

Área de Conocimiento de Agricultura

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD GOSEN, MATEARE, MANAGUA

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico

Elaborado por:

Tutor:

Br. PAULA ELISA
PINEDA BUCARDO
(2020-0811U)

Br. BLANCA PAOLA
PRAVIA GARCÍA
(2020-0808U)

MSc. Ing. WILFREDO
VARELA FONSECA

Managua, 25 de febrero de 2026

MSc. José Mamerto Méndez Úbeda

Director Área de Conocimiento de Agricultura

Estimado Director:

Reciba un cordial saludo, deseándole éxitos en sus funciones.

En mi calidad de tutor del trabajo monográfico titulado **"PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD GOSEN, MATEARE, MANAGUA"**, presentado por las bachilleras Blanca Paola Pravia García (2020-0808U) y Paula Elisa Pineda Bucardo (2020-0811U), en opción al grado de Ingenieros Químicos, manifiesto mi visto bueno y respaldo el presente trabajo.

Constituye un esfuerzo realizado por las bachilleres, aplicando sus conocimientos adquiridos durante la carrera con el fin de mejorar el abastecimiento de agua potable de calidad en la comunidad Gosen, Mateare.

Por tal razón, solicito proceder con los trámites correspondientes para el acto de presentación y defensa, conforme lo establece el reglamento académico institucional.

Agradeciendo de antemano su atención, le saluda, atentamente.

Wilfredo Varela Fonseca, MSc.

Tutor (75359817)

cc. Archivo



Universidad Nacional de Ingeniería
Área de Conocimiento de Agricultura
Formas de Culminación de Estudios

REF.DACA.FCE.240.2025
Managua, 16 de julio del 2025

Bachilleres

PAULA ELISA PINEDA BUCARDO (2020-0811U)
BLANCA PAOLA PRAVIA GARCÍA (2020-0808U)

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema **MONOGRÁFICO**, titulado: **"PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD GOSEN, MATEARE, MANAGUA"**. Ha sido aprobado por el Director de Área de Conocimiento de Agricultura.

Asimismo, les comunico estar totalmente de acuerdo, que el **MSc. Wilfredo Varela Fonseca** sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **16 de enero del 2026**.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,



MSc. José Mamerto Méndez Ubéda
Director de Área de Conocimiento de Agricultura
DACA

CC: Archivo

Tutor-MSc. Wilfredo Varela Fonseca

MSc. Helia Vanessa Taleno Oporta / Secretaria Académica DACA

Dedicatoria

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, sabiduría y perseverancia para superar cada obstáculo a lo largo de este camino académico.

A mis padres, por su amor incondicional, sus enseñanzas y su apoyo constante, que han sido el pilar fundamental para la culminación de esta etapa.

A mis hermanos, por su cariño, comprensión y consejos.

A mis sobrinos, Jeynelli, Jorgerick, Erick, Neytan, Benjamín y Mateo, por su amor, son mi motivo para seguir esforzándome siempre.

Finalmente, dedico este logro, a mi perrito, Killer, que ya no se encuentra entre nosotros, pero cuyo recuerdo y compañía permanecieron como una fuente constante de ánimo durante este proceso, un besote hasta el cielo.

Blanca Paola Pravia García.

Dedicatoria

A mi papá, por sus consejos, su dedicación, sacrificio y por enseñarme a siempre creer en mí.

A mi hermano, por ser mi amigo y apoyo en momentos difíciles y siempre me impulsa a superarme.

Y a la memoria de mi mami, que, aunque ya no está conmigo físicamente, sigue siendo la luz que me guía, me acompaña y me impulsa a seguir adelante. Te amo infinitamente.

Paula Pineda Bucardo.

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios, Rey del Universo, por el don de la vida, por su infinita misericordia y por haberme concedido la paciencia, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa. Por sostenerme en los momentos de cansancio y duda, y por darme la oportunidad de alcanzar este logro. A la Santísima Virgen María, por su intercesión, protección y compañía constante a lo largo de este camino, brindándome paz y confianza para no rendirme en los momentos difíciles.

