 23
3.4.8. Estación y equipo de bombeo 23
3.4.9. Válvulas y elementos en la línea de conducción 23
3.5. Dotación y caudales de diseño 24
3.5.1. Periodo de diseño 25
3.6. Balance iónico 26
3.7. Sistema de tratamiento 27
3.7.1. Filtro lento de Arena 27
3.7.2. Desinfección 28
IV. MATERIALES Y METODO 30
4.2. Descripción general de estudio 31
4.2.1. Macro localización 31
4.2.2. Micro localización 31
4.2.3. Límites y colindancias 31
4.2.4. Clima y precipitación 31
4.2.5. Hidrografía 31
4.2.6. Educación 32
4.2.7. Puestos sanitarios 33
4.2.8. Accesibilidad y transporte 33
4.3. Métodos para determinar las características socioeconómicas 34
4.3.1. Proyección de la población 34
4.3.2. Análisis socioeconómico 35
4.3.3. Encuesta socioeconómica 35
4.4. Criterios de dimensionamiento para el sistema de agua potable 36
4.4.1. Sistema de captación de la comunidad 36
4.4.2. Tratamiento y desinfección 36
4.4.3. Dotación de agua y determinación de caudal de diseño 41
4.4.4. Determinación de caudales de diseño 41
V. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS 43
5.1. Resultados del análisis socioeconómico 43
5.1.1. Distribución por sexos 43

5.1.2. Distribución por edades 43
5.1.3. Horarios de abastecimiento 44
5.1.4. Uso de fuentes hídricas alternas 45
5.1.5. Uso de aguas servidas 46
5.1.6. Eliminación de charcas 47
5.1.7. Gestión de desechos solidos 48
5.1.8. Enfermedades comunes 49
5.1.9. Frecuencia de aparición de enfermedades 50
5.1.10. Enfermedades crónicas y acceso a tratamiento médico 51
5.1.11. Acceso a tratamientos médicos 52
5.1.12. Materiales de construcción de viviendas 53
5.1.13. Nivel académico alcanzado 54
5.1.14. Actividades económicas 55
5.1.15. Cultivos en la comunidad 57
5.1.16. Ingresos mensuales aproximados 57
5.1.17. Movilidad y transporte 58
5.2. Caracterización de la calidad del agua 59
5.2.1. Selección de tecnologías 61
5.2.2. Balance iónico 62
5.2.3. Dimensionamiento de equipos y cálculo de caudales de diseño 63
5.2.4. Filtro lento de arena 65
5.2.5. Tanque de almacenamiento 66
5.2.6. Desinfección 67
5.2.7. Balances entrada-salida 68
5.2.8. Esquema de Planta 69
5.3. Manual de Operación y mantenimiento 74
VI. CONCLUSIONES 81
VII. RECOMENDACIONES 82
VIII. NOMENCLATURA 83
IX. **BIBLIOGRAFÍA** 85
X. ANEXOS 89
Anexos A: Memoria de Cálculo 89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Disociación de HOCl 29
Figura 2: Afluente del Río Panaloya 32
Figura 3: Escuela José Dolores Estrada..... 33
Figura 4: Rutas y medios de transporte..... 34
Figura 5: Sistema de captación de agua en la comunidad El Guayabo 36
Figura 6: Distribución por sexos 43
Figura 7: Distribución por edades..... 44
Figura 8: Fuentes hídricas alternativas..... 45
Figura 9: Fuente alternativa seleccionada..... 46
Figura 10: Gestión de aguas servidas 47
Figura 11: Disposición de charcas..... 48
Figura 12: Eliminación de desechos sólidos..... 49
Figura 13: Enfermedades en el hogar 50
Figura 14: Frecuencia de aparición de enfermedades..... 51
Figura 15: Enfermedades crónicas..... 52
Figura 16: Acceso a la salud..... 53
Figura 17: Infraestructura de viviendas..... 54
Figura 18: Materiales de construcción más usados para la construcción de viviendas..... 54
Figura 19: Nivel académico 55
Figura 20: Actividades económicas 56
Figura 21: Actividades económicas predominantes..... 56
Figura 22: Actividad agrícola 57
Figura 23: Ingresos aproximados 58
Figura 24: Medios de transporte..... 59
Figura 26: Proyección de población en el periodo de diseño. 64
Figura 27: Vista de planta de filtro lento de arena 70
Figura 28: Vista lateral de filtro lento de arena 71
Figura 29: Vista de planta, lateral y frontal de tanque de almacenamiento 72
Figura 30: Esquema de planta..... 73
Figura 31: Formato de conciliación de piezas 78
Figura 32: Formato de control operativo..... 79
Figura 33: Plan de limpieza en planta de tratamiento..... 80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diferencias entre aguas subterráneas y superficiales 5
Tabla 2: Clasificación de la dureza en el agua 9
Tabla 3: Parámetros de calidad del agua Tipo 1 según NTON 05-007-98 12
Tabla 4: Parámetros bacteriológicos, organolépticos y sustancias no deseadas según CAPRE 13
Tabla 5: Parámetros fisicoquímicos según CAPRE 15
Tabla 6: Parámetros bacteriológicos, organolépticos y sustancias no deseadas según MINSA 16
Tabla 7: Parámetros fisicoquímicos según MINSA 18
Tabla 8: Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de calidad del agua (OMS) 19
Tabla 9: Dotaciones de agua 25
Tabla 10: Consumo comercial, público e industrial 25
Tabla 11: Períodos de diseño según componentes 26
Tabla 12: Porcentajes de remoción de FLA 28
Tabla 13: Criterios de diseño para dimensionamiento de FLA 37
Tabla 14: Horarios de abastecimiento de agua potable 44
Tabla 15: Resultados de análisis fisicoquímico y microbiológico 59
Tabla 16: Balance iónico para cationes 63
Tabla 17: Balance iónico para aniones 63
Tabla 18: Estimación de la población para el año 2025 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 19: Cálculo de caudal de diseño 65
Tabla 20: Dimensiones para FLA 66
Tabla 21: Dimensiones para tanque de almacenamiento 66
Tabla 22: Dosis y concentraciones en etapa de desinfección 67
Tabla 23: Balance de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en entrada y salida del sistema de tratamiento 68
Tabla 24: Manual de operación 75
Tabla 25: Manual de mantenimiento 76
Tabla 26: Nomenclatura y símbolos 83
Tabla 27: Proyección de población en el período de diseño 98

I. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable es uno de los retos más delicados del siglo XXI ya que constituye un derecho humano fundamental y, al mismo tiempo, un recurso en creciente riesgo. A pesar de los avances registrados en las últimas décadas, cerca de una cuarta parte de la población mundial aún carece de agua potable gestionada de manera segura, lo que expone a millones de personas a enfermedades y limita el desarrollo social y económico de las comunidades (World Health Organization & United Nations Children´s Fund, 2024).

En Latinoamérica, a pesar de concentrar cerca del 30 % del agua dulce del planeta, millones de personas aún enfrentan dificultades para acceder a este recurso en condiciones seguras. La cobertura de agua potable gestionada de manera segura alcanza apenas al 81 % de la población urbana y desciende a un 53 % en las zonas rurales, lo que refleja una marcada desigualdad (Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe, 2023).

El acceso al agua potable segura constituye un reto para las comunidades rurales en Nicaragua, debido a limitaciones técnicas, económicas y sociales que restringen la cobertura de los sistemas de abastecimiento (Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe, 2023). En la comunidad El Guayabo, ubicada en el departamento de Granada, la población se abastece a partir de un sistema de bombeo que carece de un proceso de desinfección adecuado, esta situación coloca en un estado de vulnerabilidad la salud y calidad de vida de los habitantes de la comunidad. Este problema se agrava por las condiciones de pobreza, el limitado acceso a servicios de salud y la falta de infraestructura educativa (Los autores, 2025).

La presente investigación se orienta a la propuesta de un sistema de tratamiento de agua potable que permita atender las necesidades de los habitantes de la comunidad El Guayabo, considerando sus condiciones socioeconómicas, las características del recurso hídrico y la capacidad de gestión comunitaria. el estudio se justifica en la necesidad de proponer soluciones técnicas que garanticen una mejora significativa en la calidad del agua potable de la comunidad.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Proponer un sistema de tratamiento de agua potable adecuado para la comunidad El Guayabo, considerando sus necesidades específicas y las características del recurso hídrico disponible.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis socioeconómico de la comunidad El Guayabo para identificar sus condiciones de vida actuales.
- Caracterizar la calidad del agua disponible en la comunidad mediante evaluación de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas.
- Diseñar una propuesta de sistema de tratamiento de agua potable que se ajuste a las características comunitarias identificadas.
- Elaborar un manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento propuesto.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. El agua y su importancia como recurso

El agua es un recurso natural indispensable, presente en diversas formas como ríos, lagos, acuíferos subterráneos y océanos. Su composición incluye sales, minerales, gases y partículas, cuya proporción varía según las características del entorno donde se encuentra. La calidad del agua está estrechamente relacionada con su origen; el agua superficial, por ejemplo, son especialmente vulnerables a la contaminación debido a su exposición directa al medioambiente. En contraste, el agua subterránea está protegidas por capas de suelo. No obstante, estas pueden contener concentraciones significativas de minerales como hierro y manganeso, limitando en algunos casos su uso para el consumo o actividades cotidianas (Lozano-Rivas, 2015).

Además de su papel crucial en los procesos biológicos, el agua es esencial para la agricultura, la industria y el mantenimiento de los ecosistemas. Garantizar el acceso al agua limpia y segura es una condición fundamental para promover la salud pública y el bienestar de las comunidades. Sin embargo, el agua en su estado natural nunca es completamente pura, ya que contiene diversas sustancias disueltas que pueden influir en su calidad. En el caso de los ríos y lagos, actúan como receptores de contaminantes provenientes de fuentes naturales y humanas, tales como residuos industriales y la escorrentía agrícola, lo que agrava los riesgos para su disponibilidad y uso sostenible (Lozano-Rivas, 2015).

3.1.1. Ciclo del agua

El ciclo del agua o ciclo hidrológico es uno de los circuitos bioquímicos más importante del planeta tierra, el agua sufre una serie de transformaciones y desplazamiento, debido a las reacciones fisicoquímicas, el cual atraviesa los tres estados de la materia: líquido, sólido y gaseoso (Lozano, 2020).

Según Molina 2021, las fases del ciclo hidrológico son las siguientes:

a) **Evaporación**: el calor del Sol hace que el agua se evapore de los océanos, lagos y arroyos. La evaporación ocurre cuando el agua líquida en la superficie de la Tierra se transforma en vapor de agua en nuestra atmósfera.
b) **Transpiración**: el agua de las plantas y los árboles también ingresa a la atmósfera.
c) **Condensación**: el vapor de agua caliente se eleva a través de la atmósfera terrestre. A medida que el vapor de agua se eleva, el aire fresco de la atmósfera hace que se condense en agua líquida, creando nubes.

d) **Precipitación**: cuando una nube se llena de agua líquida, cae del cielo principalmente en forma de lluvia o nieve: esto se conoce como precipitación. La lluvia y la nieve llenan los lagos y arroyos, y el proceso se inicia de nuevo.
e) **Escorrentía superficial:** la escorrentía superficial no es más que agua "corriendo" por la superficie de la tierra. La lluvia recorre la superficie de la tierra cuesta abajo debido a la gravedad.
f) **Aguas freáticas**: parte del agua se filtra al suelo como humedad del suelo o agua subterránea.

3.1.2. Fuentes de abastecimiento

Las fuentes de abastecimiento de agua son aquellos cuerpos de agua naturales o artificiales que proporcionan el recurso hídrico para satisfacer las necesidades humanas, agrícolas, industriales y ecológicas. Estas fuentes pueden clasificarse principalmente en superficiales y subterráneas, dependiendo de su ubicación y la forma en que se accede al agua.

El agua superficial se refiere al agua que se encuentra en lagos, ríos y embalses, que está directamente expuesta a la atmósfera y se puede acceder fácilmente para el consumo y el riego. Por el contrario, el agua subterránea se encuentra por debajo de la superficie terrestre, principalmente en los acuíferos, y con frecuencia se extraen a través de pozos. Por lo general, el agua subterránea está menos contaminadas y son más fiables durante los períodos de sequía en comparación con el agua superficiales, que pueden agotarse rápidamente debido a la evaporación y al uso humano, en la tabla 1 se resumen las diferencias existentes entre aguas superficiales y subterráneas (Il-Moon Chung, 2022).

Tabla 1:

Diferencias entre aguas subterráneas y superficiales

Características	Recursos hídricos subterráneos y acuíferos	Recursos hídricos superficiales y embalses
Características hidrológicas		
Almacenamiento	Muy Grande	Pequeño o moderado
Área de recursos	Relativamente limitadas	Limitadas a los cuerpos de agua
Velocidad de flujo	Muy lenta	Moderada o alta
Tiempo de resistencia	Generalmente décadas/siglos	Generalmente semanas/meses
Vulnerabilidad a sequias	Generalmente baja	Generalmente alta
Perdidas por evaporación	Bajas y localizadas	Altas en embalses
Evaluación de recursos	Altos costos e incertidumbre significativa	Costos bajos y usualmente menor incertidumbre
Impactos por extracción	Diferidos y dispersos	Inmediatos
Calidad natural	Generalmente (no siempre) alta	Variables
Vulnerabilidad de contaminación	Protección natural viable	Mayormente desprotegidos
Contaminación persistente	A menudo extrema	Mayormente temporal
Factores socioeconómicos		
Percepción publica	Mítica, impredecible	Estética, predecible
Costos de explotación	Generalmente módico	Generalmente alto
Riesgos de explotación	Menor que el usualmente percibido	Mayor que el usualmente percibido
Estilo de explotación	Conjunta, pública y privada	Mayormente publica

Nota: *Extraído de Owen et al. 2020.*

A nivel mundial, el agua subterránea representa una parte importante de los recursos hídricos utilizables (Kavitha, 2020). La interacción entre estas dos fuentes es crucial para una gestión eficaz de los recursos hídricos, especialmente ante el cambio climático y el aumento de la demanda (Il-Moon Chung, 2022).

3.2. Calidad del agua

La calidad del agua es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, desde el punto de vista de su caracterización ambiental, planificación y gestión hidrológica, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas. Puede verse modificada tanto por causas naturales como factores externos. Cuando los factores externos que degradan la calidad natural del agua son ajenos al ciclo hidrológico, se habla de contaminación (Matas Palou y Cabezas, 2020).

La calidad del agua se determina en función de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan el agua en su estado natural y que nos resultan fáciles de comparar cuando necesitamos determinar la calidad de cierto cuerpo de agua. De igual manera, para comprobar si el agua es potable y apta para el consumo humano (Perez, 2016).

3.2.1. Indicadores físicos del agua

El agua destinada al consumo humano puede contener elementos físicos que alteran su apariencia, haciéndola rechazable por el consumidor, y sustancias químicas que tienen el potencial de ser peligrosas para la salud, generalmente, aplicables a tiempos de exposición relativamente largos.

a) Turbidez

La turbidez es una medida indirecta de la cantidad de partículas coloidales en suspensión en una muestra de agua. Estas partículas pueden provenir de los procesos erosivos ocasionados por deforestación en la cuenca hidrográfica o por el arrastre de sedimentos del cauce de la corriente (especialmente en invierno), así como por la presencia excesiva de microorganismos o por la influencia de vertidos domésticos, industriales o agropecuarios (Lozano-Rivas, 2015).

Aunque pocas veces puede asociarse con efectos sobre la salud, sí genera rechazo por parte del consumidor. La remoción de la turbiedad puede ser usada como indicador de la eficiencia de un determinado sistema o unidad de tratamiento. El nivel de turbiedad se expresa en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbiedad) y se mide en aparatos llamados turbidímetros (Ramos Pérez, 2021).

b) Color

El color, como propiedad organoléptica del agua, está influenciado principalmente por la presencia de materiales orgánicos, inorgánicos o coloidales, que pueden afectar significativamente a la calidad del agua y al atractivo estético.

El color en cuerpos de agua natural podría reflejar la presencia de moléculas orgánicas complejas derivadas de materias vegetales (húmicas) tales como hojas, ramas, etcétera. Su efecto puede ser aumentado por la presencia de materia en suspensión, con menor frecuencia el color en cuerpos de agua natural puede surgir de la presencia de iones de hierro y/o manganeso (Marcelo Martinez, 2018).

c) Olor y sabor

Los olores desagradables del agua pueden ser causados por una amplia gama de sustancias químicas, incluidos compuestos orgánicos, minerales y metales. Las fuentes comunes de olores desagradables son la contaminación industrial, el metabolismo microbiano y vegetal acuático, las transformaciones químicas bióticas y abióticas en aguas naturales o durante los procesos de tratamiento del agua, y la migración de materiales en contacto con el agua (Reyhan Akcaalan, 2022).

Es sabido que el sabor del agua depende fundamentalmente de su composición mineral, es decir, de los sólidos disueltos totales (TDS) y de su distribución relativa como especies de cationes y aniones, y de sus concentraciones. Los desinfectantes y otros productos químicos añadidos durante el tratamiento y los cambios en el sistema de distribución también influyen en el sabor y el olor (Reyhan Akcaalan, 2022).

d) Temperatura

La temperatura del agua también es un parámetro importante que se puede utilizar para juzgar sus propiedades físicas y químicas. A una temperatura de más de 100 °C, el agua está en fase de vapor, mientras que el agua se solidifica y forma hielo a temperaturas inferiores a 0 °C. Si el agua se utiliza para beber, la temperatura debe estar cerca de la temperatura ambiente (Priyanshi, 2023).

La capacidad térmica, la densidad, el peso específico, la viscosidad, la tensión superficial, la conductividad específica, la salinidad, la solubilidad de los gases disueltos y otras propiedades y características físicas significativas del agua se ven influenciadas por su temperatura. La velocidad de las reacciones químicas y biológicas se acelera a medida que aumenta la temperatura. La suposición estándar es que las velocidades de reacción se duplicarán por cada aumento de 10 °C en la temperatura. El agua de los ríos y arroyos de todo el mundo varía en temperatura de 0 a 35 °C (Priyanshi, 2023).

e) Solidos totales

Los sólidos disueltos totales (TDS por sus siglas en inglés) en el agua son sales inorgánicas como carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos, nitratos,

etc. De calcio, magnesio, manganeso, sodio, potasio y otros cationes (Priyanshi, 2023).

Los TDS son un parámetro importante en el análisis del agua, ya que su concentración puede influir en su sabor, potabilidad y en su uso para actividades como la agricultura y la industria.

3.2.2. Indicadores químicos del agua

Los indicadores químicos del agua son parámetros fundamentales para evaluar su calidad y determinar su aptitud para diferentes usos. Cada uno de estos parámetros proporciona información sobre la composición química del agua, su interacción con el medio ambiente y su posible impacto en la salud humana y los ecosistemas.

a) pH

Es un término usado para expresar la concentración de iones hidrógeno [H^+] respecto de la concentración de iones hidroxilo [OH^-] y, consecuentemente, el grado de alcalinidad o de acidez de una muestra de agua; no obstante, no mide la alcalinidad ni la acidez totales de la misma. Se mide, generalmente, por medio de un electrodo unido a un equipo llamado pH-metro (Peachímetro) (Lozano-Rivas, 2015).

La mayor parte de las normativas establecen un rango de pH aceptable, entre 6,5 y 9,0 unidades, especialmente porque permiten mantener la integridad y alargar la vida útil de la red de distribución (Lozano-Rivas, 2015).

b) Conductividad

La conductividad eléctrica (CE), expresa la capacidad de una sustancia para conducir electricidad. Lo cual depende de la cantidad de iones disueltos presentes en ella. Estos iones, como sodio (Na^+), cloruro (Cl^-), calcio (Ca^{2+}) y sulfato (SO_4^{2-}), provienen de sales, minerales y otras sustancias disueltas en el agua (Priyanshi, 2023).

Es un parámetro ampliamente utilizado para evaluar la calidad del agua. Los niveles altos suelen estar asociados con una alta concentración de sólidos disueltos, mientras que niveles bajos indican una menor cantidad de iones presentes.

c) Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad de un cuerpo de agua para funcionar como un amortiguador. Mide la capacidad de un cuerpo de agua para equilibrar los ácidos

y las bases, así como para mantener un pH relativamente estable. La alcalinidad se debe a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos que reaccionan con los iones de hidrógeno (H^+) en el agua y aumentan su pH, volviéndola más básica. Un cuerpo de agua con alta alcalinidad será capaz de neutralizar la contaminación ácida de la lluvia o los aportes básicos del alcantarillado (Priyanshi, 2023).

d) Dureza

Se denomina agua dura como aquella en cuya composición hacen parte importante los cationes disueltos. La dureza del agua es una prueba fisicoquímica de su calidad, que cuantifica los cationes presentes, es un análisis recurrente que determina la cantidad de iones presentes en ella empleando diferentes métodos analíticos (León, 2016). En la tabla 2 se muestra la clasificación del agua en base al porcentaje de dureza.

Tabla 2:

Clasificación de la dureza en el agua

Porcentaje de Dureza	Clasificación
0-75 mg/L	Blanda
75-150 mg/L	Moderadamente dura
150-300 mg/L	Dura
>300 /mg/L	Muy dura

Nota: Extraído de *León (2016).*

Otra característica de suma importancia en la industria es la producción de incrustaciones en los tubos de agua caliente, calentadores y algunas otras unidades en las que la temperatura del agua es alta.

La dureza en el agua es causada principalmente por la presencia de iones de calcio y magnesio. Algunos otros cationes divalentes también contribuyen a la dureza como son, estroncio, hierro y manganeso, pero en menor grado ya que generalmente están contenidos en pequeñas cantidades (León, 2016).

La dureza del agua se expresa normalmente como cantidad equivalente de carbonato de calcio (aunque propiamente esta sal no se encuentre en el agua) y se calcula, genéricamente, a partir de la suma de las concentraciones de calcio y magnesio existentes (miligramos) por cada litro de agua; que puede expresarse en concentración de $CaCO_3$ (León, 2016).

e) Hierro y Manganeso

Cuando se habla de dureza total, se refiere a la concentración total de iones calcio y magnesio. También se emplea el término Dureza Temporal para indicar la concentración de calcio y magnesio disueltos que precipitan en forma de carbonatos (Guillén et al. 2021).