A mi mamá, María de la Cruz García, quien ha sido mi mayor apoyo, mi guía y mi fortaleza en cada etapa de mi vida. Gracias por su amor incondicional, por creer siempre en mí, por su paciencia, comprensión y por enseñarme a no rendirme ante las dificultades. Todo lo que soy y he logrado es reflejo de su entrega y sacrificio; es, sin duda, la persona más importante de mi vida. Asimismo, agradezco profundamente a mi papá, Donald Filadelfo Pravia, por sus enseñanzas, su paciencia y su apoyo constante, por motivarme a esforzarme cada día y por inculcarme valores que han sido fundamentales en mi formación personal y profesional.

A mis hermanos, Rosa, Donald y Karen, agradezco sinceramente por su amor, apoyo y compañía incondicional a lo largo de este proceso, por brindarme ánimo en los momentos difíciles y por compartir conmigo cada logro alcanzado. A mis cuñados Mariana y Noel, por el cariño y estar siempre presentes. A Byron, por confiar en mí y apoyarme. Mención honorífica, a mi hermana, Karen, gracias por ser mi segunda mamá, gran parte de lo que soy hoy tiene tu huella.

A mi tutor, Wilfredo Varela Fonseca, por su tiempo, paciencia, confianza y orientación a lo largo de este proceso, sus conocimientos, observaciones y acompañamiento fueron fundamentales, sin usted no lo habiéramos logrado.

A mi amiga y compañera, Paula Elisa, le agradezco profundamente por su paciencia, apoyo, compañerismo y disposición constante para ayudarme durante este proceso. Gracias por compartir conocimientos, experiencias y momentos que hicieron este camino más llevadero y significativo, te quiero mucho Pau.

A las autoridades universitarias y docentes de la carrera, agradezco por la formación académica brindada, por los conocimientos compartidos a lo largo de mi etapa universitaria y por contribuir a mi preparación como futura profesional.

Finalmente, agradezco a mi amiga, Khandija Ruiz, por su acompañamiento constante, comprensión y cariño. Gracias por estar siempre presente, por motivarme a seguir adelante y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles; tu apoyo ha sido invaluable.

Blanca Paola Pravia García.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios, por darme la paciencia, fortaleza y perseverancia necesaria para llegar hasta aquí.

A mi papá, Freddy Pineda, por su apoyo incondicional, esfuerzo, y sacrificio constante.

A mi amiga y compañera de tesis, Blanca Pravia, por su apoyo, paciencia y compañía, juntas hemos logrado concluir con este capítulo de nuestras vidas.

A mi tutor, Wilfredo Varela, por su comprensión, paciencia y su guía en este proceso.

Finalmente, a la Universidad Nacional de Ingeniería por brindarme el apoyo y los recursos necesarios para desarrollarme como profesional.

Paula Pineda Bucardo.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo principal proponer el diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad Gosen, ubicada en el municipio de Mateare, a partir del diagnóstico y análisis del sistema de abastecimiento existente. La finalidad fue plantear una alternativa de tratamiento que garantice el suministro de agua apta para consumo humano, en cumplimiento con la normativa nacional vigente. Para ello, se desarrolló una investigación con enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo y con un diseño experimental no aplicado, sustentada en la recopilación de información técnica, social y sanitaria mediante encuestas comunitarias, inspecciones de campo y análisis de laboratorio de la calidad del agua.

El diagnóstico permitió caracterizar las condiciones socioeconómicas y productivas de la población, así como su acceso a servicios básicos, identificándose deficiencias significativas en el suministro de agua potable, el cual se brinda de forma intermitente y sin procesos adecuados de desinfección. Asimismo, se evidenciaron problemas sanitarios asociados al consumo de agua sin tratamiento, junto con prácticas higiénicas inadecuadas y deficiencias en la gestión de residuos sólidos.

El análisis del sistema de abastecimiento determinó que la fuente de agua proviene de un pozo subterráneo que cubre a las 136 familias de la comunidad y es operado por el Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS). No obstante, se constató la ausencia de registros técnicos, planos de diseño y mecanismos de control de calidad, lo que limita la gestión eficiente y la sostenibilidad del sistema. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos confirmaron que el agua no cumple plenamente con los parámetros establecidos por la normativa, evidenciando la necesidad de implementar un sistema de tratamiento.