La presencia de iones de hierro en el agua subterráneas se atribuye generalmente a la disolución de rocas y minerales que contienen hierro, que son principalmente óxidos (hematita, magnetita y limonita), sulfuros, carbonatos y silicatos en condiciones anaeróbicas en presencia de agentes reductores como materia orgánica y sulfuro de hidrógeno (Guillén et al. 2021).

f) Nitratos

Estos son compuestos solubles conformados molecularmente por nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito (NO^{2-}) generalmente se convierte a nitrato fácilmente (NO^{3-}), lo que significa que el nitrito raramente está presente en aguas subterráneas (Bolaños-Alfaro, 2017).

Existen dos tipos de fuentes de contaminación del agua naturales por compuestos nitrogenados: la contaminación puntual y la dispersa. El primer caso se asocia a actividades de origen industrial, ganadero o urbano (vertido de residuos industriales, de aguas residuales urbanas o de efluentes orgánicos de las explotaciones ganaderas, y lixiviación de vertederos, entre otros), mientras que, en la contaminación dispersa o difusa, la actividad agronómica es la causa principal (Bolaños-Alfaro, 2017).

Las principales rutas de ingreso de nitrógeno a las masas de agua son a través de aguas residuales industriales o municipales, por tanques sépticos o descargas de corrales ganaderos, residuos animales (incluyendo aves y peces) y también por las descargas de la emisión de gases de vehículos (Bolaños-Alfaro, 2017).

Si bien es cierto, estos compuestos forman parte del ciclo natural del nitrógeno, las actividades humanas incrementan sus niveles principalmente en el suelo, y es debido a su solubilidad en agua, por lo que llega a alcanzar concentraciones importantes en ríos o lechos profundos.

3.2.3. Indicios de contaminación hídrica

a) Coliformes fecales o termotolerantes

Los coliformes fecales o termotolerantes son bacterias con efectos aerobios y facultativos con capacidad de crecimiento, que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, así como en el hombre. La presencia de coliformes

en los cuerpos de agua indica claramente la contaminación por vertidos de aguas residuales o materia en descomposición y especialmente por residuos orgánicos. La contaminación fecal constituye el principal riesgo sanitario para los cuerpos de agua, ya que, dadas estas condiciones, el agua contendrá microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades que amenazan la salud de los seres humanos. La presencia de microorganismos enteropatógenos representa un alto riesgo a la salud pública (Castro Fernandez, y otros, 2022).

b) Coliformes totales

Son bacterias que no forman endosporas, tienen morfología bacilar, oxidasas negativas, aerobias o anaerobias facultativas, además producen acido y gas en 24-48 horas a 36ºC al fermentar la lactosa y presentan una actividad enzimática β-galactosidasa, este grupo coliforme está conformado por 4 géneros, principalmente: *Enterobacter, Escherichia coli, Citrobacter freundii y Klebsiella pneumoniae* (Perez Diaz, 2021). Según Cueva Diaz 2021 la existencia de coliformes totales en instalaciones de agua es un indicador que podría haber otros patógenos, sin embargo, son menos constantes que protozoos y virus.

3.2.4. Otros microorganismos presentes en agua para consumo humano

Rios Tobón et al. 2017 destacan la presencia de diversos contaminantes biológicos en el agua, incluyendo bacterias, virus y parásitos, los cuales representan un riesgo significativo para la salud pública debido a su capacidad de causar enfermedades de transmisión hídrica:

a) Bacterias

Entre las bacterias gram negativas destacan Pseudomonas, Vibrio y enterobacterias como *Shigella* y *Salmonella*. Estas causan enfermedades como disentería, gastroenteritis y colera. Las bacterias gram positivas incluyen *Micrococcus* y *Enterococcus*, siendo este último un indicador de contaminación fecal. Las *Pseudomonas* resisten la desinfección y pueden inhibir coliformes, dificultando su detección. Otros géneros como *Bacillus* y *Clostridium* son patógenos en humanos y animales. (Ríos Tobón et al. 2017).

b) Virus

Los virus son responsables de la mayoría de enfermedades transmitidas por el agua, tales como hepatitis (virus A y E), gastroenteritis (Norovirus, Rotavirus) y poliomielitis (Enterovirus). (Ríos Tobón et al. 2017).

c) Parásitos

Los protozoos patógenos (*Giardia*, *Cryptosporidium*, *Entamoeba*, entre otros) son resistentes a algunos tratamientos y causan diarreas graves, especialmente en inmunocomprometidos. Los helmintos (*Ascaris*, *Schistosoma*, *Necator*, entre otros) resisten condiciones extremas y son comunes en aguas contaminadas, causando alta morbilidad (Ríos Tobón et al. 2017).

3.3. Normativas nacionales e internacionales

3.3.1. Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense para la clasificación de los recursos hídricos (NTON-05-007-98).

Esta norma establece los parámetros para determinar los niveles de calidad elegibles de los cuerpos de agua (lagos, lagunas, lagos artificiales, manantiales, ríos, aguas subterráneas, estuarios y mares) de acuerdo con los usos a los cuales se destinen (La Gaceta, 2000).

El tipo de agua de interés es el Tipo 1, esta se encuentra destinada al uso doméstico e industrial que requiera el uso de agua potable, dentro de este se encuentran las categorías 1-A y 1-B que, según La Gaceta 2000, pueden requerir tratamientos sencillos como adición de desinfectantes y tratamientos de coagulación-floculación respectivamente, en Tabla 3 se observan más a detalle dichas características.

Tabla 3:

Parámetros de calidad del agua Tipo 1 según NTON 05-007-98

Parámetros	Límite o rango máximo	
	Categoría 1-A	Categoría 1-B
Oxígeno Disuelto (OD)	>4.0mg/l (*)	>4.0mg/l (*)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)	2.0mg/l	5.0mg/l
pH	6.0-8.5	6.0-8.5
Color real	<15 U Pt-Co	<150 U Pt-Co
Turbidez	<5 NTU	<250 NTU
Fluoruros	0.7-1.5	<1.7
Hierro total	0.3 mg/l	3mg/l
Mercurio total	0.001 mg/l	0.01 mg/l
Plomo total	0.01 mg/l	0.05 mg/l
Sólidos totales disueltos	1000 mg/l	1500 mg/l
Conductividad (µS/cm)	-	-

Zinc		3 mg/l	5 mg/l
Cloruros		250 mg/l	600 mg/l
DQO		-	-
Sulfatos		250 mg/l	400 mg/l
Organismos Totales	Coliformes	(**)	(***)

Nota: Extraído de 2000 *La Gaceta.*

(*) También puede ser como porcentaje de saturación y debe ser mayor de 50%.

(**) Promedio mensual menor de 2000 NMP por cada 100 ml.

(***) Promedio mensual menor de 10000 NMP por cada 100 ml.

3.3.2. Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y Rep. Dominicana (CAPRE).

Es la normativa que se aplica para los países miembros del CAPRE, la cual tiene como objetivo proteger la salud pública y ajustar, eliminar o reducir al mínimo aquellos componentes o características del agua (de índole física, química o microbiológica, Véase tablas 4 y 5) que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento del agua (CAPRE, 1994).

Tabla 4:

Parámetros bacteriológicos, organolépticos y sustancias no deseadas según CAPRE

Parámetro	Unidad	Valor recomendado	Valor Máximo admisible	Observaciones
Coliforme fecal	NMP/100mL	Neg	Neg	Todo tipo de agua de bebida.
Coliforme fecal	NMP/100mL	Neg	≤4	Agua que entra al sistema de distribución. En muestras no consecutivas
Coliforme fecal	NMP/100mL	Neg	≤4	Agua en el sistema de distribución. En muestras puntuales.

Color verdadero	Mg/L (Pt-Co)	1	15	-
Turbiedad	UNT	1	2	-
Olor	Factor dilución	0	2 a 12ºC 3 a 25ºC	-
Sabor	Factor dilución	0	2 a 12ºC 3 a 25ºC	-
Nitratos- NO_3^-	mg/l	25	50	-
Nitritos- NO_2^-	mg/l	-	0.1-3.0	-
Amonio	mg/l	0.05	0.5	-
Hierro	mg/l	-	0.3	-
Manganeso	mg/l	0.01	0.5	-
Fluoruro	mg/l	-	0.7 a 1.5	-
Sulfuro de hidrógeno	mg/l	-	0.05	-

Tabla 5:

Parámetros fisicoquímicos según CAPRE

Parámetro	Unidad	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Temperatura	ºC	18 a 30	
Concentración de iones hidrógeno	Valor de pH	6.5 a 8.5	
Cloro residual	mg/l	0.5 a 1.0	
Cloruros	mg/l	25	250
Conductividad		400	-
Dureza	mg/l $CaCO_3$	400	-
Sulfatos	mg/l	25	250
Aluminio	mg/l	-	0.2
Calcio	mg/l $CaCO_3$	100	-
Cobre	mg/l	1.0	2.0
Magnesio	mg/l $CaCO_3$	30	50
Sodio	mg/l	25	200
Potasio	mg/l	-	10
Solidos totales disueltos	mg/l	-	1000
Zinc	mg/l	-	3.0

Nota: Extraído de 1994 *CAPRE.*

3.3.3. Normativa – 066: Manual para la vigilancia sanitaria del agua para el consumo humano (Ministerio de Salud de Nicaragua).

La normativa – 066 del Ministerio de Salud de Nicaragua (MINSA) establece directrices para garantizar la calidad del agua potable en el país. Se definen responsabilidades institucionales, procedimientos de recolección y análisis de muestra, parámetros de calidad física, química y microbiológica, esta información se resume en las tablas 6 y 7. Promueve la educación sanitaria y la participación de la comunidad fundamentándose en leyes como la Ley General de Salud y la Ley General de Aguas Nacionales para proteger la salud publica frente a riesgos asociados al consumo de agua contaminada. (MINSA, 2021).

Tabla 6:

Parámetros bacteriológicos, organolépticos y sustancias no deseadas según MINSA

Origen	Parámetro	Valor recomendado	Valor máximo admisible	Observaciones
Todo tipo de agua de bebida	Coliforme fecal	Neg.	Neg.	-
Agua que entra al sistema de distribución	Coliforme fecal	Neg.	Neg.	-
	Coliforme total	Neg.	≤4	En muestras no consecutivas
Agua en el sistema de distribución	Coliforme total	Neg.	≤4	En muestras puntuales.
	Coliforme fecal	Neg.	Neg.	No debe ser detectado en el 95% de las muestras.
Color verdadero	mg/L (Pt-Co)	1	15	-
Turbiedad	UNT	1	2	-
Olor	Factor dilución	0	2 a 12ºC 3 a 25ºC	-

Sabor	Factor dilución	0	2 a 12ºC 3 a 25ºC	-
Nitratos-NO_3^-	mg/l	25	50	-
Nitritos-NO_2^-	mg/l	-	0.1 a 3.0	-
Amonio	mg/l	0.05	0.5	-
Hierro	mg/l	-	0.3	-
Manganeso	mg/l	0.01	0.5	-
Fluoruro	mg/l	-	0.7 a 1.5	-
Sulfuro de hidrógeno	mg/l	-	0.05	-

Nota: Extraído de 2021 *MINSA.*

Tabla 7:

Parámetros fisicoquímicos según MINSA

Parámetro	Unidad	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Temperatura	ºC	18 a 30	
Concentración de iones hidrógeno	Valor de pH	6.5 a 8.5	
Cloro residual	mg/l	0.5 a 1.0	
Cloruros	mg/l	25	250
Conductividad	µs/cm	400	-
Dureza	mg/l $CaCO_3$	400	-
Sulfatos	mg/l	25	250
Aluminio	mg/l	-	0.2
Calcio	mg/l $CaCO_3$	100	-
Cobre	mg/l	1.0	2.0
Magnesio	mg/l $CaCO_3$	30	50
Sodio	mg/l	25	200
Potasio	mg/l	-	10
Solidos totales disueltos	mg/l	-	1000
Zinc	mg/l	-	3.0

Nota: Extraído de 2021 *MINSA*

3.3.4. Directrices de la Organización Mundial de la Salud para la calidad del agua potable (OMS).

Según OMS 2017, La *Guía para la calidad del agua de consumo humano* establece estándares internacionales para proteger la salud publica mediante el acceso a agua potable segura. A través de la guía mencionada, se proporcionan criterios técnicos y recomendaciones para evaluar y gestionar riesgos asociados a contaminantes físicos, químicos y microbiológicos en el agua. Incluye principios como el enfoque de múltiples barreras para proteger fuentes de agua, la evaluación de riesgos y la implementación de planes de seguridad del agua, estos criterios se resumen en la tabla 8.

Tabla 8:

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de calidad del agua (OMS)

Parámetro	Unidad	Valor permisible	Observaciones
pH	-	6.5 – 8.5	Mantiene la estabilidad química y biológica.
Turbidez	NTU	≤ 1	Relacionada con la eficacia de desinfección.
Cloro residual libre	mg/L	0.2 – 0.5	Garantiza desinfección en redes de distribución.
Conductividad eléctrica	µS/cm	≤ 1500	Indicador de sales disueltas en el agua.
Nitratos (NO_3^-)	mg/L	≤ 50	Relacionado con contaminación agrícola.
Nitritos (NO_2^-)	mg/L	≤ 3	Tóxico en concentraciones altas.
Amonio	mg/L	≤ 0.5	Indica contaminación orgánica reciente.
Dureza total (como $CaCO_3$)	mg/L	≤ 500	Influye en el sabor y la

			formación de incrustaciones.
Aluminio	mg/L	≤ 0.2	Puede derivar de procesos de tratamiento.
Fluoruros	mg/L	0.5 – 1.5	Previene caries, pero en exceso causa fluorosis.
Hierro	mg/L	≤ 0.3	Relacionado con el color y sabor del agua.
Manganeso	mg/L	≤ 0.1	En exceso puede afectar el sabor y color.
Sulfatos	mg/L	≤ 250	En niveles altos puede causar problemas digestivos.
Cloruros	mg/L	≤ 250	En concentraciones altas afecta el sabor.
Zinc	mg/L	≤ 3	A niveles elevados altera el sabor del agua.
Cobre	mg/L	≤ 2	Tóxico en altas concentraciones.
Mercurio	mg/L	≤ 0.006	Altamente tóxico; asociado a problemas neurológicos.
Plomo	mg/L	≤ 0.01	Neurotóxico, especialmente para niños.
Sodio	mg/L	≤ 200	Relacionado con el sabor; a dosis altas puede impactar la salud cardiovascular.

Potasio	mg/L	≤ 12	Generalmente no representa riesgos significativos en agua potable.

Nota: Extraído de 2017 *Guías para la calidad del agua de consumo humano.*

3.3.5. Diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable (NTON 05-007-19).

La norma NTON 09 007-19 establece los requisitos técnicos para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable en Nicaragua, abarcando desde la captación hasta la distribución, con el objetivo de garantizar un suministro seguro y eficiente para el consumo humano.

Esta norma define criterios para la selección de fuentes de agua, especificaciones para la construcción de infraestructuras como estaciones de bombeo, plantas de tratamiento y redes de distribución, y parámetros de calidad que el agua debe cumplir según las Normas Regionales. Además, proporciona lineamientos para el dimensionamiento de componentes del sistema, asegurando que se satisfagan las necesidades de la población actual y futura, y promueve la implementación de prácticas sostenibles en la gestión de los recursos hídricos (Autoridad Nacional del Agua, 2023).

3.4. Componentes principales de un sistema de abastecimiento de agua potable

3.4.1. Fuente de abastecimiento

En la naturaleza existen diversas fuentes de abastecimiento, tales como las subterráneas, superficiales, atmosféricas y salinas. La elección de la fuente dependerá de las características de la infraestructura destinada a la captación, potabilización y transporte del agua. (Sandoval y Talavera, 2021).

3.4.2. Obras de captación

La obra de captación es la infraestructura diseñada para recoger el agua de la fuente, ya sea subterránea, mediante pozos perforados o excavados a mano, o superficial, a través de captación abierta o cerrada. Según Perez H. 2021, existen dos tipos de obras de captación:

a) Captación abierta o superficial: esta estructura está formada por un dique de toma o muro, ubicado transversalmente al cauce del río. Entre sus componentes más importantes se encuentran los reguladores de caudal

(vertederos), las tuberías de conducción y limpieza, así como las válvulas de paso protegidas por una caja de concreto con tapa.

b) Captación subterránea: se trata de una estructura vertical que facilita la extracción del agua freática contenida en el subsuelo.

3.4.3. Variaciones de consumo

Según Sandoval y Talavera 2021, estos factores se expresan como componentes de la demanda promedio diaria y sirven como base para dimensionar la capacidad de infraestructuras como las obras de captación, la línea de conducción y la red de distribución, entre otras.

3.4.4. Distribución de agua

La distribución del agua es un proceso con el que se pretende garantizar el acceso al recurso vital en comunidades densamente pobladas. El proceso de distribución del agua comienza con la captación del agua, que puede provenir de fuentes superficiales como ríos, lagos o embalses, o de fuentes subterráneas como acuíferos. Una vez captada, el agua pasa por procesos de tratamiento en plantas potabilizadoras para eliminar impurezas y contaminantes, cumpliendo con estándares de calidad que la hacen apta para el consumo humano. Desde allí, se distribuye a través de redes de tuberías principales que se ramifican hacia sectores residenciales, comerciales e industriales, asegurando que llegue de manera uniforme a todos los usuarios (Rouse, 2021).

En algunas ciudades con alta densidad poblacional, aunada con una infraestructura envejecida y las fugas de distribución provocan desigualdades en el acceso al agua potable. En zonas rurales, es común identificar dificultades para acceder a servicios adecuados, esto obliga a las personas a depender de soluciones alternativas como camiones cisterna o pozos locales (Tortajada & Castro, 2019).

3.4.5. Línea de conducción

Según el Fondo de Inversión Social de Emergencia e Instituto Nacional Tecnológico 2022, es el conjunto de tramos de tuberías, y dispositivos de control, que permiten el transporte interno del agua desde la fuente de abastecimiento (superficial o subterránea), hasta la planta de tratamiento o tanque de almacenamiento (FISE e INATEC, 2022).

3.4.6. Red de distribución

Una red de distribución de agua potable es un sistema de tuberías, válvulas, bombas y depósitos que transporta agua tratada desde su fuente o planta hasta

hogares, industrias e instituciones. Su finalidad es garantizar cantidad suficiente, presión adecuada y calidad sanitaria conforme a normas locales e internacionales. Además, busca minimizar pérdidas, optimizar energía y resistir fallos o contaminaciones. Las redes modernas incorporan sensores y monitoreo en tiempo real para controlar la calidad y distribución, fortaleciendo la sostenibilidad de los recursos hídricos (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2018).

3.4.7. Conexiones domiciliarias

Según Velásquez 2017, las conexiones intradomiciliarias son el conjunto de cañerías y accesorios que permiten a la población contar con el servicio de agua potable y saneamiento básico, mediante una conexión a la red principal, que es administrada por una entidad prestadora de servicios de agua potable.

Las conexiones comprenden varios accesorios que se inician en la abrazadera o collera que se coloca en la tubería de la red pública para permitir que la tubería de la conexión domiciliaria se conecte; el medidor, las llaves de paso, llaves de corte de servicio por mora y otras llaves instaladas, con el propósito de permitir aislar el agua de la tubería de la red pública de la red intradomiciliaria en caso de alguna emergencia o la necesidad de efectuar una reparación. Las conexiones deben respetar la norma vigente en cuanto al tipo de tubería, el diámetro, los accesorios que deben ser instalados en el ramal domiciliario, incorporar la instalación del medidor dentro de las normas de ubicación (Velásquez, 2017).

3.4.8. Estación y equipo de bombeo

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución (Simbaña Calle, 2018).

Según Larraga Jurado 2016, para seleccionar el tipo de bomba adecuado para un sistema se necesita recolectar los siguientes datos:

- La altura dinámica total del bombeo.
- Largo y diámetro de la tubería de impulsión.
- Tipo de líquido y temperatura máxima para bombear.
- Caudal requerido.

3.4.9. Válvulas y elementos en la línea de conducción

Sandoval y Talavera 2021, presentan un listado de dispositivos que cumplen con funciones esenciales para garantizar el adecuado control, monitoreo y protección del agua dentro de la red:

a) **Válvula:** una válvula en un sistema de agua potable se puede describir como un dispositivo mecánico que permite iniciar, detener o regular el flujo de líquidos o gases mediante piezas móviles que abren o cierran, de forma parcial o total, el paso del fluido. En una línea de conducción, una válvula está compuesta por varias partes, que se detallan a continuación:
b) **Medidor o caudalímetro**: es un instrumento utilizado para medir el caudal o el gasto volumétrico de un fluido, o bien para medir el gasto másico. Normalmente, se coloca en línea con la tubería que transporta el fluido.
c) **Válvula de aire**: las ventosas o válvulas de aire cumplen tres funciones principales:
    a. **Admisión o entrada de aire**: permite la entrada de grandes cantidades de aire cuando la presión dentro de la tubería es inferior a la presión atmosférica, como sucede durante el vaciado de tuberías.
    b. **Expulsión o salida de aire**: facilita la eliminación de grandes cantidades de aire cuando la presión dentro de la tubería es superior a la atmosférica, especialmente durante el llenado de tuberías.
    c. **Purga**: se encarga de eliminar pequeñas cantidades de aire que se acumulan en los puntos altos del sistema, un proceso que ocurre durante su funcionamiento normal.
d) **Manómetro**: es un indicador analógico utilizado para medir la presión de un gas o líquido, como agua, aceite o aire**.**
e) **Junta de expansión**: son accesorios flexibles instalados en las tuberías para absorber los movimientos causados por vibraciones.
f) **Válvula de alivio rápido**: es una válvula de control hidráulico accionada por un diafragma que alivia las presiones del sistema cuando éstas superan un nivel predefinido.
g) **Válvula de no retorno o check**: son comúnmente utilizadas en sistemas de bombeo para prevenir los golpes de ariete, especialmente en la línea de descarga de la bomba.

3.5. Dotación y caudales de diseño

Según (ANA, 2023) Para sistemas de abastecimiento de agua potable, promedio de puestos públicos, se asignará un caudal de 30 a 40 litros por persona por día (lppd).

Para sistemas de abastecimiento de agua potable por medio de conexiones domiciliares de patio, se asignará un caudal de 50 a 60 lppd.

Para los pozos excavados a mano y pozos perforados se asignará una dotación de 20 a 30 lppd.

Para determinar las cantidades de agua que se requiere para satisfacer las condiciones inmediatas y futuras proyectadas, se recomiendan las siguientes dotaciones mostradas en la tabla 9 en función del rango de población.

Tabla 9:

Dotaciones de agua

Rango de población	Dotación	
	gal/hab/día	L/hab/día
0-5,000	20	75
5,000-10,000	25	95
10,000-15,000	30	113
15,000-20,000	35	132
20,000-30,000	40	151
30,000-50,000	45	170
50,000-100,000 y más	50	189

Nota: Extraído de 2023 *Autoridad Nacional del Agua*

Consumo comercial, industrial y público: En la tabla 10 se muestran los porcentajes de acuerdo a la dotación doméstica diaria, solamente para ciudades y localidades fuera del departamento de Managua.

Tabla 10:

Consumo comercial, público e industrial

Consumo	Porcentaje
Comercial	7
Publico o institucional	7
Industrial	2

Nota: Extraído de 2023 *Autoridad Nacional del Agua*

3.5.1. Periodo de diseño

Según (Comision Nacional de Normalizacion Tecnica , 2021). Cada sistema de abastecimiento cuenta con un periodo de diseño durante el cual debe responder a las demandas futuras de la comunidad. En este contexto, se determina qué componentes del sistema requieren construirse de manera inmediata y cuáles pueden desarrollarse por etapas. Estos elementos previsionales se muestran en tabla 11 y deben considerarse desde el inicio, a fin de facilitar la incorporación de nuevas estructuras o ampliaciones al sistema cuando sea necesario.

Tabla 11:

Períodos de diseño según componentes

Tipos de componentes	Periodo de diseño
Pozos excavados	10 años
Pozos perforados	15 años
Captaciones superficiales y manantiales	20 años
Desarenador	20 años
Filtro lento	20 años
Líneas de conducción	15 años
Tanque de almacenamiento	20 años
Red de distribución	15 años

Nota: *Extraído de NTON 09 007-19.*

3.6. Balance iónico

El agua, a escala macroscópica más que escala molecular, posee la condición de electroneutralidad. Por lo tanto, la suma de cargas positivas igual a la suma de cargas negativas. Una de las maneras de validar la calidad de los análisis químicos de agua es utilizando la ecuación 1 de balance iónico.

$$Error = \frac{(\sum Cationes - \sum Aniones)}{(\sum Cationes + \sum Aniones)} * 100\% \quad (1)$$

Este error puede estar relacionado con:

- Errores analíticos en la determinación de las concentraciones
- Especies iónicas presentes en niveles significativos no considerados en el análisis

Según (Giovanetti, 2018). Debe tenerse en cuenta que se puede obtener un porcentaje de error pequeño, cuando existan errores individuales si ellos se equilibran entre sí. En general, es aceptado que el error puede llegar hasta el 10%. Los laboratorios de análisis de aguas normalmente estiman aceptable un error de hasta un 5%, aunque para muestras más diluidas se podría considerar un error de hasta un 10%.

3.7. Sistema de tratamiento

3.7.1. Filtro lento de Arena

La filtración lenta es un método de potabilización que asegura buena calidad bacteriológica sin uso intensivo de químicos, requiriendo solo pequeñas dosis de desinfectante antes de la distribución. Una unidad de filtración lenta en arena (FLA) se compone de un lecho filtrante, agua sobrenadante, sistema de drenaje y control de caudal. Su tratamiento combina procesos biológicos y fisicoquímicos que actúan de forma conjunta. El agua cruda o pretratada atraviesa el medio filtrante por gravedad gracias a la presión ejercida por la capa de agua sobre el lecho de arena (Leyton & Capote, 2018).

Los filtros utilizan generalmente un solo medio, arena o antracita; un medio dual, arena y antracita, o un lecho de mezclado que puede estar constituido por arena, antracita y granate o ilmenita. El mecanismo por el cual un filtro retiene y remueve el material suspendido, se debe al resultado de la acción conjunta de diferentes acciones físicas, químicas y biológicas ocurrentes en el filtro con mayor o menor intensidad según el tipo de filtro y la calidad del agua filtrada.

El Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (1999). Señala que la calidad del agua destinada a la filtración debe cumplir con los requerimientos establecidos para su aplicación, tanto en temporada seca como en época lluviosa.

Por su parte, Ramos (2016) explica que los filtros lentos en arena (FLA) eliminan parámetros físicos que afectan el agua de consumo, tal como ocurre en otros sistemas de filtración. Los porcentajes de remoción logrados por este tipo de filtros se detallan en la Tabla 12. La acción de la capa microbiológica que se forma sobre el lecho filtrante se manifiesta a través de reacciones que reducen las concentraciones de amonio, bicarbonato y pH; al mismo tiempo, dichos procesos incrementan los niveles de nitratos y dióxido de carbono, esto se muestra en la ecuación 2.

$$NH_4 + 3.56O_2 \rightarrow 3.44NO_3^- + 0.11H^+$$

$$H^+ + 613.44HCO_3^- \rightarrow 44CO_2$$

$$pH = 6.2 + Log\left(\frac{\frac{[HCO_3^-]}{PM_{HCO_3^-}}}{\frac{[CO_2]}{PM_{CO_2}}}\right) \quad (2)$$

Tabla 12:

Porcentajes de remoción de FLA

Parámetros	Reducción típica
Solidos suspendidos	90%
Turbiedad	Entre 90% y 95%
Color real	Entre 30% y 90%
Hierro	Entre 90% y 95%
Manganeso	Entre 90% y 95%
Coliformes fecales	Entre 90% y 99%
Materia Orgánica	Entre 30% y 70%
Metales pesados	Entre 30% y 90%

Nota: *Extraído de Ramos (2016)*

3.7.2. Desinfección

Según Ramos (2016). La desinfección constituye la etapa final y, al mismo tiempo, una de las más relevantes dentro del tratamiento del agua para consumo humano, ya que es el único procedimiento capaz de asegurar la eliminación de los microorganismos patógenos que representan un riesgo para la salud de la población.

La determinación de la dosis de cloro requerida para eliminar los contaminantes presentes en un sistema de tratamiento depende de cálculos estequiométricos, los cuales varían según la naturaleza del contaminante y el tipo de cloro empleado en el proceso de desinfección (FISE, 2019).

La forma en que reaccionan los tres métodos de desinfección se representa en las ecuaciones siguientes (Ramos, 2016).

$$Cl_2 + 0.25H_2O \rightarrow 0.73HOCl + 0.014\ H^+ + 0.5Cl^-$$

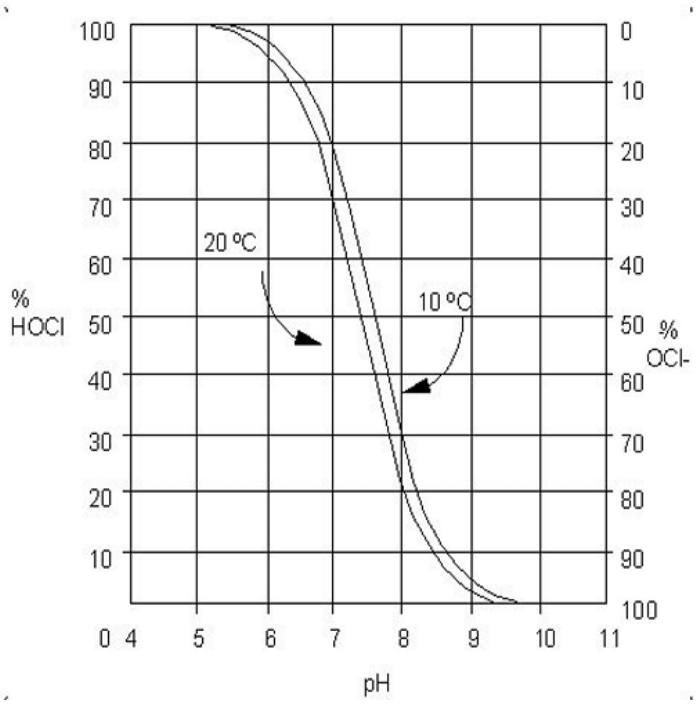
$$NaOCl + 0.24H_2O \rightarrow 0.7\ HOCl + 0.54\ NaOH$$

$$142.976Ca(OCl)_2 + 32.254 \rightarrow 40.078Ca^{2+} + 34.014\ OH^- + 109.914\ HOCl$$

Como se aprecia en las ecuaciones anteriores se produce HOCl, Ramos (2016) hace mención que este compuesto tiende a disociarse en el agua en dependencia de su pH tal y como muestra la Figura 1.

Figura 1:

Disociación de HOCl



Nota: *Imagen extraída de Ramos (2016*)

El cloro es un reactivo altamente oxidante y con propiedades desinfectantes, que resulta excelente para el tratamiento de agua. Cuando este se disuelve en el agua en ausencia de elementos metálicos o cualquier otro oxidante reacciona de la siguiente manera:

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HClO \rightarrow MnO_2 + Cl^- + H_2O$$

IV. MATERIALES Y METODO

4.1. Elementos de Diseño de Investigación

La presente investigación se enmarcó en un enfoque descriptivo no experimental, ya que no implica a alteración o control deliberado de variables y cuyo propósito es ofrecer una visión detallada de la realidad existente a través de la recopilación de información relevante tales como las necesidades básicas, características socioeconómicas y carencias de servicios esenciales.

El universo de estudio que se identificó consistió en los habitantes que conforman la comunidad El Guayabo, las condiciones socioeconómicas y los servicios que la población de la comunidad tiene. Para la recolección de datos se recurrió a fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias consistieron en la recopilación de información de los pobladores mediante encuestas dirigidas a los cabezas de hogar y visitas de campo. Las fuentes secundarias se extrajeron de registros institucionales proporcionados por Ministerio de Transporte e Infraestructura, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención a desastres, Instituto Nacional de Información de Desarrollo, Ministerio de Salud, entre otros entes gubernamentales que cuentan con información relevante sobre la zona de estudio.

Para identificar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua potable en la comunidad El Guayabo, se llevó a cabo la recolección de una muestra de agua de 4 litros durante la época lluviosa, la muestra fue tomada directamente de la red de distribución. Esta fue almacenada en recipientes estériles para garantizar la integridad de los análisis antes mencionados.

Para proponer el sistema de tratamiento de agua potable en la comunidad El Guayabo, se tomó en cuenta los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio y comparar los resultados con los valores máximos permisibles por CAPRE para identificar las deficiencias más relevantes en la calidad del recurso. Se evaluaron diferentes tecnologías de potabilización adaptadas a contextos rurales priorizando la eficiencia, sostenibilidad, costos de implementación y mantenimiento, y facilidad de operación por parte del CAPS.

Se presentó el manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento propuesto, se elaboraron tablas que reúnen las actividades, materiales y equipos requeridos para el correcto funcionamiento y conservación de las unidades. Se incluyeron formatos complementarios que permiten registrar y supervisar las condiciones del sistema.

4.2. Descripción general de estudio

4.2.1. Macro localización

La Comunidad El Guayabo pertenece al Municipio de Granada, Departamento de Granada, Nicaragua, entre las coordenadas 12.04252° o 12° 2′ 33″ norte y -85.91997° o 85° 55′ 12″ oeste, a 15km del casco urbano de la Ciudad de Granada y a 60km de Managua. Cuenta con una población de 950 habitantes (2022) y una tasa de crecimiento de 0.8% anual (MTI, 2011).

4.2.2. Micro localización

La comunidad El Guayabo entre los kilómetros 58 y 68, este corredor fue adoquinado recientemente facilitando la conexión terrestre entre el Departamento de Granada y el Departamento de Boaco.

El municipio de Granada está conformado por 17 comarcas: Malacatoya, El Pochote, Tepeyac, Cauloa, El Hormigón, La Escoba, Los Malacos, La Fuente, El Guanacaste, La Laguna, Posintepe, Los Ranchones, El Capulín, Asese, Las Prusias, El Fortín, Mombacho y el archipiélago la Isla Zapatera (Castro, 2018).

4.2.3. Límites y colindancias

Los límites de la comunidad están definidos por las siguientes comunidades circunvecinas:

- Norte: Comarca El Hatillo, Malacatoya.
- Sur: Comarca Cauloa, casco urbano de Granada.
- Este: Lago Cocibolca.
- Oeste: Comarca El Diamante.

4.2.4. Clima y precipitación

La comunidad cuenta con un clima de tipo tropical, con temperaturas que oscilan entre los 30ºC a 35ºC con poca variación estacional.

La estación lluviosa se extiende de mayo a octubre, con lluvias intensas especialmente en octubre (entre 222 mm y 353 mm) y entre 160mm y 260mm en los meses de junio a septiembre. Según el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) estas mismas características climáticas predominan en la Región del Pacifico nicaragüense, en donde está localizada la zona de estudio.

4.2.5. Hidrografía

La Comunidad El Guayabo se encuentra dentro del límite oriental del municipio de Granada, desemboca directamente en el Lago de Nicaragua (Cocibolca), integrándose a la Gran Cuenca del río San Juan, la cual drena al gran lago por diversos afluentes como el Malacatoya, Panaloya (figura 2), Acoto y Tipitapa (SINAPRED, 2003).

Figura 2:

Afluente del Río Panaloya



Nota: *Elaboración propia.*

4.2.6. Educación

La comunidad de El Guayabo dispone de un centro educativo de nivel primario denominado Escuela José Dolores Estrada (véase figura 3), el cual cuenta con seis aulas destinadas a la atención de la población estudiantil. No obstante, en la localidad y en comunidades vecinas (Cauloa o Malacatoya) no existen instituciones de educación secundaria, por lo que los jóvenes que desean continuar su formación académica deben trasladarse a la ciudad de Granada para cursar sus estudios en ese nivel (Los autores, 2025).

Figura 3:

Escuela José Dolores Estrada



Nota: *Elaboración propia.*

4.2.7. Puestos sanitarios

La comunidad El Guayabo no dispone de unidades de salud, por lo que sus habitantes se ven en la obligación de recorrer varios kilómetros hasta la ciudad de Granada para acceder a servicios médicos con los que cuenta la ciudad, este panorama deja en una clara vulnerabilidad a las personas con escasos recursos económicos a la hora de actuar ante una emergencia sanitaria (Los autores, 2025).

4.2.8. Accesibilidad y transporte

La comunidad el guayabo presenta una vía de acceso principal en óptimas condiciones, la carretera que la conecta con la ciudad de Granada está completamente adoquinada y libre de baches. La comunidad cuenta con los autobuses que conectan Granada con la comunidad de Malacatoya, teniendo en consideración la baja frecuencia con la que transitan, viéndose los habitantes obligados a esperar largos periodos de tiempo entre una unidad y otra (véase figura 4). La ausencia de alumbrado público implica que la única visibilidad disponible es la proporcionada por los faros de los vehículos, esto se agrava por la presencia de ganado en la vía debido a la falta de control de sus propietarios, haciendo que la probabilidad de que ocurra un accidente sea alta (Los autores, 2025).

Figura 4:

Rutas y medios de transporte.



Nota: *Elaboración propia.*

4.3. Métodos para determinar las características socioeconómicas

4.3.1. Proyección de la población

a) Tasa de crecimiento lineal

Este es uno de los puntos más importantes para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable, puesto que determina las demandas futuras de una población para prever el diseño de las exigencias para fuentes de abastecimiento, líneas de conducción, redes de distribución, equipos de bombeo, plantas de potabilización y futuras extensiones del servicio. Por tanto, es necesario predecir la población futura para un número de años que será fijada por los periodos económicos del diseño (Autoridad Nacional del Agua, 2023).

b) Tasa de crecimiento geométrica

En zonas rurales se proyectó la población por el método geométrico, puesto que la normativa técnica de diseño abastecimiento en zonas rurales recomienda la utilización de este método debido a que es el más factible y el más utilizado en comunidades rurales que no han alcanzado su desarrollo y que mantienen un crecimiento a una tasa fija (Masis y Lorente, 2017).

4.3.2. Análisis socioeconómico

Este método tuvo como objetivo conocer la capacidad económica de la población, debe considerarse que la construcción de todo sistema de agua potable implica inversiones de cuantiosos recursos tanto humanos, técnicos y económicos. Además, incluye un estudio de la población, con el objetivo de determinar sus características generales, estructuras por edades y nivel de ingreso, entre otros; de manera que se facilite la estimación de la tasa de crecimiento poblacional (Quezada et al. 2015).

4.3.3. Encuesta socioeconómica

La elaboración de esta encuesta constituyó uno de los aspectos clave para la recopilación de información pertinente al estudio. Esta fue realizada a base de un formulario en el cual dichos datos fueron procesados y analizados utilizando Microsoft Excel con la posterior generación de gráficos para facilitar la interpretación de los resultados.

La cantidad total de habitantes en un periodo de tiempo se puede obtener aplicando la ec. 3:

$$kg = \left(\frac{P_f}{P_b}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \qquad (3)$$

Donde:

- Kg: Tasa de crecimiento geométrico.
- P_b: Población base
- P_f: Población futura
- n: Número de años que comprende el periodo entre los datos poblacionales

Para conocer la población futura se procedió a despejar P_f de la ec 3:

Por tanto:

$$P_f = P_b * (kg + 1)^n \qquad (4)$$

Se encuestó a un total de 276 personas con una serie de preguntas básicas dirigidas a los cabezas de hogar con la finalidad de obtener información referente a la cantidad de habitantes, horarios de disponibilidad del agua, tipos de fuentes hídricas utilizadas, manejo de residuos, acceso a la salud, enfermedades comunes y crónicas, infraestructura de viviendas, educación, actividades laborales y métodos de transporte.

4.4. Criterios de dimensionamiento para el sistema de agua potable

4.4.1. Sistema de captación de la comunidad

La captación de agua para el sistema propuesto se realiza a partir del sistema existente en la comunidad El Guayabo, compuesto por una bomba sumergible Franklin Electric de 10 HP que trabaja a 220 V, alimentada por un sistema eléctrico trifásico. Para cubrir el costo del servicio eléctrico, los habitantes de la comunidad aportan en conjunto un total de 8,000 córdobas al mes. La bomba opera todos los días en horarios establecidos: de lunes a viernes se enciende a las 4:00 a.m. y se apaga a las 11:00 a.m., mientras que los fines de semana permanece en funcionamiento hasta mediodía.

El sistema posee una sarta de bombeo con tubería de alivio que permite el flujo de agua cuando la bomba está apagada. Incluye una llave conectada a una tubería de 150 mm destinada a mediciones de caudal. También cuenta con una línea hacia un tanque aéreo fuera de servicio, cuya válvula fue cerrada para impedir el paso de agua. Ante esta situación, se planteó la construcción de un nuevo tanque con características diferentes. Actualmente, el caudal se conduce por tuberías subterráneas hasta los hogares, aunque el dosificador de cloro del sistema está dañado (figura 5).

Figura 5:

Sistema de captación de agua en la comunidad El Guayabo



Nota: De izquierda a derecha: Sarta de bombeo, dosificador de cloro, tanque de almacenamiento. Elaboración propia.

4.4.2. Tratamiento y desinfección

Con base en el diagnóstico técnico del pozo existente, los resultados de calidad del agua y las condiciones operativas de la comunidad El Guayabo, se propuso un sistema de tratamiento compuesto por etapas sencillas y funcionales.

a) Filtro lento de arena

En la tabla 13 se presentan los valores de diseño recomendados para el dimensionamiento de un FLA

Tabla 13:

Criterios de diseño para dimensionamiento de FLA

Criterios de diseño	Valores recomendados
Altura de arena [m]	0.5-1
Diámetro efectivo [mm]	0.15-0.35
Coeficiente de uniformidad	<3
Altura del lecho de soporte con drenaje	0.1-0.3
Velocidad de filtración [m/h]	0.1-0.2
Altura del lecho filtrante [m]	1-1.5
Área máxima del filtro [m^2]	100
Altura de la capa de agua sobrenadante [m]	1-1.5
Altura del borde libre	0.2-0.3
Mínimo de unidades	2

Nota: Extraído de *Ramos (2016)*

Ramos (2016) hace mención de algunas ecuaciones de diseño fundamentales (ecuaciones 5-9) correspondientes al filtro lento de arena:

- Área superficial:

$$A_{sup} = \frac{Q}{n * V_f} \quad (5)$$

Donde:

  - Q: Caudal de diseño. [m^3/h]
  - n: Número mínimo de unidades en paralelo.
  - V_f: Velocidad de filtración. [m/s]

- Coeficiente mínimo de costo:

$$k = \frac{2n}{n+1} \quad (6)$$

- Longitud:

$$L = \sqrt{A_{sup} * k} \quad (7)$$

- Anchura:

$$b = \sqrt{\frac{A_{sup}}{k}} \quad (8)$$

- Altura:

$$H_t = H_{lf} + H_{CA} + B_1 + H_d + H_{ls} \quad (9)$$

- Granulometría del medio filtrante y lecho de soporte del filtro lento de arena

La arena utilizada como medio filtrante debe presentar una distribución granulométrica controlada que permita la adecuada formación y funcionamiento de la capa biológica superficial, responsable de la mayor parte de la remoción bacteriológica en los filtros lentos. De acuerdo con Ramos (2016), el diámetro efectivo (D_{10}) recomendado para la arena de filtros lentos se encuentra entre 0.15 y 0.35 mm, con un coeficiente de uniformidad (Cu) menor a 3, lo que garantiza una granulometría relativamente uniforme y un desempeño hidráulico estable.

El Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA, 1999) establece que la arena debe ser limpia, dura, resistente a la abrasión y libre de arcillas, limos y materia orgánica, ya que la presencia de partículas finas puede provocar colmatación prematura del filtro y reducción de su vida útil. Asimismo, la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2004) señala que una arena excesivamente gruesa disminuye la eficiencia de remoción de microorganismos, mientras que una arena demasiado fina incrementa las pérdidas de carga y la frecuencia de mantenimiento.

Considerando la implementación del Filtro Lento de Arena para el sistema de tratamiento de la comunidad El Guayabo, se adopta una arena con un diámetro efectivo aproximado de 0.25mm de acuerdo al rango optimo recomendado por Ramos (2016). Lo que asegurará una remoción adecuada de coliformes y cualquier agente contaminante sin comprometer la efectividad del filtro.