Tras evaluar diversas alternativas tecnológicas y considerar las condiciones actuales y la proyección poblacional a 20 años, se seleccionó la nanofiltración como la opción más viable. Esta tecnología destaca por su eficiencia en la remoción de contaminantes y su adaptabilidad al contexto comunitario, contribuyendo a mejorar la calidad del agua, reducir riesgos para la salud pública y fortalecer la sostenibilidad del servicio de abastecimiento en la comunidad de Gosen.

Índice de contenido

I.	Introducción.....	1
II.	Antecedentes	2
III.	Justificación	3
IV.	Objetivos	4
4.1.	Objetivo General.....	4
4.2.	Objetivos Específicos	4
V.	Marco Teórico	5
5.1.	El agua	5
5.2.	Características físicas del agua.....	5
5.2.1.	Características químicas del agua	6
5.2.2.	Características biológicas del agua	6
5.2.3.	Características bacteriológicas del agua.....	7
5.3.	Tipos de contaminantes	7
5.3.1.	Contaminantes de origen biológico.....	7
5.3.2.	Contaminantes químicos.....	8
5.3.3.	Contaminantes orgánicos	8
5.4.	Indicadores de contaminación de agua	8
5.4.1.	Coliformes totales	8
5.4.2.	Coliformes termo tolerantes	9
5.4.3.	Escherichia coli	10
5.5.	Enfermedades transmitidas por el agua	10
5.6.	Fuentes de abastecimiento de agua.....	11
5.6.1.	Aguas superficiales	11
5.6.2.	Aguas subterráneas	12
5.7.	Importancia de los tratamientos del agua.....	12
5.8.	Sistemas de potabilización	12
5.9.	Tren de tratamiento	13
5.10.	Elementos básicos para el diseño de una planta de tratamiento de agua ...	13

5.10.1.	Bombas de captación	14
5.10.2.	Desbastadores y rejillas.....	14
5.10.3.	Desarenadores en planta potabilizadora	14
5.10.4.	Tanques de mezcla y reactores en planta potabilizadora.....	14
5.10.5.	Reactores	14
5.10.6.	Clarificadores o decantadores	14
5.10.7.	Filtros de arena y carbón activado en planta potabilizadora.....	15
5.10.8.	Filtros de carbón activo.....	15
5.10.9.	Sistemas de desinfección	15
5.10.10.	Tanques de almacenamiento	15
5.11.	Sostenibilidad de los sistemas de agua potable.....	15
5.12.	Características geográficas y geológicas de la comunidad	16
5.13.	Economía y actividades productivas	18
5.14.	Calidad del agua	19
5.14.1.	Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua potable	20
5.14.2.	Parámetros microbiológicos de calidad del agua potable	24
5.15.	Normativas para calidad de agua.....	25
5.15.1.	Normativa CAPRE	25
5.15.2.	Normativa NTON 05-007-98.....	25
5.15.3.	Normativa NTON 03-004	26
5.15.4.	Normativa NTON 09 007 19	26
VI.	Metodología.....	27
6.1.	Diagnóstico de la comunidad.....	27
6.1.1.	Proyección de población	27
6.1.2.	Cálculo de dotación	28
6.2.	Evaluación de resultados según los valores aceptables de las normativas CAPRE y NTON 05-007-98.....	30
6.2.1.	Procedimiento de los análisis de laboratorio	30
6.2.1.1.	Determinación de coliformes fecales, coliformes totales y E.coli	30
6.2.1.2.	Determinación de alcalinidad Total	31
6.2.1.3.	Determinación de dureza total.....	31