- Granulometría del lecho de soporte

Según INAA (1999) y OPS (2004), el espesor del lecho de soporte debe variar entre 0.10 y 0.30 m, utilizando gravas limpias, duras y bien graduadas. Ramos (2016) recomienda una disposición escalonada de las capas, generalmente distribuida de la siguiente manera:

- Capa superior: grava fina con diámetros entre 2 y 6 mm, en contacto directo con la arena filtrante.
- Capa intermedia: grava media con diámetros entre 6 y 20 mm.
- Capa inferior: grava gruesa con diámetros entre 20 y 40 mm, colocada sobre el sistema de drenaje.

Esta configuración granulométrica evita la migración de arena hacia el drenaje, reduce pérdidas de carga innecesarias y proporciona estabilidad estructural al filtro durante su operación. En el diseño propuesto se adopta un lecho de soporte con un espesor total de 0.20 m, distribuido en capas de grava fina, media y gruesa, cumpliendo con los criterios técnicos establecidos para sistemas de filtración lenta en comunidades rurales.

Cabe mencionar que las dimensiones seleccionadas para la granulometría del medio filtrante y lecho de soporte se realizó a partir de criterios normativos establecidos por organismos especializados tales como INAA, OPS.

b) Desinfección

Dosis de cloro para remoción de microorganismos: Otros contaminantes comunes en el agua son los microorganismos y bacterias. Para calcular el consumo de cloro que demanda la eliminación de estos contaminantes, se presentan la ecuación 10 conocida como Ecuación de Chick-Watson en su forma exponencial:

$$Log_{10}\frac{N}{N_O} = -K * C^n * t \qquad (10)$$

Al despejar la ecuación 10 para conocer la concentración se obtiene la ecuación 11:

$$C^n = \frac{Log_{10}\frac{N}{N_O}}{-K * t} \qquad (11)$$

Donde:

- -K: Constante de velocidad cinética.
- T: Tiempo.
- N: Concentración de microorganismos en el efluente.
- $N_{0:}$ Concentración de microorganismos en el afluente.

La ecuación 12 permite calcular la dosis de cloro total demandada por el sistema:

$$\sum [Ca(OCl)_2 = D.comp + D.R\ MO + D.Cloro\ residual] \qquad (12)$$

Donde:

- D. componentes: Sumatoria de la dosis para eliminar amonio, hierro y manganeso.
- D.R microorganismos (MO): Dosis de desinfectante.
- D. Cloro residual: Dosis de cloro residual que se desea que exista en el sistema.

FISE (2021) propone la ecuación 13 para el cálculo del volumen de solución de cloro a preparar y se expresa de la siguiente manera:

$$V_{Cl} = \frac{V * D_{Cl}}{P * 10000} \quad (13)$$

Donde:

- V: Volumen del tanque de almacenamiento de agua tratada
- D_{Cl}: Dosis de desinfectante
- P: Concentración del desinfectante

Un aspecto fundamental en la aplicación de hipoclorito de calcio es el tiempo de contacto. De acuerdo con el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (1999), se recomienda que el cloro permanezca en contacto con el agua durante 30 minutos antes de llegar al primer usuario; en circunstancias desfavorables puede aceptarse un mínimo de 10 minutos. Cuando sea necesario, deben diseñarse tanques de contacto que aseguren este tiempo mínimo. Asimismo, la concentración de cloro residual en los puntos más distantes de la red de distribución debe mantenerse entre 0.2 y 0.5 mg/L tras el periodo de contacto establecido.

c) Tanque de almacenamiento

Cumple dos funciones: almacenar la cantidad suficiente de agua para satisfacer de la demanda de la población y regular la presión en el sistema de distribución. (FISE e INATEC, 2022).

El volumen de agua almacenado debe ser proyectado considerando que, la regulación cumpla con la demanda, evaluando el diseño, de manera que sea económico y mantenga una reserva prudencial para los casos de interrupción de las líneas de energía o fuentes de abastecimiento. (ANA,2023).

Según Institución Nacional de Acueductos y alcantarillados (1999). La capacidad del tanque de almacenamiento debe cumplir las siguientes condiciones:

- Volumen del compensador

Para compensar las variaciones horarias de consumo en poblaciones menores de 20,000 habitantes, se estimará en 25% del consumo promedio.

- Reserva para eventualidades o emergencias

Este volumen será igual al 15% del consumo promedio diario.

- Reserva para incendios

La reserva para incendios se hará con un almacenamiento de 2 horas de acuerdo a la demanda de agua para incendio.

De acuerdo con Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (1999). En el diseño de tanques elevados, se deben tener en cuenta las siguientes características:

- Que el nivel mínimo del agua en el tanque sea suficiente para conseguir las presiones adecuadas en la red de distribución.
- La tubería de rebose descargará libremente previendo la erosión del suelo mediante obras de protección adecuadas.
- Se instalarán válvulas de compuerta en todas las tuberías a excepción de las tuberías de rebose. Todos los accesorios de las tuberías serán tipo brida.
- Debe incluirse los accesorios como escaleras, dispositivos de ventilación, abertura de acceso marcador de niveles y en algunos casos una luz roja que prevenga accidentes de vuelos de aviones.
- La escalera exterior deberá tener protección adecuada y dispositivos de seguridad.

4.4.3. Dotación de agua y determinación de caudal de diseño

Para determinar la dotación de agua, entendida como la cantidad de agua destinada por persona por día, se consideraron los criterios establecidos por Autoridad Nacional del Agua 2023, dicho cálculo se realizó en función de los siguientes parámetros:

a) Nivel de servicio adoptado
b) Factores geográficos
c) Factores culturales
d) Uso de agua

4.4.4. Determinación de caudales de diseño

Con base en la metodología propuesta por (Ampié y Masis 2017), se determinaron los caudales parciales correspondientes al consumo doméstico, comercial, industrial y público, empleando las ecuaciones 14 a 24. Posteriormente, se incorporó el porcentaje estimado de pérdidas por fugas del sistema, equivalente al 20 % del caudal total (ecuación 20), obteniéndose así el consumo promedio diario mediante la ecuación (21).

a) Caudal domestico

$$Q_D = P_n * (Dotación) \quad (14)$$

b) Caudal comercial

$$Q_C = Q_D * 7\% \quad (15)$$

c) Caudal industrial

$$Q_I = Q_D * 2\% \quad (16)$$

d) Caudal público

$$Q_P = Q_D * 7\% \quad (17)$$

e) Caudal de emergencia contra incendios

$$Q_{EI} = Q_D * 2\% \quad (18)$$

f) Caudal total

$$Q_T = Q_D + Q_C + Q_I + Q_P + Q_{EI} \quad (19)$$

g) Fugas del sistema

$$Q_F = Q_T * 20\% \quad (20)$$

h) Consumo promedio diario

$$CPD = Q_T + Q_F \quad (21)$$

i) Consumo máximo diario

De acuerdo con los criterios establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (2023), se calcularon los factores de incremento para determinar el consumo máximo diario y el caudal máximo horario, considerados del 150 % y 250 % respectivamente respecto al consumo promedio diario, según se muestran en las ecuaciones (22) y (23). El caudal de diseño (ecuación 24) se definió en función del consumo máximo diario, conforme a las recomendaciones para localidades fuera de Managua.

$$CMD = CPD * 150\% \quad (22)$$

j) Caudal máximo horario

$$CMH = CPD * 250\% \quad (23)$$

k) Caudal de diseño

$$Q_D = CMD \quad (24)$$

V. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.1. Resultados del análisis socioeconómico

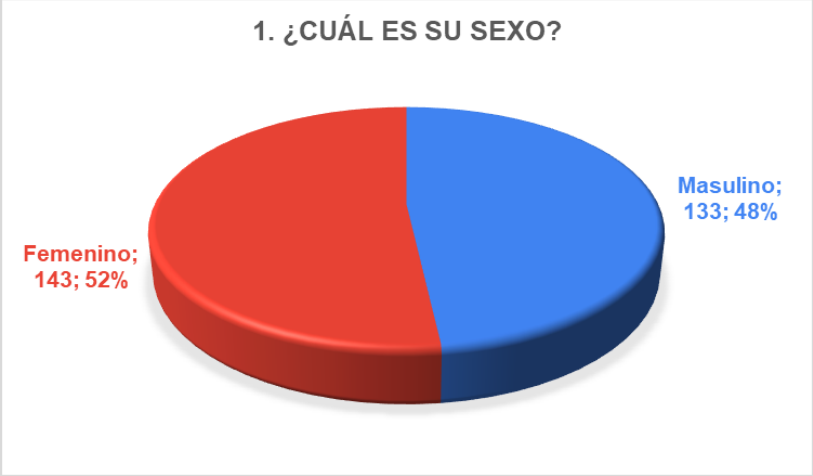
Las encuestas fueron realizadas por las cabezas de hogar, y según información brindada por ellos, se obtuvo una población actual de 973 habitantes distribuidos en 273 hogares.

5.1.1. Distribución por sexos

La distribución por sexos es equilibrada, en la figura 6, un 48% de habitantes pertenecientes al sexo masculino y una leve mayoría del 52% del sexo femenino.

Figura 6:

Distribución por sexos



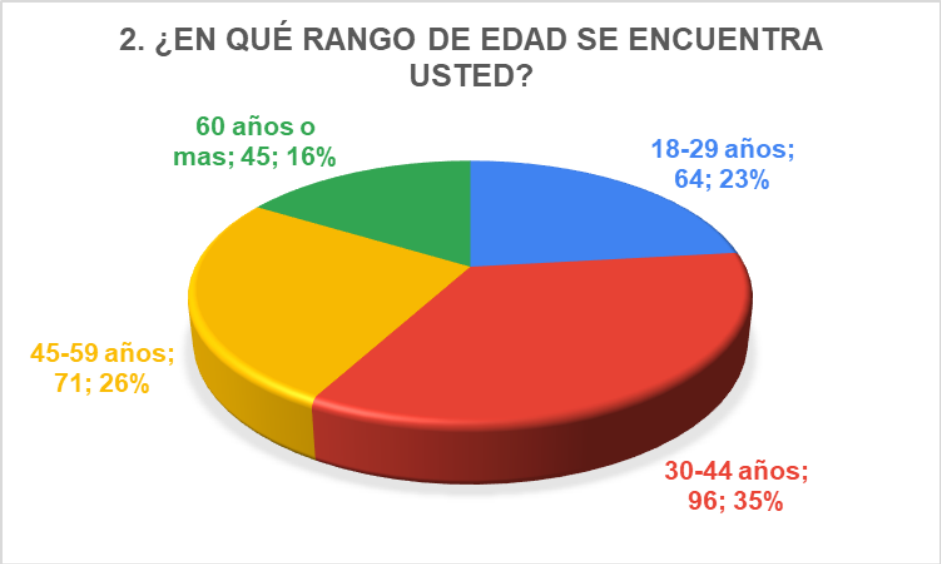
Nota: *Elaboración propia.*

5.1.2. Distribución por edades

Con la encuesta realizada se pudo verificar que el mayor grupo etario se concentra entre los 30 y 59 años reflejado en la figura 7 (61.2%), lo que evidencia una estructura poblacional dominada por adultos en etapa económicamente activa. Esta concentración etaria representa el segmento que participa de una forma más directa en las actividades productivas y domésticas, así como en la toma de decisiones sobre el uso del agua, el saneamiento y la gestión de recursos del hogar.

Figura 7:

Distribución por edades



Nota: *Elaboración propia.*

5.1.3. Horarios de abastecimiento

El patrón de uso de agua se concentra entre las 4:00 a.m. y las 12:00 m., con al menos el 91.01 % de la población usando el servicio en ese intervalo (ver tabla 14). Este comportamiento revela un ritmo comunitario definido, caracterizado por una demanda sincronizada en las primeras horas del día. El patrón temporal de consumo mostrado en tabla 14 sugiere que las actividades domésticas están estructuradas en torno a los picos matutinos, lo cual tiene implicaciones técnicas directas sobre la carga hidráulica del sistema de distribución.

Tabla 14:

Horarios de abastecimiento de agua potable

¿En qué horarios acostumbra abastecerse de agua? (Selección múltiple)		
4:00am-6:00am	180	25,68%
6:00am-8:00am	167	23,82%
8:00am-10:00am	154	21,97%
10:00am-12:00pm	137	19,54%
12:00pm-2:00pm	32	4,56%
2:00pm-4:00pm	19	2,71%
4:00pm-6:00pm	12	1,71%
TOTAL	701	100%

Nota: *La pregunta corresponde al tipo "selección múltiple"*

5.1.4. Uso de fuentes hídricas alternas

El 62.32 % de los encuestados indicó utilizar fuentes alternativas de agua además de la red de distribución (figura 8), pone en evidencia un patrón de abastecimiento doméstico diversificado. Este comportamiento sugiere que la comunidad recurre a múltiples fuentes debido a variaciones en disponibilidad, confianza en la calidad percibida o prácticas tradicionales de uso del recurso. Esta coexistencia de fuentes tiene implicaciones directas para el diseño del sistema, ya que refleja una dependencia parcial del servicio formal y señala la necesidad de garantizar continuidad, calidad y suficiencia para reducir la necesidad de recurrir a fuentes externas.

Figura 8:

Fuentes hídricas alternativas



Nota: *Elaboración propia*

El 58.14 % de los usuarios que emplean fuentes alternas reportó abastecerse de manantiales, mientras que el 22.09 % lo hace a partir de humedales (figura 9). Ambas corresponden a cuerpos de agua superficial sin tratamiento, lo que evidencia una exposición directa a variaciones ambientales y a posibles contaminaciones. Este patrón revela una relación estrecha entre la comunidad y los elementos hidrográficos cercanos, sustentada en prácticas de captación tradicionales. Desde el punto de vista técnico, esta dependencia de fuentes no potabilizadas subraya la necesidad de fortalecer el sistema formal de

abastecimiento para disminuir el uso de aguas crudas y reducir los riesgos sanitarios asociados.

Figura 9:

Fuente alternativa seleccionada



Nota: *Elaboración propia.*

5.1.5. Uso de aguas servidas

En la figura 10, el 66.3 % de los hogares descarga el agua servida directamente al entorno, sin canalización ni contención, lo que evidencia una disposición no controlada de las aguas residuales domésticas. Este comportamiento es consistente con la ausencia de infraestructura sanitaria formal y con una gestión descentralizada del desecho hídrico a nivel comunitario. Por su parte, el 20.65 % utiliza zanjas para conducir el flujo, constituyendo un mecanismo básico de evacuación por gravedad sin ningún tipo de tratamiento. Este patrón de manejo tiene implicaciones sanitarias y ambientales directas, lo que resalta la necesidad de considerar alternativas de saneamiento que reduzcan la exposición y los impactos sobre el entorno inmediato.

Figura 10:

Gestión de aguas servidas



Nota: *Elaboración propia.*

5.1.6. Eliminación de charcas

El 43.12 % de los hogares emplea tierra o arena para eliminar las charcas, mientras que el 43.84 % permite que estas se sequen de forma natural (figura 13). Ambos métodos corresponden a mecanismos físicos pasivos que no generan una interrupción efectiva del ciclo recurrente de acumulación de agua estancada, especialmente durante los periodos lluviosos.

Figura 11:

Disposición de charcas



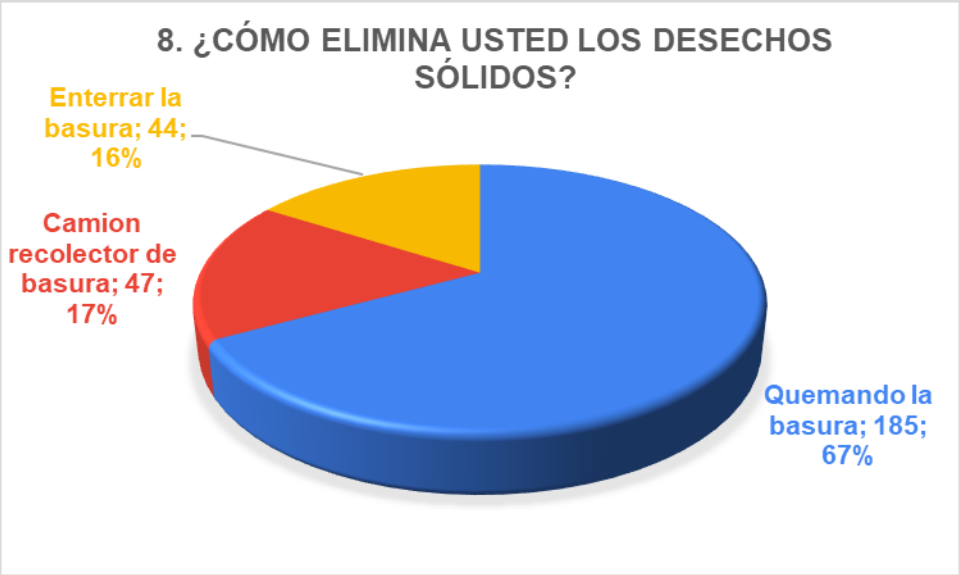
Nota: *Elaboración propia.*

5.1.7. Gestión de desechos solidos

El 67.03 % de los encuestados emplea la quema como método de eliminación de residuos sólidos. Esta modalidad implica una descomposición térmica directa *in situ*, sin separación ni control de emisiones tal como muestra la figura 12. El 17.03 % espera al camión recolector, lo que indica que, si bien existe algún nivel de cobertura institucional, este no es el método predominante.

Figura 12:

Eliminación de desechos sólidos



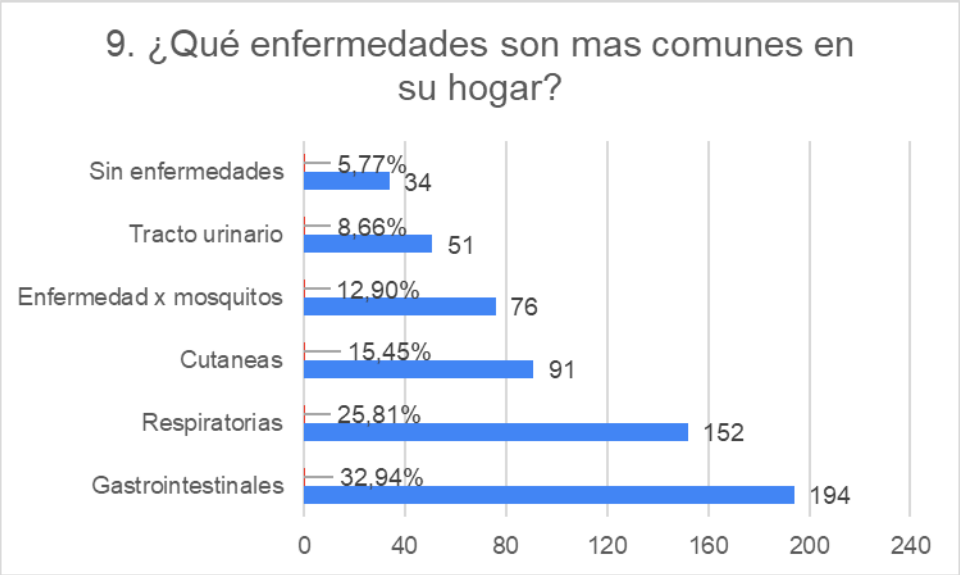
Nota: *Elaboración propia.*

5.1.8. Enfermedades comunes

El 32.94 % de la población reportó enfermedades gastrointestinales, seguido de afecciones respiratorias (25.81 %) y enfermedades de la piel (15.45 %). Esta distribución es consistente con el perfil epidemiológico característico de comunidades rurales en las que persisten la interacción directa con fuentes naturales de agua, la disposición no tratada de excretas y la presencia de vectores, se resumió lo anterior mencionado en la figura 13.

Figura 13:

Enfermedades en el hogar



Nota: *Elaboración propia.*

5.1.9. Frecuencia de aparición de enfermedades

El 51.09 % de los hogares reporta la ocurrencia de enfermedades cada dos o tres meses, mientras que el 8.7 % las experimenta más de una vez al mes. Estos resultados, mostrados en figura 14, evidencian un nivel de incidencia elevado y sostenido, con periodicidad submensual en una fracción significativa de la población. En conjunto, este patrón configura una carga morbosa persistente, caracterizada por ciclos recurrentes de infección y periodos de recuperación limitados.

Figura 14:

Frecuencia de aparición de enfermedades



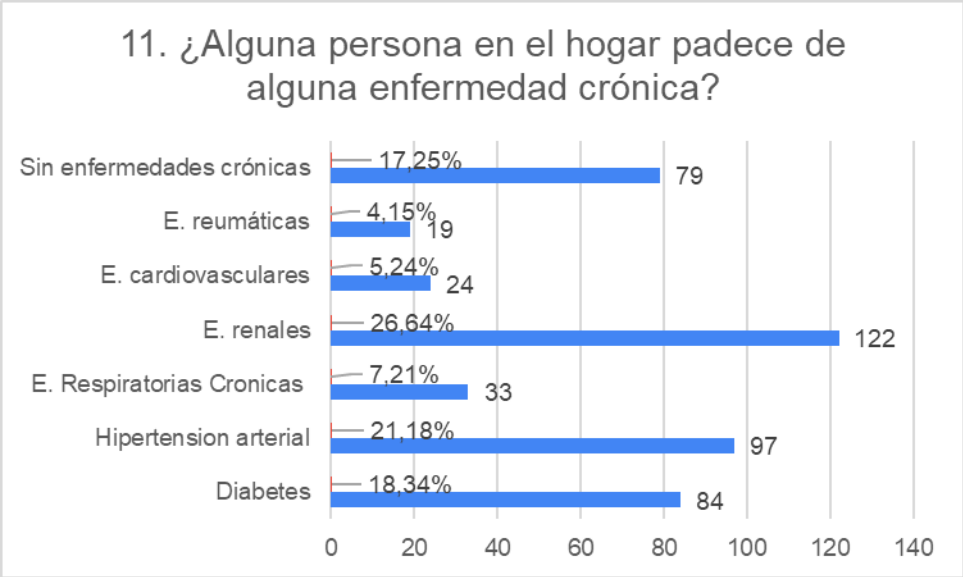
Nota: *Elaboración propia.*

5.1.10. Enfermedades crónicas y acceso a tratamiento médico

El 51.09 % de los hogares reporta la ocurrencia de enfermedades cada dos o tres meses, mientras que el 8.7 % las experimenta más de una vez al mes. Estos resultados (figura 15) muestran un nivel de incidencia elevado y sostenido, con periodicidad submensual en una fracción significativa de la población. En conjunto, este patrón configura una carga morbosa persistente, caracterizada por ciclos recurrentes de infección y periodos de recuperación limitados.

Figura 15:

Enfermedades crónicas



Nota: *Elaboración propia.*

5.1.11. Acceso a tratamientos médicos

Entre los 194 encuestados con enfermedades crónicas, el 47% reportó no tener acceso regular al tratamiento. El desglose en figura 16 muestra que las barreras están divididas entre la inexistencia de servicios y la inaccesibilidad económica. Este patrón representa una estructura sanitaria fragmentada en la cual la atención médica no es un componente garantizado del entorno.

Figura 16:

Acceso a la salud



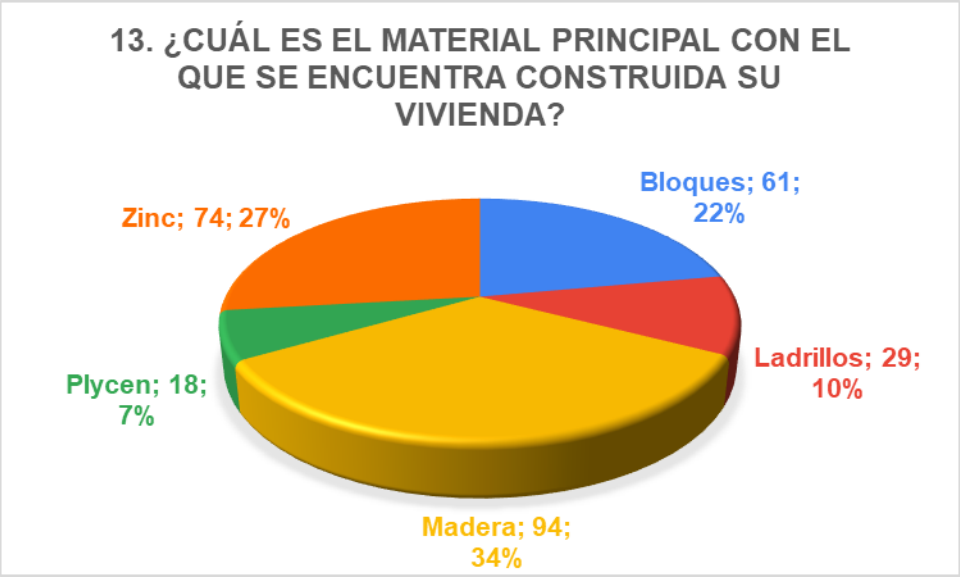
Nota: *Elaboración propia.*

5.1.12. Materiales de construcción de viviendas

La Figura 18 muestra la distribución de los materiales predominantes en la construcción de las viviendas de la comunidad, evidenciando que la madera es el material más utilizado (34 %), seguida del zinc (27 %) y los bloques (22 %), mientras que el uso de ladrillo (10 %) y plycem (7 %) es minoritario. Esta composición refleja condiciones socioeconómicas limitadas, donde prevalece el uso de materiales de menor costo y de fácil acceso, aunque con menores niveles de durabilidad y protección frente a factores climáticos. Asimismo, la alta proporción de viviendas construidas con materiales livianos sugiere posibles deficiencias en el confort térmico y la seguridad estructural, aspectos que pueden influir indirectamente en la calidad de vida y en la vulnerabilidad de la población ante eventos ambientales adversos.

Figura 17:

Infraestructura de viviendas



Nota: *Elaboración propia.*

Figura 18:

Materiales de construcción más usados para la construcción de viviendas



Nota: *Elaboración propia. Materiales de A) Madera; B) Bloques; C) Zinc.*

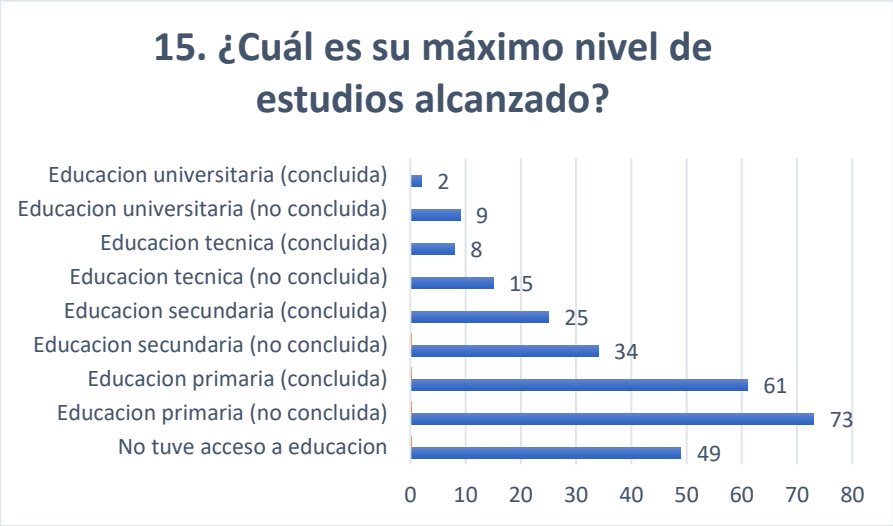
5.1.13. Nivel académico alcanzado

En la figura 19 se refleja que el 67 % de los encuestados no ha completado la educación secundaria, y en los casos más críticos se reporta la no finalización de la primaria o la ausencia total de escolarización. Este panorama configura un perfil educativo predominantemente básico, que implica limitaciones para comprender información técnica, interpretar indicaciones sanitarias complejas o participar de

manera efectiva en procesos formales de planificación y gestión comunitaria. Asimismo, la baja proporción de personas con formación técnica o universitaria (5.8%) evidencia una brecha estructural en el acceso a niveles superiores de educación.

Figura 19:

Nivel académico



Nota: *Elaboración propia.*

5.1.14. Actividades económicas

El 23.78 % de la población se dedica a la agricultura, el 15.86 % a la ganadería y el 13.33 % a labores de limpieza o mantenimiento, actividades pertenecientes al sector primario y de servicios manuales no especializados. Este patrón laboral mostrado en la figura 20 y 21 refleja una baja estabilidad económica, alta dependencia de factores climáticos y escasa formalización contractual, evidenciando que solo el 5.95 % de la población se encuentra en empleo asalariado, lo que indica una limitada inserción en el sector formal. La prevalencia de actividades vinculadas a la agricultura y la pesca sugiere que la economía comunitaria está fuertemente condicionada por la disponibilidad de recursos naturales, lo que implica que cualquier estrategia de desarrollo debe considerar medidas de apoyo frente a la estacionalidad y la vulnerabilidad climática

Figura 20:

Actividades económicas



Nota: *Elaboración propia.*

Figura 21:

Actividades económicas predominantes



Nota: *Elaboración propia. A) Ganadería; B) Agricultura; C) Pesca.*

5.1.15. Cultivos en la comunidad

El cultivo de pasto para ganado (46.01 %) y plátanos (38.77 %) se clasifica como de alto requerimiento hídrico y nutricional, lo que evidencia un uso intensivo del agua y de suelos con alta capacidad de retención o tendencia al encharcamiento. Este patrón mostrado en figura 22 refleja prácticas agrícolas que dependen fuertemente de la disponibilidad de recursos hídricos y de la fertilidad del suelo, implicando que la gestión sostenible del agua y del terreno es fundamental para mantener la productividad y evitar impactos negativos como la saturación del suelo o la sobreexplotación hídrica.

Figura 22:

Actividad agrícola



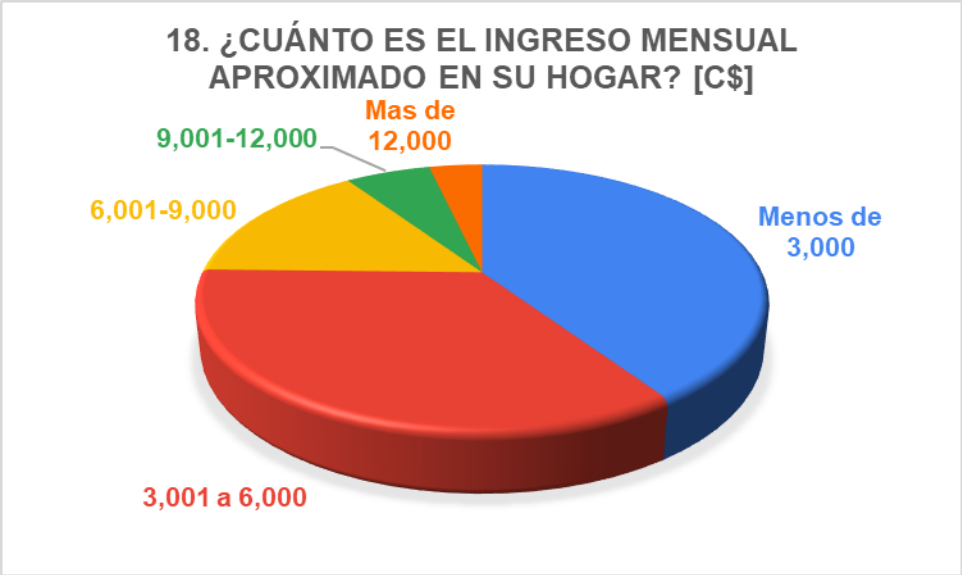
Nota: *Elaboración propia.*

5.1.16. Ingresos mensuales aproximados

El ingreso mensual aproximado en los hogares de la comunidad muestra que la mayoría de las familias percibe montos bajos, con un 41 % reportando entre 3,001 y 6,000 C$ y un 35 % percibiendo menos de 3,000 C$. Solo un pequeño porcentaje alcanza ingresos superiores a 9,000 C$, lo que evidencia una marcada concentración de la población en rangos de ingreso bajos y medios bajos (figura 23). Este patrón refleja limitaciones económicas significativas que afectan la capacidad de las familias para acceder a bienes y servicios básicos, lo que implica que cualquier intervención social, económica o de infraestructura debe considerar la vulnerabilidad financiera de la mayoría de los hogares.

Figura 23:

Ingresos aproximados



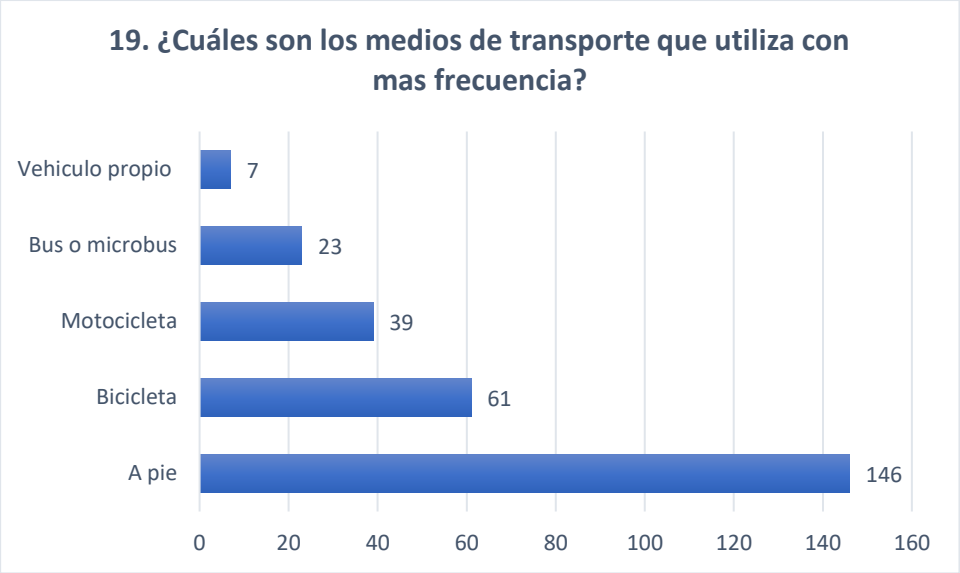
Nota: *Elaboración propia.*

5.1.17. Movilidad y transporte

El 52.9 % se desplaza a pie y el 22.1 % en bicicleta. Esta distribución reflejada en la figura 24 pone de manifiesto una matriz de movilidad de tipo peatonal, lo cual establece una dependencia del desplazamiento físico no motorizado como forma primaria de conexión espacial. El 2.54 % posee vehículo propio, lo que representa una baja motorización individual.

Figura 24:

Medios de transporte



Nota: *Elaboración propia.*

5.2. Caracterización de la calidad del agua

Al empezar la evaluación de la calidad del agua, se tomó en consideración los parámetros organolépticos. El agua analizada presentó un color ligeramente amarillo, perceptible a simple vista. Asimismo, se identificó un olor penetrante similar al de huevos podridos el cual restaba aceptación desde el punto de vista sensorial.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en la tabla 15 se muestran los parámetros determinados en el análisis de laboratorio. En la presente se registraron valores de cada uno de los parámetros, así como su comparación con los valores máximos permisibles o recomendados según CAPRE.

Tabla 15:

Resultados de análisis fisicoquímico y microbiológico

Parámetro	Unidad	Resultados	Valores según CAPRE
Potencial de Hidrogeno	pH	8.70	6.5-8.5**
Temperatura	ºC	25.00	18-30
Conductividad Eléctrica	µS/cm	434.00	400**
Alcalinidad	mg/L $CaCO_3$	195.80	NE

Color verdadero	mg/L (Pt-Co)	<1.00	15
Turbiedad	UNT	0.175	5
Dureza total	mg/L $CaCO_3$	36.43	400
CO_2	mg/L CO_2	0.44	NE
Calcio (Ca^{2+})	mg Ca/L	13.39	100**
Magnesio (Mg^{2+})	mg Mg/L	<0.006	50
Potasio (K^{+})	mg K/L	6.49	10
Sodio (Na^{+})	mg Na/L	92.26	200
Cloruro (Cl^{-})	mg Cl/L	48.50	250
Bicarbonato (HCO_3^{-})	mg/L	195.80	NE
Nitratos (NO_3^{-})	mg NO_3^{-}/L	0.49	50
Nitritos (NO_2^{-})	mg NO_2^{-}/L	0.086	0.1
Manganeso (Mn^{2+})	mg Mg^{2+}/L	0.43	0.5
Amonio (NH_4^{-})	mg/L	0.260	0.5
Sulfatos (SO_4^{2-})	mg SO_4^{-2}/L	35.32	250
Flúor (F^{-})	mg F/L	0.11	0.7
Hierro Total	mg Fe/L	<0.006	0.3
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.44	NE
Solidos Disueltos Totales	mg/L	410.00	1000
Nitrógeno Total	Mg/L	0.11	NE
Amoniaco	Mg/L	0.13	NE
Carbonatos	mg/L	<0.40	NE
Coliformes Totales	NMP/100ml	6.90	Negativo
Coliformes Fecales	NMP/100ml	Negativo	Negativo

Nota: *Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al límite de detección, NE: No especifica en la norma, NR= No Reporta, **Valor recomendado. Se resaltan en rojo los parámetros fuera de rango de acuerdo con CAPRE.*

Los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua evidencian que, en general, la calidad del recurso es adecuada para consumo humano, cumpliendo con la mayoría de los valores establecidos por el Reglamento Técnico Centroamericano CAPRE. El pH presentó un valor de 8.70, ligeramente superior al límite máximo permitido (8.5), lo cual podría atribuirse a la presencia de carbonatos y bicarbonatos que incrementan la alcalinidad (195.80 mg/L $CaCO_3$), sin representar un riesgo sanitario. La conductividad eléctrica (434 µS/cm) se encontró apenas por encima del valor de referencia (400 µS/cm), indicando una moderada mineralización del agua, asociada posiblemente a sales de sodio y cloruro, cuyos valores (92.26 y 48.50 mg/L respectivamente) se mantuvieron dentro de los límites permisibles.

En cuanto a la dureza total (36.43 mg/L $CaCO_3$), esta clasificó el agua como blanda, sin indicios de incrustaciones o efectos adversos en redes de distribución. Los niveles de nitratos (0.49 mg/L), nitritos (0.086 mg/L) y amonio (0.260 mg/L) se mantuvieron muy por debajo de los límites normativos, lo que evidencia baja contaminación por materia orgánica o residuos nitrogenados. Los análisis microbiológicos mostraron ausencia de coliformes fecales, aunque se detectó una leve presencia de coliformes totales (6.9 NMP/100 mL), indicando una posible contaminación puntual en el sistema de distribución o almacenamiento.

5.2.1. Selección de tecnologías

Al analizar los resultados de laboratorio se constató que la fuente de abastecimiento no presenta un alto grado de contaminación; sin embargo, los parámetros que se encontraron fuera de norma fueron el pH, la conductividad eléctrica y la presencia de coliformes totales. En función de estos resultados, las alternativas de tratamiento se orientaron principalmente a la reducción del pH y a la eliminación de los coliformes, considerando que, en las concentraciones registradas, la conductividad eléctrica no representa un riesgo directo para la salud humana (Organización Mundial de la Salud, 2017). Por lo anterior, las alternativas consideradas en la selección del tratamiento se dirigieron a disminuir el pH y eliminar los coliformes, dado que la conductividad eléctrica, en los valores de la normativa CAPRE (*ver tabla 4 y tabla 5)*, se encuentra dentro de rangos aceptables para agua destinada al consumo humano.

El primer escenario evaluado fue la restauración del sistema de cloración existente. No obstante, al analizar esta opción con mayor profundidad, se determinó que el elevado valor de pH reduce significativamente la efectividad del cloro, lo que implicaría aplicar dosis considerablemente mayores para lograr la inactivación bacteriológica. En la figura 1, extraída de Ramos (2016) indica que a valores de pH superiores a 8 la eficiencia del cloro disminuye de forma drástica, alcanzando aproximadamente un 30 % a pH 8 y valores inferiores al 10 % en pH cercanos a 8.7, debido a la menor presencia de ácido hipocloroso, forma más activa del desinfectante. Por esta razón, se evidenció la necesidad de reducir el pH antes de la etapa de cloración.

Se evaluó posteriormente la posibilidad de implementar un tratamiento convencional compuesto por coagulación, floculación, sedimentación y filtración rápida, seguido de desinfección. Sin embargo, este tipo de tratamiento no contribuye a la disminución del pH y, además, requiere el consumo continuo de coagulantes químicos y el manejo de lodos generados durante el proceso. Estas condiciones incrementan la complejidad operativa y demandan supervisión

técnica permanente, lo cual resulta poco viable en contextos rurales con limitaciones técnicas y económicas. (Romero J. , 2013)

Durante la evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas (FiME), inicialmente se consideró una opción sobredimensionada para el contexto de la comunidad, dado que la calidad del agua cruda no requiere procesos de pretratamiento complejos. No obstante, no se descartó el filtro lento de arena (FLA), ya que desde el punto de vista teórico este proceso permite reducir la carga microbiológica y puede generar ligeras variaciones en el pH, además de reforzar la posterior etapa de desinfección (CEPIS, 2003). En términos prácticos, la baja velocidad de filtración del FLA favorece la exposición del agua al aire, generando una aireación natural que contribuye a la reducción de olor y color, situación que fue corroborada tanto por el testimonio de los pobladores como por pruebas in situ realizadas durante la visita de campo por los autores.

Se consideró como principal alternativa al Filtro Lento de Arena ya que es un sistema de tratamiento que se ajusta correctamente a lo reflejado en el análisis socioeconómico en el cual se evidenció una condición de vulnerabilidad financiera, con la mayor parte de los hogares ubicándose en rangos de ingreso bajos y medio-bajos. Esta situación limita la viabilidad de tecnologías que demanden altos costos de operación, consumo continuo de insumos especializados o dependencia de asistencia técnica externa, por lo que, atendiendo a criterios prácticos y de sostenibilidad, se seleccionó el filtro lento de arena.

La elección del filtro lento de arena (FLA) se ve reforzada por su adecuada adaptación a la capacidad de gestión local. Se trata de un sistema sencillo de operar, que puede mantenerse mediante rutinas básicas de operación y mantenimiento realizadas por el Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS), utilizando herramientas de control simples (*véase tabla 24 y 25)*. Estas características incrementan las probabilidades de sostenibilidad y funcionamiento a largo plazo. En conjunto, el FLA acompañado de un proceso de desinfección se presenta como la alternativa más adecuada, ya que responde a las necesidades sanitarias identificadas, ofrece un desempeño confiable y se ajusta a las condiciones socioeconómicas y operativas de la comunidad.

5.2.2. Balance iónico

En las tablas 16 y 17 se muestra el balance iónico realizado a los cationes (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) y aniones (Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, NO_3^-) altamente representativos en la muestra de agua analizada. para el cálculo del error es necesario utilizar la ecuación 25.

Tabla 16:

Balance iónico para cationes

Iones representativos	Concentración [mg/L]	PM [mg/mmol]	Número de valencia	Concentración [meq/L]
Na^+	92.26	23	1	4.011
K^+	6.49	39	1	0.178
Ca^{2+}	13.39	40	2	0.334
Mg^{2+}	0.006	24.3	2	0,00025
		∑= 4.523		

Nota: *Elaboración propia.*

Tabla 17:

Balance iónico para aniones

Iones representativos	Concentración [mg/L]	PM [mg/mmol]	Número de valencia	Concentración [meq/L]
Cl^-	48.50	35.45	1	1.368
SO_4^2	35.32	96	2	0.368
HCO_3^-	195.80	61	1	3.209
NO_3^-	0.49	62	1	0.008
		∑= 4.953		

Nota: *Elaboración propia.*

Error= -4.53%

El cálculo del error de balance se efectuó mediante la ecuación 1, utilizando las concentraciones expresadas en miliequivalentes por litro (meq/L). La suma total de los cationes fue de 4.523 meq/L, mientras que la de los aniones alcanzó 4.953 meq/L. Con estos valores se obtuvo un error de -4.53 %, el cual se encuentra dentro del rango permitido de ±5 % según los criterios de control de calidad de análisis de aguas.

Por tanto, se concluye que los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico son confiables y presentan una adecuada precisión analítica, garantizando la validez de los datos empleados para la caracterización del agua.