6.2.1.4.	Determinación de calcio (Ca ⁺)	32
6.2.1.5.	Determinación de Sulfatos (SO ₄)	32
6.2.1.6.	Medición de conductividad eléctrica	32
6.2.1.7.	Determinación de Hierro Total	33
6.2.1.8.	Determinación de Manganeseo	33
6.2.1.9.	Determinación de Cloro Residual	33
6.2.1.10.	Determinación de Silicio	34
6.2.1.11.	Determinación de solidos suspendidos totales (SST)	34
6.2.1.12.	Determinación de Nitratos (NO ₃) y Nitritos (NO ₂)	35
6.2.1.13.	Determinación de color verdadero	35
6.2.1.14.	Determinación de Solidos Totales (ST)	35
6.2.1.15.	Determinación de Potasio (K ⁺)	35
6.2.1.16.	Determinación de Fluoruro (F ⁻)	36
6.2.1.17.	Determinación de Cloruro (Cl ⁻)	36
6.2.1.18.	Determinación de Fosforo Total (PT)	36
6.2.1.19.	Determinación de Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)	36
6.2.1.20.	Determinación de Solidos Disueltos Totales (SDT)	37
6.2.1.21.	Determinación de Solidos Sedimentables (SSed)	37
6.2.2.	Marco normativo aplicable y análisis comparativo	37
6.2.3.	Análisis de balance iónico	41
6.3.	Diseño y cálculos de dimensiones de equipos	42
6.3.1	Cálculos para filtro de sedimentos	42
6.3.2	Cálculos para dosificación de cada tanque de almacenamiento	43
6.4.	Desarrollo de estrategia de operación y mantenimiento para un sistema de tratamiento de agua.	43
VII.	Resultados	44
7.1.	Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua de la comunidad	44
7.1.1.	Descripción general del municipio	44
7.1.2.	Clima y precipitación	45
7.1.3.	Descripción de la comunidad	45
7.1.4.	Población y vivienda	46

7.1.5.	Actividad económica	47
7.1.6.	Servicios existentes	47
7.1.7.	Transporte.....	48
7.1.8.	Salud.....	48
7.1.9.	Aspectos socio organizativos.....	48
7.1.10.	Situación habitacional.....	49
7.1.11.	Condiciones higiénicas de las viviendas.....	49
7.1.12.	Situación actual del sistema de abastecimiento	51
7.1.12.1.	Cantidad	52
7.1.12.2.	Calidad	52
7.1.13.	Proyección de población.....	53
7.1.14.	Cálculo de dotación	53
7.2	Evaluación de resultados según los valores aceptables de las normativas CAPRE y NTON 05-007-98.	55
7.2.1.	Interpretación de los parámetros de calidad de agua	55
7.2.1.1.	Coliformes totales, fecales y E.coli.....	56
7.2.1.2.	Potencial de hidrogeno pH	57
7.2.1.3.	Conductividad Eléctrica.....	57
7.2.1.4.	Alcalinidad	57
7.2.1.5.	Sólidos disueltos totales	58
7.2.1.6.	Oxígeno disuelto	58
7.2.1.7.	Color verdadero.....	58
7.2.1.8.	Turbiedad	58
7.2.1.9.	Nitrato (NO_3^-).....	59
7.2.1.10.	Nitrito (NO_2^-).....	59
7.2.1.11.	Cloruro (Cl^-).....	59
7.2.1.12.	Hierro total.....	59
7.2.1.13.	Sulfato (SO_4^{2-})	60
7.2.1.14.	Dureza total.....	60
7.2.1.15.	Calcio	61
7.2.1.16.	Magnesio.....	61

7.2.1.17.	Manganeso	61
7.2.1.18.	Bicarbonato	61
7.2.1.19.	Carbonatos.....	62
7.2.1.20.	Sodio	62
7.2.1.21.	Potasio	62
7.2.1.22.	Flúor	63
7.2.2.	Análisis de balance iónico.....	63
7.3	Diseño y cálculos de dimensiones de equipos.....	64
7.3.1	Selección del tren de tratamiento para el diseño del sistema de agua potable 64	
7.3.2	Factores a considerar para la selección de tren de tratamiento	67
7.3.3	Cálculos de dimensiones de cada equipo	69
7.3.4	Cloración	76
7.4	Desarrollo de estrategia de operación y mantenimiento para un sistema de tratamiento de agua.....	77
7.4.1	Plan de operación y mantenimiento para el área de captación: pozo subterráneo	77
7.4.2	Plan de operación y mantenimiento para el área de Filtración	78
7.4.3	Plan de operación y mantenimiento para el área de Nanofiltración (NF)	79
7.4.4	Plan de operación y mantenimiento para el área de Desinfección (cloración)	80
VIII.	Conclusiones	81
IX.	Recomendaciones.....	82
X.	Bibliografía	83
XI.	Anexos	87