5.2.3. Dimensionamiento de equipos y cálculo de caudales de diseño

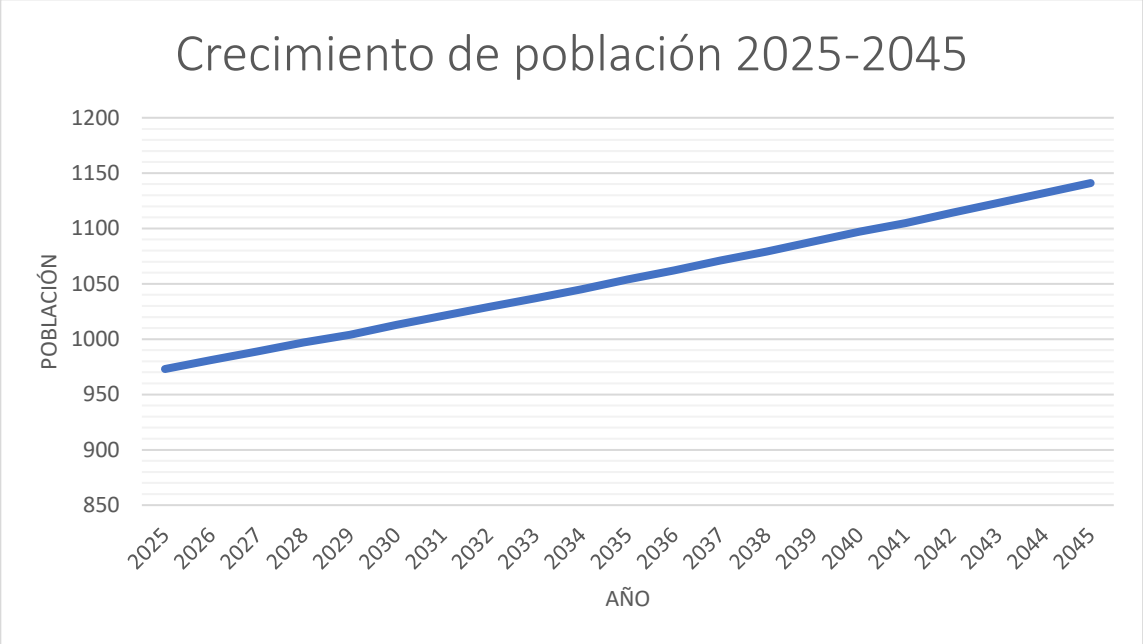
a) Proyección de población en período de diseño

La población para el periodo de diseño fue proyectada utilizando el modelo geométrico para un periodo de 20 años a partir del año 2025 con una tasa de

crecimiento geométrica del 0.8%. El cálculo de población se resume en la figura 25 mostrada a continuación.

Figura 25:

Proyección de población en el periodo de diseño.



La Figura 25 muestra la proyección del crecimiento poblacional de la comunidad para el periodo 2025–2045. Se observa una tendencia de incremento gradual en el número de habitantes, pasando de aproximadamente 973 personas en 2025 a 1,141 en 2045, lo que representa un aumento cercano al 21 % durante el periodo de análisis. Este comportamiento refleja un crecimiento sostenido y moderado, coherente con las condiciones socioeconómicas y demográficas actuales de la zona.

La estimación de la población futura resulta fundamental para el dimensionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable, ya que permite prever las demandas de consumo a largo plazo y garantizar que las unidades del sistema fuente, conducción, almacenamiento y red de distribución respondan adecuadamente a las necesidades proyectadas. De esta manera, el crecimiento poblacional calculado se toma como base para definir los caudales de diseño y dimensiones de los equipos.

b) Estimación del caudal de diseño

En la tabla 18 se resumen los resultados obtenidos para el cálculo del caudal de diseño que se determinó para una población de 1141 habitantes en 2045 y una

dotación de 20 gal/hab*día (0.075m^3/hab*día), a falta de información oficial respecto al caudal del sistema actual, se recurrió a fuentes alternativas tales como el Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR) la cual reporta un caudal de abastecimiento de 4.16 L/S, equivalente a 14.97 m^3/h.

Tabla 18:

Cálculo de caudal de diseño

Caudal	Valor [m^3/día]	Valor [m^3/h]
Caudal domestico (Qd)	85.58	3,57
Caudal comercial ($Q_{C)}$	5.99	0,25
Caudal industrial (Q_I)	1.71	0,07
Caudal público (Q_P)	5.99	0,25
Caudal total (Q_T)	99.27	4.14
Caudal de fugas en el sistema (Q_F)	19.85	0,83
Consumo promedio diario (CPD)	119.12	4.96
Consumo máximo diario (CMD)	178.68	7,45
Caudal máximo horario (CMH)	302.95	12.62
Caudal de diseño (Q_D)	178.68	7.45

Nota: *Elaboración propia.*

El caudal de diseño calculado debe ser menor al caudal brindado en el reporte brindado por SIASAR, para sustentar la demanda del recurso hídrico durante el periodo de operación del pozo. Dado que SIASAR reporta un caudal de 14.97 m^3/h, por lo tanto, el caudal de diseño calculado cumplirá sin dificultad con la demanda de agua durante el periodo de operación.

5.2.4. Filtro lento de arena

Para el dimensionamiento del filtro lento de arena se consideró principalmente el caudal de diseño, donde se supone un caudal 20% mayor en comparación al calculado. Se asumió el valor de velocidad de filtración, altura del lecho filtrante, altura de la capa de arena, altura del borde libre, altura de la arena, altura del soporte de drenaje, en base a lo fundamentado por Ramos (2016) en la tabla 13.

En la tabla 20 se resumen los valores considerados para el filtro lento de arena.

Tabla 19:

Dimensiones para FLA

Características	Valor
Caudal de diseño	214.42 m^3/día
Velocidad de filtración	3 m/día
Área de FLA	35.74m^2
Longitud de FLA	8.44 m
Ancho de FLA	4.22 m
Altura de lecho filtrante	1.1m
Altura de la capa de arena	1m
Altura del borde libre	0.25m
Altura de arena	0.75m
Altura del lecho de soporte de drenaje	0.2m
Altura total del filtro	3.3m

Nota: *Para estimar el área individual se asumió que la longitud es el doble que la anchura, cabe mencionar que 2/3 de la altura total del filtro se encuentran bajo tierra, elaboración propia.*

5.2.5. Tanque de almacenamiento

Para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento de agua tratada, se consideró principalmente el consumo promedio diario un 25% mayor del obtenido teóricamente y un margen del 15% adicional del CPD como reserva para eventualidades o emergencia según lo establecido por NTON 09 007-19, en la tabla 21 se muestran las dimensiones del tanque propuesto.

Tabla 20:

Dimensiones para tanque de almacenamiento

Características	**Valor**
Consumo promedio diario (CPD)	148.9 m^3/día
Volumen del tanque de almacenamiento (V)	208.46 m^3
Radio del tanque (r)	3.21m
Altura del agua (h_a)	6.42m
Borde libre (B_L)	0.3m
Altura del tanque (h_{tq})	6.72m

Nota: *Se asumió que el tanque posee forma cilíndrica, se estableció que su altura es el doble del radio, elaboración propia*.

5.2.6. Desinfección

La Tabla 22 muestra los valores obtenidos para el proceso de desinfección del agua. La dosis de remoción de manganeso (0.1118 mg/L) y de microorganismos (0.238 mg/L) reflejan una eliminación efectiva de impurezas y patógenos, alcanzando una concentración residual segura (0.069 NMP/100 mL). La velocidad cinética del cloro (0.140 min^{-1}) evidencia una reacción eficiente, mientras que la dosis total demandada (1.163 mg/L) se mantiene dentro de los rangos recomendados. El volumen y la masa de hipoclorito de calcio requeridos (21.65 L y 333.07 g) resultan adecuados para garantizar la potabilidad y seguridad del sistema de abastecimiento.

Tabla 21:

Dosis y concentraciones en etapa de desinfección

Características	Valor
Dosis de remoción de manganeso (D_{mn}^{2+})	0.1118 mg/L
Dosis de remoción de microorganismos (D_{CT})	0.238 mg/L
Concentración de microorganismos en efluente (N)	0.069 NMP/100mL
Velocidad cinética del cloro en agua (k)	0.140 min^{-1}
Dosis de desinfectante demandada por el sistema (D_T)	1.163 mg/L
Volumen de cloro necesario para desinfección (V_{Cl})	24.24 L
Masa de desinfectante (m)	372.92 g

5.2.7. Balances entrada-salida

En la tabla 23 se consideran únicamente los parámetros que sufrieron alteraciones tras su paso por las etapas de tratamiento que conforman al sistema.

Tabla 22:

Balance de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en entrada y salida del sistema de tratamiento

	Filtración lenta de arena				Desinfección Ca $(OCl)_2$		
Parámetro	Entrada al sistema	C	P	NV	C	P	Salida del sistema
pH (Unidades)	8,7	0.7	-	8,11	0.11	-	8
Oxígeno disuelto (mg/L)	6,44	1,6744	-	4,7656	-	-	4,7656
CO_2 (mg/L)	0,44	-	1,2584	1,6984	-	0.484	2,1824
Ca^{2+} (mg/L)	13,39	-	-	13,39	-	0,326	13,716
Cl^- (mg/L)	48,5	-	-	48,5	-	0,0277	48,5277
Mn^{2+} (mg/L)	0,43	0,387	-	0,043	-	-	0,043
HCO_3^- (mg/L)	195,8	1,7446	-	194,0554	0,671	-	193,3844
NO_3^- (mg/L)	0,49	-	0,1274	0,6174	-	-	0,6174
NH_4^+	0,26	-	-	0,26	-	-	0,26
Coliformes totales (NMP/100ml)	6,9	6,21	-	0,69	0,69	-	Negativo
Cloro residual (mg/L)	-	-	-	-	-	0,4	0.4

Nota*: Las letras C, P y NV corresponden a "Consumo", "Producción" y "Nuevo valor" respectivamente. No se tomó en cuenta la Conductividad Eléctrica debido a que puede deberse al efecto producido por sales disueltas y por no representar una amenaza para el consumo humano, elaboración propia.*

5.2.8. Esquema de Planta

En las figuras 26 a 29 se muestran los planos incluidos en esta sección muestran con detalle la configuración del sistema propuesto. El plano del tanque de almacenamiento se presenta en tres vistas: vista lateral, donde se aprecian la altura total del tanque, el nivel operativo del agua y la ubicación del cono; la vista frontal permite identificar la estructura externa, el acceso superior y las dimensiones generales; la vista en planta muestra la forma geométrica del tanque, el diámetro, la disposición interna. Por su parte, el Filtro Lento de Arena (FLA) se representa mediante una vista en planta, donde se observa la distribución espacial del filtro, sus bordes, la entrada del agua cruda y la salida del agua filtrada; y una vista lateral, en la cual se describen las capas del medio filtrante, incluyendo la capa de arena, el lecho filtrante y de soporte y las dimensiones verticales del filtro.

Figura 26:

Vista de planta de filtro lento de arena

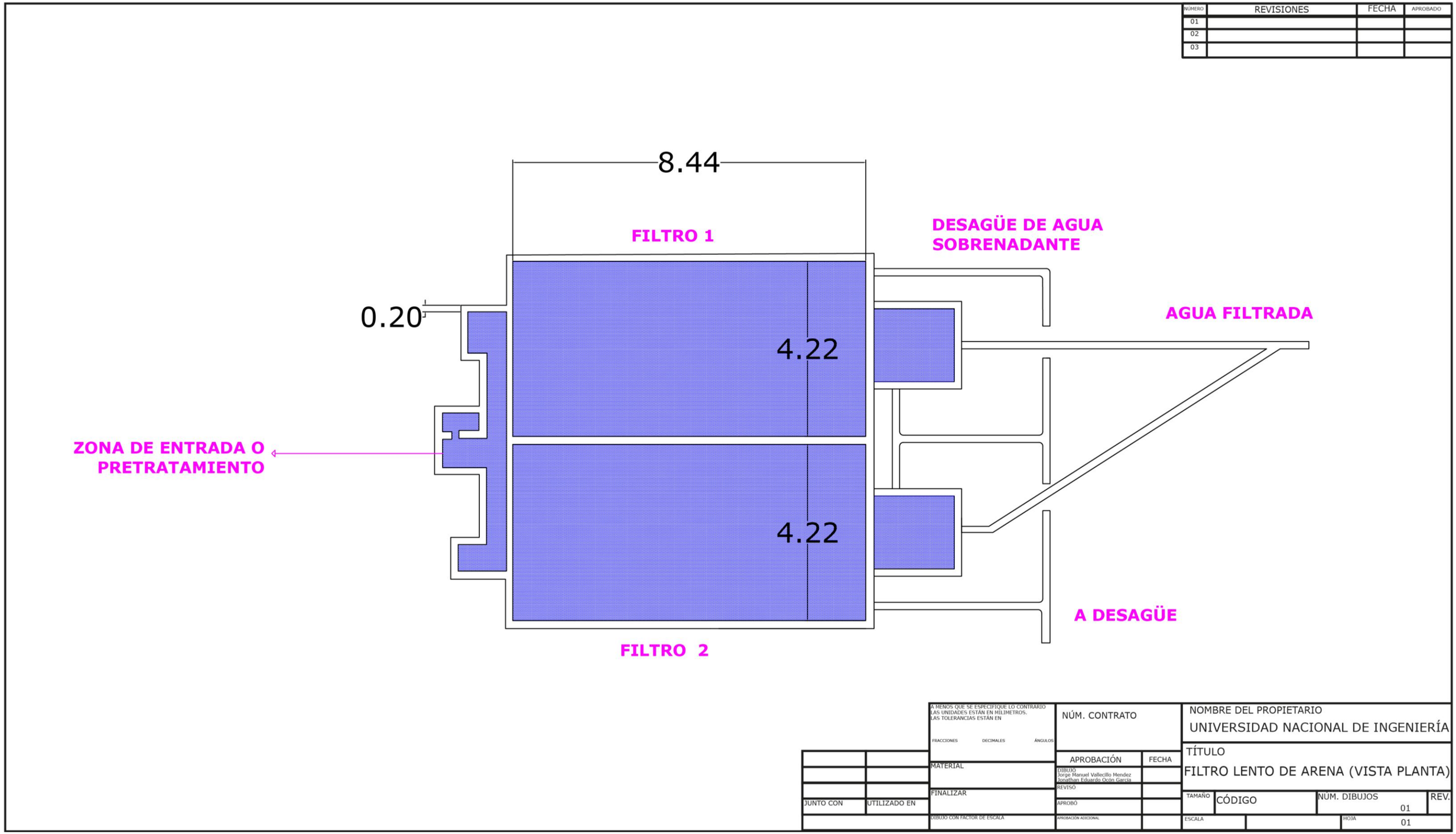
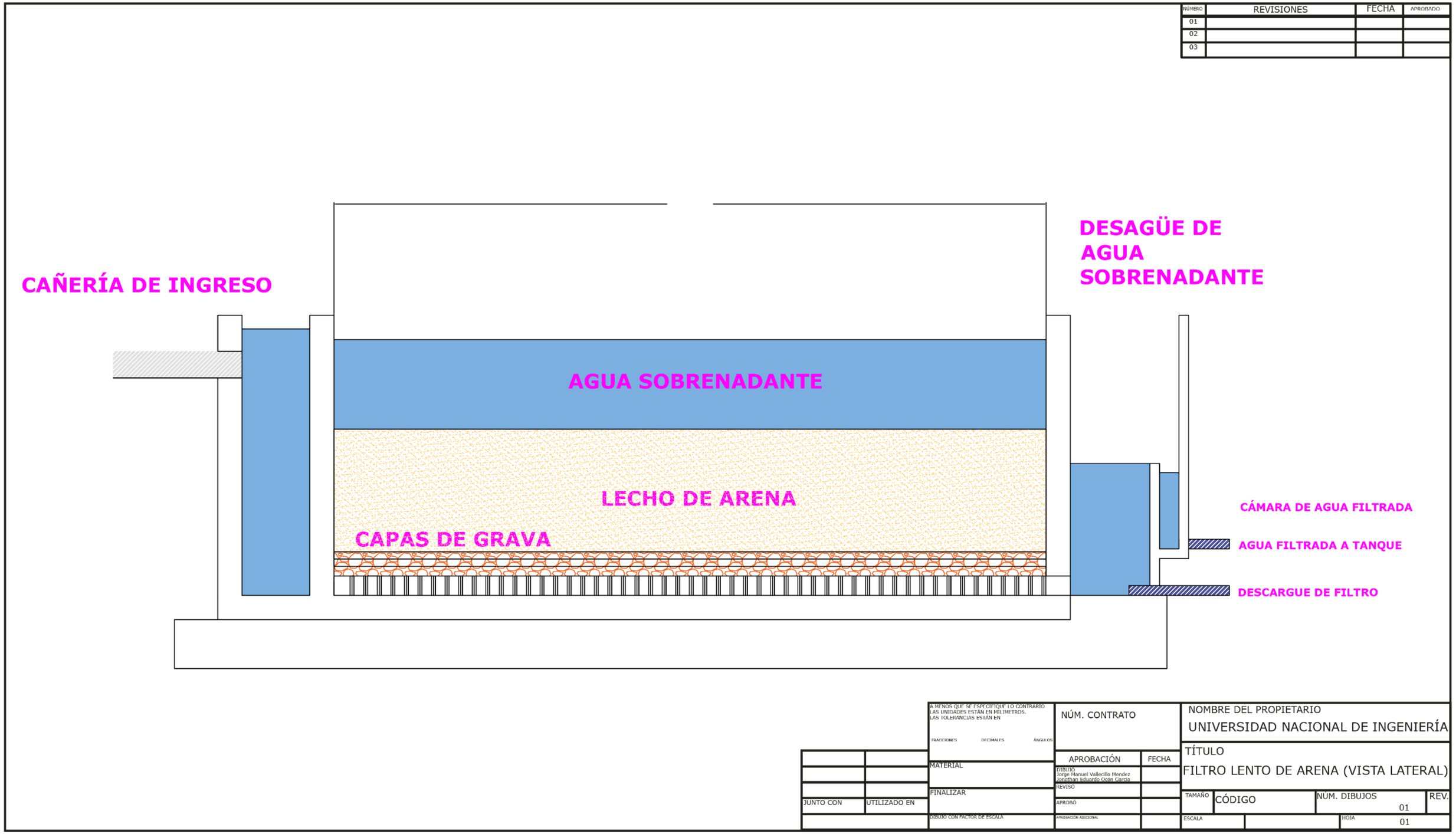


Figura 27:

Vista lateral de filtro lento de arena



NÚMERO	REVISIONES	FECHA	APROBADO
01			
02			
03			

A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO
LAS UNIDADES ESTÁN EN MILIMETROS.
LAS TOLERANCIAS ESTÁN EN
FRACCIONES DECIMALES ÁNGULOS

NÚM. CONTRATO

NOMBRE DEL PROPIETARIO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TÍTULO
FILTRO LENTO DE ARENA (VISTA LATERAL)

JUNTO CON	UTILIZADO EN		
		MATERIAL	
		FINALIZAR	
		DIBUJO CON FACTOR DE ESCALA	

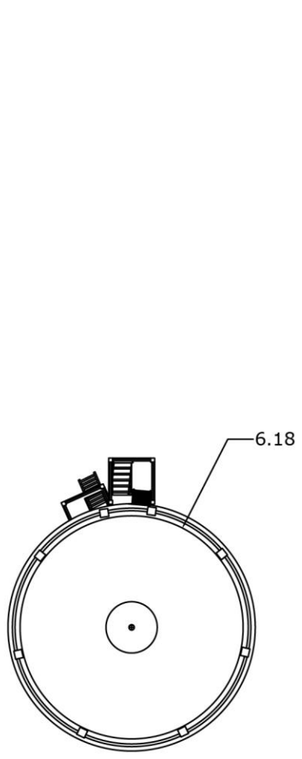
APROBACIÓN	FECHA	
DIBUJÓ: Jorge Manuel Vallecillo Mendez Jonathan Eduardo Ocon Garcia		
REVISÓ		
APROBÓ		
APROBACIÓN ADICIONAL		

TAMAÑO	CÓDIGO	NÚM. DIBUJOS 01	REV.
ESCALA		HOJA 01	

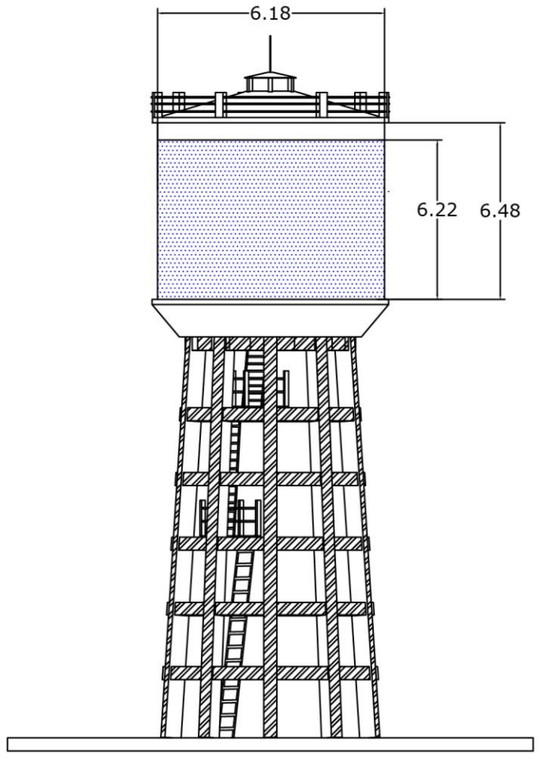
Figura 28:

Vista de planta, lateral y frontal de tanque de almacenamiento

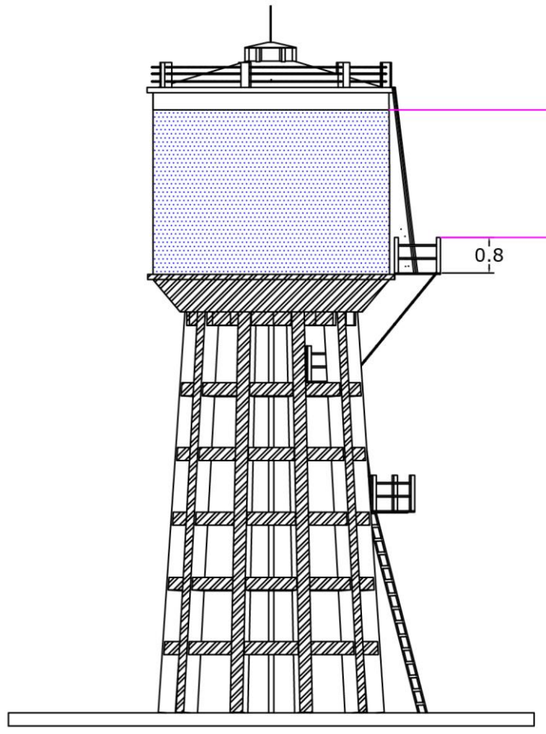
NUMERO	REVISIONES	FECHA	APROBADO
01			
02			
03			



Vista de planta



Vista frontal

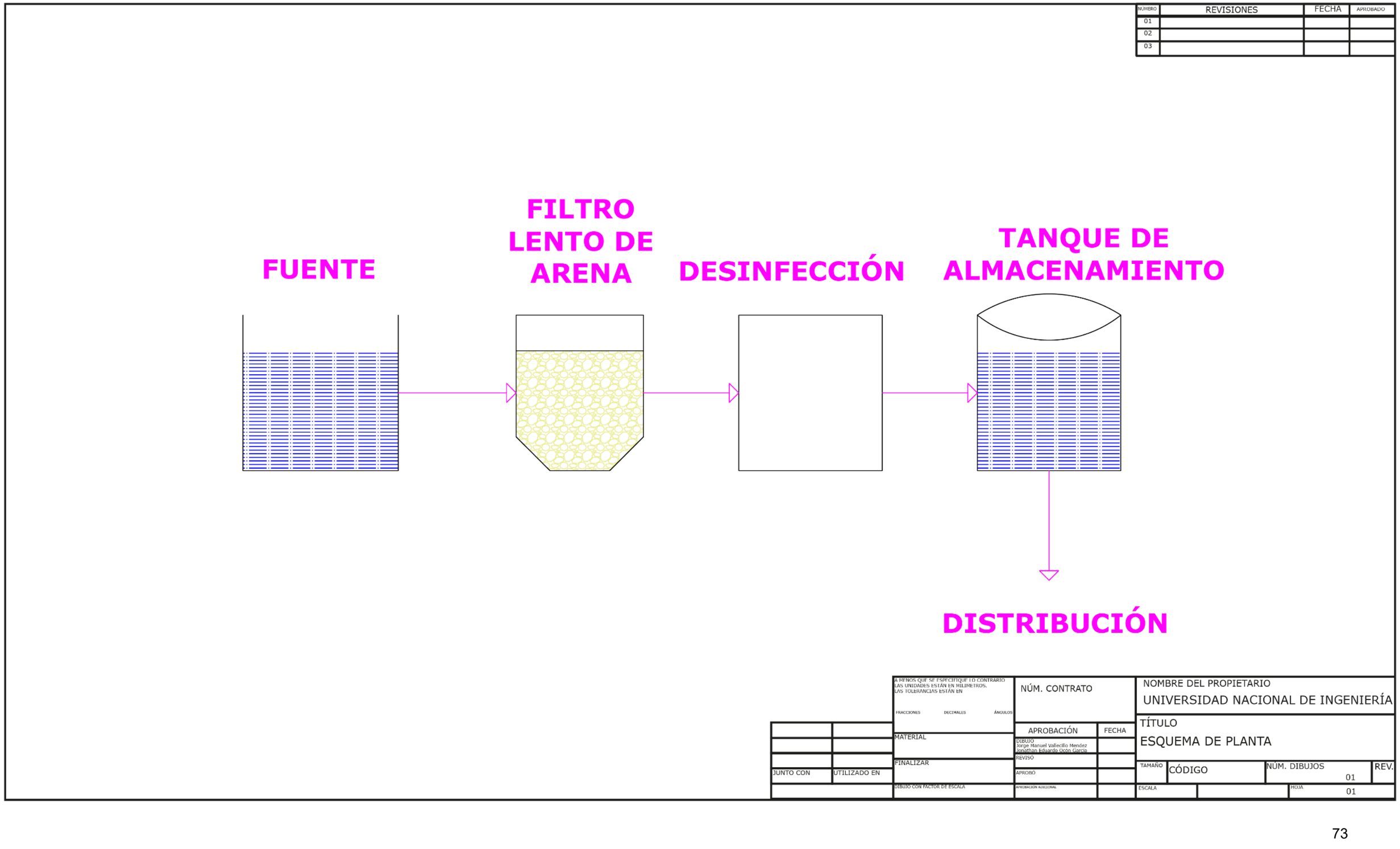


Vista lateral

A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO LAS UNIDADES ESTÁN EN MILIMETROS. LAS TOLERANCIAS ESTÁN EN FRACCIONES DECIMALES ÁNGULOS		NÚM. CONTRATO	NOMBRE DEL PROPIETARIO UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
		APROBACIÓN / FECHA	TÍTULO TANQUE DE ALMACENAMIENTO
MATERIAL		DIBUJO Jorge Manuel Vallecillo Mendez, Jonathan Eduardo Ocón García	
FINALIZAR		REVISÓ	TAMAÑO / CÓDIGO / NÚM. DIBUJOS 01 / REV.
JUNTO CON	UTILIZADO EN	APROBÓ	
DIBUJO CON FACTOR DE ESCALA		APROBACIÓN ADICIONAL	ESCALA / HOJA 01

Figura 29:

Esquema de planta



5.3. Manual de Operación y mantenimiento

En la etapa del Filtro Lento de Arena (FLA), las actividades operativas y de mantenimiento se orientan al monitoreo del caudal, turbiedad y velocidad de filtración, así como a la limpieza y nivelación del medio filtrante y la revisión de los drenajes y tuberías. La verificación diaria del caudal y de la velocidad de filtración permite detectar obstrucciones o pérdidas de eficiencia, mientras que las labores de limpieza aseguran la estabilidad del proceso sin alterar la capa biológica activa. La frecuencia de mantenimiento ya sea trimestral o semestral, puede variar según la turbiedad del agua o la disminución del rendimiento del filtro. Estas tareas son ejecutadas por el operador de mantenimiento, con apoyo del operador comunitario, empleando herramientas y equipos de protección personal adecuados.

En la etapa de Desinfección, las acciones se enfocan tanto en el control de la dosis y concentración del cloro residual libre como en la limpieza y revisión del sistema de dosificación. La verificación del nivel de hipoclorito, el registro continuo de parámetros y el mantenimiento semestral del tanque dosificador, mangueras y válvulas contribuyen a prevenir obstrucciones, fugas y deterioro del desinfectante, asegurando así una dosificación adecuada y la potabilidad del agua. Estas actividades corresponden al operador de mantenimiento con el apoyo del personal comunitario.

Respecto al Tanque de Almacenamiento y sus alrededores, las operaciones incluyen la inspección estructural, el control del nivel de agua, la limpieza integral de superficies internas y externas, la eliminación de residuos sólidos y la desinfección con solución de hipoclorito. La frecuencia de estas tareas depende de las condiciones del entorno: las actividades generales se realizan diariamente, mientras que la limpieza interna y la del cono del tanque se efectúan de manera trimestral. Los operadores comunitarios llevan a cabo estas labores con su respectivo equipo de protección personal.

El control y registro general del sistema comprende la documentación del caudal, turbiedad, color, concentración de cloro residual y observaciones operativas. Estos datos deben registrarse en las tablas representadas en las figuras 30 y 31, mientras que las actividades específicas de mantenimiento se documentarán en la Figura 32. Toda la información se archiva en la bitácora del sistema y se reporta cada 15 días a la autoridad local del agua. En la Figura 32 se detallan las actividades, personal responsable, frecuencia y herramientas necesarias para la operación y mantenimiento del sistema propuesto, brindando una base sólida para una gestión preventiva y una evaluación continua del desempeño del sistema.

Tabla 23:

Manual de operación

Manual operativo			
Etapas del sistema de tratamiento	Actividad operativa	Personal	Materiales y equipo
Filtro lento de arena (FLA)	-Realizar diariamente el control de caudal a la entrada y salida del filtro. -Medir la turbiedad del agua filtrada y compararla con el límite máximo permisible -Retirar el colador o la red de materia flotante acumulada en la superficie del filtro. -Verificar la velocidad de filtración	Operador de mantenimiento. Apoya: Operador comunitario	Se emplea caudalímetro, turbidímetro, recipiente recolector, medidor de flujo, registro de datos
Desinfección	Verificar diariamente el nivel de solución de hipoclorito de calcio en el dosificador. -Medir la concentración de cloro residual libre en agua tratada -Regular la dosificación para mantener la concentración. -Registrar la hora, concentración de cloro y observaciones en registros. -Reportar inmediatamente cualquier anomalía.	Operador de mantenimiento. Apoya: Operador comunitario	Se utiliza un libro de registros y turbidímetro para control operativo
Tanque de almacenamiento	-Revisar diariamente el nivel del agua y condiciones estructurales del tanque. -Verificar la ausencia de contaminación externa -Limpiar periódicamente el tanque y registrar fecha de limpieza	Operador comunitario	Varilla de medición de nivel, linterna, cepillos, solución de hipoclorito para limpieza, equipo de seguridad (mascarilla, guantes, botas).

Nota: Al inicio y final de operación, se deberá realizar conciliación de piezas, elaboración propia.

Tabla 24:

Manual de mantenimiento

Manual de mantenimiento				
Etapas del sistema	Actividad operativa	Frecuencia	Personal	Materiales y equipo
Filtro lento de arena (FLA)	-Extracción de materia flotante. -Drenaje de agua sobrenadante -Nivelación y verificación de arena filtrante -Revisión de drenajes y tuberías de salida. -Ajuste de caudal y verificación de velocidad de filtración. -Conducción del agua al sistema de suministro	Trimestral o semestral. La frecuencia puede variar en dependencia de la perdida de carga o aumento de turbiedad del agua	Operador de mantenimiento. Apoya: Operador comunitario	Tabla, rastrillo, carretilla, palas, turbidímetro, EPP (guantes, mascarilla, botas), baldes, escoba de cerdas plásticas.
Desinfección	- Limpieza del tanque dosificador de cloro. - Revisión de mangueras y válvulas del sistema de dosificación. - Reemplazo de solución de hipoclorito en caso de deterioro. - Verificación de	Semestral (o cuando se detecten obstrucciones o residuos en el tanque).	Operador de mantenimiento. Apoya: Operador comunitario	Escoba, cepillo, agua limpia, guantes de protección, mascarilla, gafas.

	fugas en conexiones.			
Tanque de almacenamiento y alrededores	- Limpieza de paredes internas, tapa, cubierta, cono, tuberías de entrada y salida, patio, contornos de instalaciones, bodegas y cuarto de control. - Retiro de lodos, hojas u objetos extraños. - Desinfección del tanque con solución de hipoclorito (200 mg/L). - Verificación de tapas, paredes y válvulas de salida.	Limpieza general (diario) Limpieza de paredes y cono de tanque (trimestral)	Operador comunitario	Cepillos, escoba, baldes, agua limpia, solución de hipoclorito, guantes, botas, mascarilla, manguera, arnés, hidro lavadora(opcional).
Control y registro general	-Completar el formato de control operativo con caudal, turbiedad, color residual y observaciones -Archivar registros en la bitácora de operación para facilitar la búsqueda de información -Enviar reporte a la autoridad local del agua potable	-Formato de control operativo y archivo de registros (DIARIO) -Reporte a autoridad del agua (quincenal)	Operador responsable de CAPS	Formatos impresos de registro, archivador manual para oficina, perforadora, bolígrafos, computadora (opcional).

Nota: Al inicio y final de mantenimiento, se deberá realizar conciliación de piezas, elaboración propia.

Figura 30:

Formato de conciliación de piezas

	CONCILIACIÓN DE PIEZAS PARA TRABAJO EN PLANTA			MMANT-For-01	
				Septiembre 2025	
				Version 01	
Fecha de elaboración: 28 de septiembre de 2025			Aprobado por: Comité de Saneamiento y Agua potable		
Área de trabajo:_____ Fecha: _____					
Conciliación de Piezas					
Herramientas de trabajo	Entrada	Salida	Repuestos y accesorios	Entrada	Salida
Observaciones:					
Acciones correctivas:					
Responsable de área:					
Limpieza posterior:					
Fecha de liberacion:					
Nota: Toda diferencia de repuestos y herramientas se debe reportar en observaciones					

Nota: *Elaboración propia.*

Figura 31:

Formato de control operativo

	FORMATO DE CONTROL OPERATIVO				MOP-For-01 Septiembre 2025 Version 01	
Fecha de elaboración: 28 de septiembre de 2025			Aprobado por: Comité de Saneamiento y Agua potable			
Frecuencia: DIARIO						
Área de trabajo:_____ Fecha: _____ Realizado por:_____						
Hora	Caudal	Turbiedad	Vel. Filtracion	Nv. Desinfectante	Concentracion de Cloro residual	
Observaciones:						
Acciones correctivas:						
Responsable de área:						
Nota 1: Las unidades de medicon para cada apartado son: L/S; NTU; m/s; m; mg/L respectivamente						
Nota 2: En caso de cualquier anomalia, reportar en observaciones y al responsable del área						

Nota: *Elaboración propia.*

Figura 32:

Plan de limpieza en planta de tratamiento

	LIMPIEZA EN PLANTA DE TRATAMIENTO						MOP-For-02 Septiembre 2025 Version 01	
Fecha de elaboración: 28 de septiembre de 2025			Aprobado por: Comité de Agua potable y Saneamiento					
Frecuencia: DIARIO								
Área de trabajo:_____ Realizado por:_____								
FILTRO LENTO DE ARENA								
Componente	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	Observaciones	Acciones correctivas
Superficie de lecho filtrante								
Agua sobrenadante								
Canales de drenaje								
Paredes internas del filtro								
Tuberias de entrada y salida								
DOSIFICADOR DE DESINFECTANTE								
Componente	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	Observaciones	Acciones correctivas
dosificacion								
Inyector o punto de dosificacion								
Cubierta o tapa de tanque								
TANQUE DE ALMACENAMIENTO								
Componente	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	Observaciones	Acciones correctivas
Paredes internas y fondo								
Tuberias de entrada y salida								
Tapa, cubierta, cono								
Rejillas de ventilacion								
ALREDEDORES								
Areas	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	DIA/MES/AÑO	Observaciones	Acciones correctivas
Patio de las instalaciones								
bodegas y								
Contorno de las instalaciones								
Recibido por:								
Supervisa:								
Nota: El supervisor o responsable de area se encarga de llenar la tabla y marcar "C" o "NC" si encuentra conforme o no conforme el trabajo realizado								

Nota: *Elaboración propia.*

VI. CONCLUSIONES

Se realizó un análisis socioeconómico en la comunidad El Guayabo, que permitió identificar la cantidad de habitantes, las condiciones de vida y los factores que inciden en la gestión del agua potable. Se encontró que el 68% de las viviendas presentaron infraestructura domestica deficiente, mientras que el 86% de los jefes de hogar se desempeñan en empleos informales mal remunerados, se evidenció una alta recurrencia de enfermedades gastrointestinales que afectan principalmente a niños y adultos mayores con frecuencias que van de los 2 a 3 meses.

Se caracterizó la calidad del agua potable, los análisis fisicoquímicos y microbiológicos mostraron alteraciones en el pH, donde se detectó una ligera alcalinidad de 8.7, superior al límite de 8.5 establecido por CAPRE y la presencia de coliformes totales (6.9 UFC/100ml) en la muestra recolectada.

Se diseñó un sistema de tratamiento de agua potable considerando las condiciones comunitarias y los resultados del muestreo, se propuso un Filtro Lento de Arena, desinfección con hipoclorito de calcio al 65% y la construcción de un tanque de almacenamiento de 186.13 m^3, estos equipos fueron diseñados para satisfacer la demanda proyectada en el período de diseño comprendido entre 2025-2045. El sistema demostró ser efectivo al eliminar el 100% de los coliformes totales y reducir el pH de 8.7 a 8.

Se elaboró un manual de operación y mantenimiento con actividades de operación y mantenimiento sencillas y fáciles de ejecutar, acompañado de una guía de registro de control operativo, conciliación de piezas y limpieza que permiten documentar el cumplimiento de las actividades y garantizar la sostenibilidad del sistema.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la población de la comunidad El Guayabo gestionar ante las autoridades pertinentes la implementación del sistema de tratamiento diseñado en este estudio.

Se recomienda al Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS) cumplir de manera íntegra con el manual de operación y mantenimiento propuesto para asegurar la eficiencia del sistema propuesto, prolongar su vida útil y prevenir fallas que puedan afectar la continuidad del servicio.

Se recomienda la construcción de una bodega que contenga los materiales y equipos necesarios para las actividades operativas y de mantenimiento.

Se recomienda la construcción de una segunda bodega que sea de uso exclusivo para el almacenamiento de documentación.

VIII. NOMENCLATURA

En la tabla 26 se resumen los símbolos, definiciones y unidades de cada variable utilizada en este trabajo.

Tabla 25:

Nomenclatura y símbolos

Letras romanas		
Símbolo	Definición	Unidades
$[CO_2]$	Concentración de dióxido de carbono	mg/l
[CT]	Concentración de coliformes totales	NMP/100ml
$[HCO_3^-]$	Concentración de ion bicarbonato	mg/l
A_{SUP}	Área superficial de FLA	m^2
B	Anchura	m
B_L	Borde libre	m
CMD	Consumo máximo diario	$[m^3/día]$
CMH	Consumo máximo horario	$[m^3/día]$
CPD	Consumo promedio diario	$[m^3/día]$
D. Cloro residual	Dosis de cloro residual que se desea que exista en el sistema	mg/l
D. componentes	Sumatoria de la dosis para eliminar amonio, hierro y manganeso	mg/l
D.R microorganismos	Dosis de desinfectante	mg/l
D_{Cl}	Dosis de desinfectante	mg/l
H_a	Altura del agua	m
H_{CA}	Altura de capa de arena	m
H_d	Altura de arena	m
H_{lf}	Altura de lecho filtrante	m
H_{ls}	Altura del lecho de soporte de drenaje	m
H_t	Altura total	m
H_{tq}	Altura del tanque	m
K	Coeficiente mínimo de costo	-
-k	Constante de velocidad cinética	min^{-1}
K_g	Tasa de crecimiento geométrico	
L	Longitud	m
LVR	Log removal values (Valores de remoción logarítmica)	-
N	Concentración de microorganismos en el efluente	NMP/100 ml

n	Intervalo de tiempo/ cantidad de encuestas	Años/encuestas
n	Número de unidades en paralelo	-
N	Tamaño de la población	Habitantes
N_0	Concentración de microorganismos en el afluente	NMP/100ml
P	Concentración de desinfectante	-
P_0	Población inicial	Habitantes
P_b	Población base	Habitantes
P_f	Población futura	Habitantes
pH	Potencial de hidrogeno	Unidades de pH
PM_{CO2}	Peso molecular dióxido de carbono	mg/mmol
PM_{HCO3-}	Peso molecular ion bicarbonato	mg/mmol
P_n	Población proyectada en el año “n”	habitantes
Q_C	Caudal comercial	[m^3/día]
Q_D	Caudal de diseño	[m^3/día]
Q_D	Caudal domestico	[m^3/día]
Q_F	Caudal de fugas	[m^3/día]
Q_I	Caudal industrial	[m^3/día]
Q_P	Caudal publico	[m^3/día]
Q_T	Caudal total	[m^3/día]
r	Radio del tanque	m
r	Tasa de crecimiento	-
S	Área del FLA	m^2
T	Tiempo	Minutos
V	Velocidad de filtración	m/s
V	Volumen de tanque de almacenamiento de agua tratada	m^3
V_{Cl}	Volumen de cloro	L
V_f	Velocidad de filtración	m/s
	Otros símbolos	
%	Porcentaje o fracción expresada en cien	%
ºC	Grados Celsius	ºC
<	Menor que	<
≤	Menor o igual que	≤

Nota: *Elaboración propia.*

IX. **BIBLIOGRAFÍA**

Ampié Urbina, D., & Masis Lorente, A. (2017). *Propuesta de diseño hidráulico a nivel de pre factibilidad del sistema de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico de la comunidad Pasó real, municipio de Jinotepe, departamento de Carazo.* Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

Autoridad Nacional del Agua. (2023). *Diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable.* Managua.

Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe. (2023). *Seguridad hídrica en América Latina y el Caribe: Retos y oportunidades.* CAF.

Bolaños-Alfaro, J. D. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potables como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en marcha*, 15-27.

CAPRE. (1994). *Normas de calidad del agua para consumo humano.* San José, Costa Rica.

Castro Fernandez, M., Cárdenas Manosalva, I., Colmenares Quinero, R., Montenegro Marín, C., Diaz Cuesta, Y., Mahecha, D., & Pérez Vásquez, P. (2022). *Multitemporal total coliforms and Escherichia coli analysis in the middle Bogotá River Basin, 2007-2019.* Sustaiinability.

Castro, A. (2018). *Desarrollo Municipal.* Granada, Nicaragua: Alcaldía Municipal de Granada.

CEPIS. (2003). *Filtracion lenta de arena: manual de diseño, operacion y mantenimiento .*

Comision Nacional de Normalizacion Tecnica . (2021). *Diseño de sistemas de abastacimiento de agua potable Norma Tecnica NTON 09 007-19.* Managua: La Gaceta.

Fise & Inatec. (2022). *Sistema de agua potable rural.* Managua.

FISE. (2019). *Cartilla de capacitacion comunitaria sobre las plantas de tratamiento de agua. Filtracion en multiples etapas.* Managua}.

FISE. (2021). *Manual para la determinacion de la dosis de cloro en desinfeccion del agua.* Managua.

Giovanetti, V. (2018). *Calidad fisicoquimica del agua potable en la region Metropolitana, Chile.* Santiago de Chile.

Guillen, J., Jaramillo, A., Baquerizo, R., & Cordoba, R. (2021). *Estudio de los procesos de remocion de hierro y manganeso en aguas subterraneas.* Universidad de Jaen.