Índice de figuras

Figura 1: Rango de temperatura en el municipio de Mateare	16
Figura 2: Falla sísmica de Managua, Nicaragua	18
Figura 3: Ubicación del municipio de Mateare y la comunidad Gosen	45
Figura 4: Principales fuentes de ingreso de los habitantes	47
Figura 5: Material predominante en las viviendas	49
Figura 6: Condiciones higiénicas de las viviendas	50
Figura 7: Disposición de residuos.....	51
Figura 8: Proceso del tren de tratamiento Alternativa 1.....	64
Figura 9: Proceso del tren de tratamiento Alternativa 2.....	66
Figura 10: Imagen representativa del filtro de sedimento	70
Figura 11: Equipo de nanofiltración	73
Figura 12: Acotaciones del tanque de almacenamiento de 22 000 L	74
Figura 13: Acotaciones del tanque de almacenamiento de 15 000 L	75
Figura 14: Acotaciones del tanque de almacenamiento de 10 000 L	75

Índice de tablas

Tabla 1: Dotación según rango de población	28
Tabla 2: Porcentajes de acuerdo con la dotación doméstica diaria.....	29
Tabla 3: Parámetros de calidad de acuerdo a normativa CAPRE	38
Tabla 4: Parámetro de calidad de acuerdo a normativa NTON 05-007-98.....	39
Tabla 5: Parámetro de calidad de acuerdo a normativa NTON 03-004.....	41
Tabla 6: Población actual en la comunidad	46
Tabla 7: Porcentajes de acuerdo con la dotación doméstica diaria.....	53
Tabla 8: Valores de los análisis del agua cruda comparados con los valores admisibles de la normativa NTON 03 004	55
Tabla 9: Cálculo del porcentaje de error con balance iónico con la misma cantidad de aniones y cationes.....	63
Tabla 10: Nomenclatura del tren de tratamiento alternativa 1	65
Tabla 11: Porcentajes de remoción de cada etapa para la alternativa 1	65
Tabla 12: Valores de remoción en cada etapa de la alternativa 1	65
Tabla 13: Nomenclatura del tren de tratamiento alternativa 2	66
Tabla 14: Porcentajes de remoción de cada etapa para la alternativa 2	67
Tabla 15: Valores de remoción en cada etapa de la alternativa 2	67
Tabla 16: Factores a considerar para la selección del tren de tratamiento	67
Tabla 17: Valores de dimensionamiento del filtro de sedimentos.....	71
Tabla 18: Área del tanque filtrante	72
Tabla 19: Cantidades a utilizar de hipoclorito de calcio para cada tanque de almacenamiento	76
Tabla 20: Operación y mantenimiento del área de captación.....	77
Tabla 21: Operación y mantenimiento sistema de filtración: filtro de sedimentos	78
Tabla 22: Operación y mantenimiento sistema de nanofiltración	79
Tabla 23: Operación y mantenimiento del tanque de almacenamiento	80

Índice de anexos

Anexo 1: Encuesta realizada a los habitantes de la comunidad.....	87
Anexo 2: Resultados de los análisis microbiológicos	90
Anexo 3: Resultados de los análisis fisicoquímicos	91
Anexo 4: Ficha técnica del sistema de filtración (filtro de sedimentos)	92
Anexo 5: Ficha técnica del equipo de nanofiltración	93
Anexo 6: Ficha técnica de tanques de almacenamiento	95
Anexo 7: Estado actual de la sarta de bombeo	96
Anexo 8: Tanques de almacenamiento de la comunidad	97