Herrera, J., & Morales, L. (2018). *Efectos de la dosificacion de CO2 sobre parametros fisicoquimicos y microbiologicos del agua potable.* Medellin: Universidad de Antioquia.

Il-Moon Chung, S. W. (2022). *Integrated Surface Water and Groundwater Analysis.* Basel, Switzerland: MDPI.

Instituto Nacional de Informacion de Desarrollo. (2005). *Municipios de Granada: Barrios y comarcas pobreza extrema.* Managua.

Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillados. (1999). *Diseño de Sistemas de abastecimiento de agua potable en el medio rural.* Managua.

Kavitha. (2020). Characterization of Surface Water and Ground Water Reservoirs. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4070-4079.

La Gaceta. (2000). *Norma Tecnica Nº NTON 05 007-98.* Managua: Asamblea Nacional de la República de Nicaragua.

León, C. E. (2016). *Implementación de un sistema de tratamientos de agua para la reducción de costos de mantenimiento correctivo en la empresa industria Fibraforte S.A.* Lima: Universidad privada del norte.

Leyton, J., & Capote, A. (2018). *Evaluación del impacto de la velocidad de filtración en filtros lentos de arena con el uso de geotextiles NT.* Universidad de Cauca.

Lozano, P. (2020). *Ciclo del agua*. Obtenido de Dialnet.

Lozano-Rivas, G. L. (2015). *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio.* Bogotá, Colombia: Xpress Estudio Gráfico y digital S.A.

Marcelo Martinez, A. O. (2018). Validación de un método para el análisis de color real en agua. *Revista de la facultad de ciencias*, 143-155.

Matas Palou, J., & Cabezas, F. (2020). *Libro blanco del agua en España.*

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2018). *Guía para el diseño y operación de redes de distribución de agua potable.* La Paz, Bolivia: MMAyA.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2011). *Valoracion ambiental-social proyect mejoramiento del camino Granada-Malacatoya (10.00 KM).* Managua, Nicaragua: Unidad de Gestion Ambiental.

MINSA. (2021). *Manual de procedimientos para la vigilancia sanitaria del agua para el consumo humano.* Managua.

Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guias de calidad para el agua potable.*

Organizacion Panamericana de la Salud. (2004). *Tratamiento de agua para el consumo humano: Filtración Lenta de Arena.*

Owen, R., Mirghani, M., Moustapha, D., Tuinhof, A., & Taylor, P. (2020). *Gestión de aguas subterraneas en la GIRH: Manual de capacitacion.*

Perez Diaz, M. (2021). *Determinacion de la calidad de agua para consumo humao en el Valle de Vítor, Arequipa durante los meses de agosto-octubre del 2019.* Arequipa-Perú: Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa.

Perez, E. (2016). *Control de calidad en aguas para el consumo humano en la región occidental de Costa Rica.* Tecnología en marcha.

Priyanshi, T. A. (2023). Assessment of Physicochemical Properties of Water Samples. *Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, 118-123.

Quezada , J., Garcia, A., & Suce, M. (2015). *Propuesta de diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable por bombeo electrico para el asentamiento 23 de Octubre de la comunidad limon #1 del municipio de Tola, Rivas período 2015-2034.* Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

Ramos Pérez, L. (2021). *Evaluacion de la calidad del agua purificada por osmosis inversa para el consumo en instituciones educativas.* Manatay.

Ramos, J. (2016). *Diseño de planta de tratamiento de agua potable en la comunidad de La Ñambara, Municipio de San Pedro de Lovago, Departamento de Chontales.* Managua: Universidad Centroamericana.

Reyhan Akcaalan, R. D.-G. (2022). Water taste and odor (T&O): Challenges, gaps and solutions from a perspective of the WaterTOP network. *Chemical Engineering Journal Advances*.

Rios Tobón , S., Agudelo Cadavid, R., & Gutiérrez Builes, L. (2017). *Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para el consumo humano.* Revista facultad nacional de salud pública.

Romero, A. (2024). *Optimizacion de pH y dureza de aguas subterraneas mediante inyeccion controlada de CO2.* Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.

Romero, J. (2013). *Tratamiento de agua para el consumo humano.* Escuela Colombiana de Ingenieria.

Rouse, M. (2021). *The global water supply and sanitation assessment, 2020 report.* London international water association.

Sandoval, L., & Talavera, G. (2021). *Optimización de procesos de potabilización de agua mediante el uso de tecnologias avanzadas de filtracion.* Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Simbaña Calle, J. (2018). *Diseño de una estación de bombeo de agua de riego con su respectivo sistema de utilización 22.9 kV, 3Ø, para el sector mallaritos, distrito de marcavelica, provincia de sullana, departamento de piura.* Pimentel, Perú: Universidad Señor de Sipán .

SINAPRED. (2003). *Plan de respuesta municipal con enfoque de gestión de riesgo.* Granada, Nicaragua.

Sotelo, F., & Guzman, R. (2017). *Influencia del Dioxido de Carbono en la calidad fisicoquimica y microbiologica del agua potable.* Pueba: Tecnica de ingenieria.

Tortajada, C., & Castro, J. (2019). *Gobernanza del agua en América Latina y el Caribe: los desafios de la sostenibilidad.* Revista internacional de desarrollo de recursos hídricos.

Velásquez, A. (2017). *Conexiones domiciliariasde agua potable y alcantarillado sanitario.* SENASBA.

World Health Organization & United Nations Children´s Fund. (2024). *Progress on Household Drinking Water and Sanitation 2000–2024: Special focus on inequalities.* WHO/UNICEF.

X. ANEXOS

Anexos A: Memoria de Cálculo

a) Cálculo de la población actual

Datos:

- $P_{2022} = 950\ habitantes$
- $n = 3$
- $kg = 0.8\% = 0.008$

$$P_f = P_b * (kg + 1)^n$$

$$P_{2025} = (950\ habitantes) * (0.008 + 1)^3 = 973\ habitantes$$

b) Población proyectada hasta 2045

Datos

- $P_{2025} = 973\ habitantes$
- $n = 3$
- $kg = 0.8\% = 0.008$

$$P_f = P_b * (kg + 1)^n$$

$$P_{2025} = (973\ habitantes) * (0.008 + 1)^3 = 1141\ habitantes$$

c) Caudal domestico

Datos

- $P_{2045} = 1141\ habitantes$
- $Dotacion = 0.075 \frac{m^3}{habitante * dia}$

$$Q_D = (1141\ habitantes) * \left(0.075 \frac{m^3}{habitante * dia}\right) = 85.58 \frac{m^3}{dia}$$

d) Caudal comercial

$$Q_C = Q_D * 7\%$$

$$Q_C = \ 85.58 \frac{m^3}{dia} * 7\% = 5.99 \frac{m^3}{dia}$$

e) Caudal industrial

$$Q_I = Q_D * 2\%$$

$$Q_I = 85.58 \frac{m^3}{dia} * 2\% = 1.71 \frac{m^3}{dia}$$

f) Caudal publico

$$Q_P = Q_D * 7\%$$

$$Q_P = 85.58 \frac{m^3}{dia} * 7\% = 5.99 \frac{m^3}{dia}$$

g) Caudal total

$$Q_T = Q_D + Q_C + Q_P + Q_I$$

$$Q_T = (85.58 + 5.99 + 5.99 + 1.71) = 99.27 \frac{m^3}{dia}$$

h) Fugas en el sistema

$$Q_F = Q_T * 20\%$$

$$Q_F = 99.27 \frac{m^3}{dia} * 20\% = 19.85 \frac{m^3}{dia}$$

i) Consumo promedio diario

$$CPD = Q_T + Q_F$$

$$CPD = 99.27 \frac{m^3}{dia} + 19.85 \frac{m^3}{dia} = 119.12 \frac{m^3}{dia}$$

j) Consumo máximo diario

$$CMD = CPD * 150\%$$

$$CMD = 119.12 \frac{m^3}{dia} * 150\% = 178.68 \frac{m^3}{dia}$$

k) Consumo máximo horario

$$CMH = CPD * 250\%$$

$$CMH = 178.68 \frac{m^3}{dia} * 250\% = 302.95 \frac{m^3}{dia}$$

l) Caudal de diseño

$$Q_D = CMD$$

$$Q_D = 178.68 \frac{m^3}{dia}$$

Reacciones químicas en la etapa de filtración lenta de arena:

a) Consumo de O_2 por la reacción química ocurrida en FLA1:

$$NH_4^+ + O_2 \rightarrow 3.44NO_3^- + 0.11H^+$$

$$0.26\frac{mg}{l}\ NH_4^- \left(\frac{6.44\frac{mg}{L}\ O_2}{1\frac{mg}{l}\ NH_4}\right) = 1.6744\frac{mg}{L} O_2$$

b) Producción de NO_3^- por la reacción química ocurrida en FLA

$$NH_4^+ + O_2 \rightarrow 3.44NO_3^- + 0.11H^+$$

$$0.26\frac{mg}{l}\ NH_4^- \left(\frac{0.49\frac{mg}{L}\ NO_3^-}{1\frac{mg}{l}\ NH_4}\right) = 0.1274\frac{mg}{L}\ NO_3^-$$

c) Producción de H^+ por la reacción química ocurrida en FLA

$$H_4^+ + O_2 \rightarrow 3.44NO_3^- + 0.11H^+$$

$$0.26\frac{mg}{l}\ NH_4^- \left(\frac{0.11\frac{mg}{L}\ NO_3^-}{1\frac{mg}{l}\ NH_4}\right) = 0.0286\frac{mg}{L}\ H^+$$

d) Consumo de HCO_3^- por la reacción química ocurrida en FLA

$$H^+ + 61HCO_3^- \rightarrow 44CO_2$$

$$0.0286\frac{mg}{l}\ H^+ \left(\frac{61\frac{mg}{L}\ HCO_3^-}{1\frac{mg}{l}\ H^+}\right) = 1.7446\frac{mg}{L}\ HCO_3^-$$

e) Producción de CO_2 por la reacción ocurrida en FLA

$$H^+ + 61HCO_3^- \rightarrow 44CO_2$$

$$0.0286\frac{mg}{l}\ H^+ \left(\frac{44\frac{mg}{L}\ CO_2}{1\frac{mg}{l}\ H^+}\right) = 1.2584\frac{mg}{L}\ CO_2$$

f) Remoción de Mn^{2+} en FLA

$$Mn^{2+} = [Mn^{2+}] * 90\% = 0.43\frac{mg}{l} * 90\% = 0.387\frac{mg}{l}\ Mn^{2+}$$

g) Remoción de coliformes totales en FLA

$$CT = [CT] * 90\% = \frac{6.90\ NMP}{100\ ml} * 90\% = 0.69\ \frac{NMP}{100ml}$$

h) pH a la salida de la etapa de filtración de FLA

$[HCO_3^-] = 194.05 \frac{mg}{L}$

$[CO_2] = 1.6984 \frac{mg}{l}$

$PM_{HCO_3^-} = 61 \frac{mg}{mmol}$

$PM_{CO_2} = 44 \frac{mg}{mmol}$

$$pH = 6.2 + \log\left(\frac{\frac{[HCO_3^-]}{PM_{HCO_3^-}}}{\frac{[CO_2]}{PM_{CO_2}}}\right) = 6.2 + \log\left(\frac{\frac{194.05 \frac{mg}{L}}{61 \frac{mg}{mmol}}}{\frac{1.6984 \frac{mg}{l}}{44 \frac{mg}{mmol}}}\right) = 8.11$$

Dimensiones del filtro lento de arena:

a) Área individual del filtro lento de arena:

Datos:

Q_D=178.68 m^3/día + 20% =214.42 m^3/día

V= 3m/día

$$S = \frac{Q_D}{V} = \frac{214.42 \frac{m^3}{dia}}{3 \frac{m}{dia}} = \frac{71.47 m^2}{2\ unidades} = 35.74\ m^2$$

b) Longitud y anchura individual de FLA

Se asume que la longitud es dos veces el ancho:

$$S = L * a$$

$$L = 2a$$

$$S = 2a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{S}{2}} = \sqrt{\frac{35.74\ m^2}{2}} = \sqrt{18.17 m^2} = 4.22\ m$$

$$L = 2(4.22m) = 8.44\,m$$

c) Altura del filtro

Datos:

H_{1f} = 1.1 m

H_{CA}= 1m

B_L= 0.25 m

H_d= 0.75 m

H_{1s}= 0.2m

$$H_f = H_{lf} + H_{CA} + B_L + H_d + H_s = 1.1m + 1m + 0.25m + 0.75m + 0.2m = 3.3m$$

Dosis de desinfectante en etapa de desinfección y reacciones químicas:

a) Remoción de coliformes totales en la desinfección

$$CT = [CT] * 90\% = 0.69\frac{NMP}{100ml} * 90\% = 0.621\frac{NMP}{100ml}$$

b) Dosis de Ca $(OCl)_2$ para la remoción de manganeso

$$\frac{2.6\frac{mg}{l}\ Ca(OCl)_2}{1\frac{mg}{l}\ Mn^{2+}} * X\frac{mg}{l}\ Mn^{2+}$$

$$\frac{2.6\frac{mg}{l}\ Ca(OCl)_2}{1\frac{mg}{l}\ Mn^{2+}} * 0.043\frac{mg}{l}\ Mn^{2+} = 0.1118\frac{mg}{l}\ Ca(OCl)_2$$

c) Concentración de microorganismos en el efluente

Datos

$N_O = 0.69\frac{NMP}{100ml}$

$LVR = 1$

$$N = \frac{N_O}{10^{LRV}} = \frac{0.69\frac{NMP}{100ml}}{10^1} = 0.069\frac{NMP}{100ml}$$

d) Velocidad cinética del cloro en agua

Datos:

$T = 25ºC$

$$k = 0.1 * (1 + 0.07)^{T-20ºC} = 0.1(1 + 0.07)^{25ºC-20ºC} = 0.140\ min^{-1}$$

e) Dosis de Ca $(OCl)_2$ para la remoción de microorganismos:

Datos

$N = 0.069 \frac{NMP}{100\ ml}$

$N_O = 0.69 \frac{NMP}{100ml}$

$t = 30\ min$

$$D_{CT} = \frac{\log_{10} \frac{N}{N_O}}{-k * t} = \frac{\log_{10} \left(\frac{0.069 \frac{NMP}{100ml}}{0.69 \frac{NMP}{100ml}} \right)}{-0.140\ min^{-1} * 30min} = 0.238 \frac{mg}{l}\ Ca(OCl)_2$$

f) Datos de Ca $(OCl)_2$ demandada por el sistema

Datos

$D_{Mm^{2+}} = 0.1118 \frac{mg}{l}\ Ca(OCl)_2$

$D_{CT} = 0.238 \frac{mg}{l}\ Ca(OCl)_2$

$$\sum [Ca(OCl)_2] = D_{Mn^{2+}} + D_{CT} = \sum \left(0.1118 \frac{mg}{l} + 0.238 \frac{mg}{l} \right) = 0.349 \frac{mg}{l}$$

De acuerdo a la figura 3 (Ramos, 2016), el 30% del hipoclorito de calcio es efectivo, es decir, reacciona con los microorganismos, para llegar al 100% de efectividad la concentración de hipoclorito de calcio debe ser:

$$\sum [Ca(OCl)_2] = 0.349 \frac{mg}{l} * \left(\frac{100}{30} \right) = 1.163 \frac{mg}{l} Ca(OCl)_2$$

g) Producción de Cl^- por acción de HOCl

$$54.938 Mn^{2+} + 52.458 HOCl + H^+ \rightarrow 86.9368\ MnO_2 + 35.45\ Cl^- + 16.127\ H_2O$$

$$0.043 \frac{mg}{l} Mn^{2+} * \left(\frac{35.45 \frac{mg}{l}\ Cl^-}{54.938 \frac{mg}{l}\ Mn^{2+}} \right) = 0.0277 \frac{mg}{l}\ Cl^-$$

h) Producción de Ca^{2+} por la reacción química ocurrida en la desinfección

$$142.976\ Ca(OCl)_2 + 32.254\ H_2O \rightarrow 40.078\ Ca^{2+} + 34.014\ OH^- + 104.914\ HOCl$$

$$1.163\frac{mg}{L}Ca(OCl)_2 * \left(\frac{40.078\frac{mg}{l}\ Ca^{2+}}{142.976\frac{mg}{l}\ Ca(OCl)_2}\right) = 0.326\frac{mg}{L}Ca^{2+}$$

i) Producción de cloro residual por la reacción química ocurrida en la desinfección

$$142.976\ Ca(OCl)_2 + 32.254\ H_2O \rightarrow 40.078\ Ca^{2+} + 34.014\ OH^- + 104.914\ HOCl$$

$$1.163\frac{mg}{L}Ca(OCl)_2 * \left(\frac{104.914\frac{mg}{l}\ HOCl}{142.976\frac{mg}{l}\ Ca(OCl)_2}\right) = 0.85\frac{mg}{l}HOCl$$

Tal y como se mencionó en dosis de Ca $(OCl)_2$ demandada por el sistema, solo el 30% del desinfectante es efectivo, el restante 70% pasa a ser $HOCl^-$, por lo que su concentración es:

$$0.85\frac{mg}{l}HOCl\ \left(\frac{70}{100}\right) = 0.595\frac{mg}{l}\ HOCl^-$$

j) El HOCl en solución se disocia de acuerdo a la reacción:

$$52.458\ HOCl \rightarrow H^+ + 51.449\ OCl^-$$

$$0.595\frac{mg}{l}HOCl\ \left(\frac{51.449\frac{mg}{l}\ OCl^-}{52.458\frac{mg}{l}HOCl}\right) = 0.582\frac{mg}{l}\ OCl^-$$

k) Estableciendo una relación entre los pesos moleculares de OCl^- y Cl^-

$$0.582\frac{mg}{l}OCl^-\left(\frac{35.45\frac{mg}{l}\ Cl^-}{51.449\frac{mg}{l}\ OCl^-}\right) = 0.4\frac{mg}{l}\ Cl^-$$

l) Consumo de HCO_3^- por aumento de H^+ después de la desinfección

$$52.458\ HOCl \rightarrow H^+ + 51.449\ OCl^-$$

$$0.595\frac{mg}{l}\ HOCl\ \left(\frac{\frac{1mg}{l}\ H^+}{52.458\frac{mg}{l}HOCl}\right) = 0.011\frac{mg}{l}H^+$$

$$0.011\frac{mg}{l}\ H^+\left(\frac{61\frac{mg}{l}HCO_3^-}{1\frac{mg}{l}H^+}\right) = 0.671\frac{mg}{l}\ HCO_3^-$$

m) Produccion de CO_2 por aumento de H^+ despues de la desinfeccion

$$H^+ + 61HCO_3^- \rightarrow 44\,CO_2$$

$$0.011\frac{mg}{l}\,H^+\left(\frac{44\frac{mg}{l}HCO_3^-}{1\frac{mg}{l}H^+}\right) = 0.484\frac{mg}{l}\,CO_2$$

n) Volumen de cloro necesario para la desinfección

Datos:

$V = 186{,}130\ l$

$D_{Cl} = 1.163\frac{mg}{l}$

$P = 1$

$$V_{Cl} = \frac{V * D_{Cl}}{P * 10000} = \frac{(208460\ l) * \left(1.163\frac{mg}{l}\right)}{1 * 10000} = 24.24\ l\ de\ Ca(OCl)_2\ al\ 1\%$$

Calculando la dosis de desinfectante granulado para preparar la solución de 21.65l al 1%:

$$m = \frac{V_{sol} * \rho_{agua} * \%solución}{\%cloro\ disponible} = \frac{24.24l * 1000\frac{g}{l} * 0.01}{0.65} = 372.92g$$

Según (FISE, 2021) se puede aproximar que para preparar una solución de 24.24 l de hipoclorito de calcio granulado al 65% se necesitan 372.92 g del desinfectante.

o) pH a la salida de la etapa de desinfección

Datos:

$[HCO_3^-] = \ 193.3844\frac{mg}{L}$

$[CO_2] = 2.1824\frac{mg}{l}$

$PM_{HCO_3^-} = 61\frac{mg}{mmol}$

$PM_{CO_2} = 44\frac{mg}{mmol}$

$$pH = 6.2 + \log\left(\frac{\frac{[HCO_3^-]}{PM_{HCO_3^-}}}{\frac{[CO_2]}{PM_{CO_2}}}\right) = 6.2 + \log\left(\frac{\frac{193.3844\frac{mg}{L}}{61\frac{mg}{mmol}}}{\frac{2.1824\frac{mg}{l}}{44\frac{mg}{mmol}}}\right) = 8$$

Dimensiones del tanque de Almacenamiento de agua tratada

Para estimar las dimensiones del tanque de almacenamiento, se realizaron los siguientes cálculos:

a) Volumen del tanque de almacenamiento

Datos:

CPD= 119.12 m^3/día

$$V = CPD * 40\% = 148.9\frac{m^3}{dia} * 40\% = 208.46m^3$$

b) Altura y radio

Se tomo en consideración la forma cilíndrica del tanque y asumiendo que la altura de este es dos veces su radio:

$V = \pi r^2 h$

$h = 2r$

$V = \pi r^2(2r)$

$V = 2\pi r^3$

$V = 2\pi r^3$

$$r = \sqrt[3]{\frac{V}{2\pi}} = \sqrt[3]{\frac{208.46m^3}{2\pi}} = \sqrt[3]{30.13m^3} = 3.21m$$

$$h_a = 2(3.21m) = 6.42m$$

Asumiendo que el borde libre es de 0.3m:

$$h_{Tq} = (6.42m + 0.3m) = 6.72m$$

Tabla 26:

Proyección de población en el período de diseño

Año a proyectar	Población base 2022 [habitantes]	Kg [constante]	Proyección [habitantes]
2025	950	0,008	973
2026	950	0,008	981
2027	950	0,008	989
2028	950	0,008	997
2029	950	0,008	1004
2030	950	0,008	1013
2031	950	0,008	1021
2032	950	0,008	1029
2033	950	0,008	1037
2034	950	0,008	1045
2035	950	0,008	1054
2036	950	0,008	1062
2037	950	0,008	1071
2038	950	0,008	1079
2039	950	0,008	1088
2040	950	0,008	1097
2041	950	0,008	1105
2042	950	0,008	1114
2043	950	0,008	1123
2044	950	0,008	1132
2045	950	0,008	1141

Nota: *Elaboración propia.*