Glosario

- **CAPRE (Comité coordinador regional de instituciones de agua potable y saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana):** organismo regional que establece normas técnicas para la calidad del agua potable y vigilancia sanitaria en países de Centroamérica.
- **NTON 05-007-98 (Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense):** norma técnica emitida por el gobierno de Nicaragua que establece los parámetros para determinar los niveles de calidad exigibles de los cuerpos de agua, de acuerdo con los usos a los cuales se destinen.
- **NTON 09-007-19 (Normas Técnica para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización del Agua):** esta norma tiene por finalidad la regulación de los diseños de sistemas de abastecimiento de agua potable urbano y rural, en cumplimiento con criterios técnicos que garanticen calidad, cantidad y continuidad en la prestación del servicio.
- **SIASAR (Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural):** plataforma de información diseñada para evaluar y monitorear el estado de los servicios de agua potables y saneamiento en comunidades rurales.
- **Potabilización:** proceso mediante el cual se eliminan contaminantes físicos, químicos, biológicos y microbiológicos del agua, haciéndola segura para el consumo humano.
- **Desbastadores:** dispositivos utilizados en plantas de tratamiento para eliminar residuos sólidos grandes del agua cruda, como hojas o plásticos.
- **Desarenador:** Unidad dentro de una planta potabilizadora destinada a remover arena y sedimentos pesados del agua para proteger equipos posteriores.
- **Clarificador:** tanque o estructura donde los flóculos formados se sedimentan por gravedad, separándose del agua clara.
- **Floculación:** procesos fisicoquímicos donde se forman agregados de partículas (flóculos) para facilitar su sedimentación y posterior eliminación del agua.
- **Caudal doméstico:** cantidad de agua utilizada en las viviendas para actividades diarias.

- **Caudal comercial:** volumen de agua destinado al funcionamiento de actividades comerciales dentro de una comunidad.
- **Caudal industrial:** cantidad de agua requerida para actividades industriales o productivas, aunque sean de pequeña escala.
- **Caudal público:** volumen de agua utilizado en servicios públicos como escuelas, hospitales, parques o sistemas de emergencia.
- **Caudal total:** suma de todos los tipos de caudal (domestico, comercial, industrial y público) que se estiman para una comunidad.
- **Caudal de diseño:** volumen de agua estimado y calculado que debe ser tratado y distribuido, considerando las necesidades actuales y futuras de la población.
- **Fugas del sistema:** perdida de agua dentro del sistema de distribución, ya sea por defectos en tuberías, conexiones o mantenimiento inadecuado.
- **Coliformes:** grupo de bacterias indicadoras de contaminación fecal o ambiental; su presencia en el agua sugiere un riesgo sanitario.
- **E. Coli (Escherichia coli):** bacteria del grupo coliforme que vive en los intestinos de los humanos y animales; su presencia en el agua indica contaminación fecal reciente.
- **NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez):** unidad que mide la turbidez o claridad del agua, determinada por la cantidad de partículas en suspensión que dispersan la luz.
- **DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno):** cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua durante un período determinado.
- **DQO (Demanda Química de Oxígeno):** medida de la cantidad total de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua que pueden ser oxidados químicamente, expresada en mg/L de oxígeno
- **Tren de tratamiento:** conjunto de procesos aplicados al agua para mejorar su calidad hasta cumplir con la normativa establecida.
- **Retrolavado:** proceso de limpieza de un filtro mediante la inversión del flujo de agua para remover solidos acumulados.

- **EBCT (Tiempo de contacto):** tiempo teórico que el agua permanece en contacto con el medio filtrante, calculando como volumen del lecho entre el caudal.
- **Membrana semipermeable:** material que permite el paso de gua y retiene sales, partículas o contaminantes disueltos.

I. Introducción

El agua potable constituye uno de los recursos fundamentales para la supervivencia y el desarrollo de los seres humanos. Su aptitud para el consumo humano depende de características físicas, químicas y microbiológicas que garantizan que no represente un riesgo para la salud, al encontrarse libre de microorganismos patógenos y sustancias tóxicas. Sin embargo, a pesar de su importancia, una parte significativa de la población carece de acceso continuo y cercano a fuentes de agua potable seguras, lo que limita la satisfacción de sus necesidades básicas y afecta su calidad de vida. En el mundo un 33% de la población no cuenta con acceso a agua potable. En Nicaragua, un país rico en recursos hídricos superficiales y subterráneos, el 31% de las personas que viven en zonas rurales no tienen acceso a este recurso vital (ECODES, 2022).

No obstante, a pesar de la disponibilidad de recursos hídricos, muchas fuentes de agua se ven afectadas por procesos de contaminación, principalmente debido a las descargas provenientes de numerosos sistemas urbanos de agua y saneamiento que operan sin un tratamiento adecuado.

La implementación de sistemas de tratamiento de agua potable constituye una medida fundamental para proteger la salud pública, prevenir enfermedades de origen hídrico y asegurar el acceso a agua segura para el consumo humano.

La comunidad de Gosen, ubicada en el municipio de Mateare, presenta una situación representativa de esta problemática, al contar con un sistema de abastecimiento basado en una fuente subterránea que opera sin un tratamiento integral que garantice la potabilidad del agua distribuida a la población. Esta condición ha generado limitaciones en la continuidad del servicio y potenciales riesgos sanitarios asociados al consumo de agua sin desinfección adecuada.

En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la situación actual del sistema de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Gosen, con el fin de proponer una alternativa de tratamiento que permita mejorar la calidad sanitaria del recurso hídrico y contribuir al bienestar de la población.

II. Antecedentes

El acceso al agua potable es un derecho fundamental y un factor clave para la salud pública y el desarrollo sostenible, sin embargo, millones de personas, especialmente en comunidades rurales, aún consumen agua de fuentes contaminadas, lo que incrementa el riesgo de enfermedades. En Nicaragua, diversas comunidades enfrentan problemas de calidad y disponibilidad del agua debido a la falta de sistemas de tratamiento e infraestructura sanitaria adecuada. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua insegura provoca más de medio millón de muertes por enfermedades diarreicas cada año, afectando especialmente a zonas rurales y vulnerables (OMS, 2021).

La comunidad de Gosen, ubicada en el municipio de Mateare, ha enfrentado históricamente limitaciones en el acceso al agua potable. Antes de la construcción del pozo actual en el año 2011, los habitantes dependían del abastecimiento mediante camiones cisterna (pipas), que llegaban a la comunidad tres veces por semana. Esta modalidad obligaba a las familias a comprar el agua, lo que restringía su disponibilidad y representaba un riesgo para la salud pública. Si bien existían algunos pozos en la zona, el agua que proporcionaban no era apta para el consumo humano.

Actualmente, aunque se cuenta con una fuente de abastecimiento más estable, no se dispone de estudios que verifiquen la calidad del agua ni su aptitud para el consumo, lo que genera preocupación entre los habitantes. La información anterior se obtuvo mediante una conversación con habitantes de la comunidad, ya que no existen estudios previos específicos sobre la calidad del agua ni sobre el funcionamiento integral del sistema de abastecimiento en Gosen. Esta carencia limita la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales y los mismos habitantes.

Por tanto, se plantea la necesidad de diseñar una propuesta técnica adaptada a las condiciones locales, que permita mejorar la calidad del agua y asegurar un suministro más seguro y sostenible. Este estudio busca contribuir a ese objetivo, mediante la evaluación del sistema actual y la formulación de un sistema de tratamiento de agua potable adecuado para la comunidad.

III. Justificación

El acceso al agua potable en condiciones seguras es un derecho humano esencial para garantizar la salud, el bienestar y el desarrollo sostenible de las comunidades. Sin embargo, en muchas zonas rurales de Nicaragua, incluyendo la comunidad de Gosen, persisten serias dificultades relacionadas no solo con la disponibilidad del recurso, sino también con su calidad. Históricamente, Gosen ha enfrentado limitaciones importantes en el acceso al agua; antes de la construcción del pozo en 2011, las familias dependían del suministro mediante camiones cisterna, y de pozos cuya agua no era apta para el consumo humano.

Actualmente, aunque existe una fuente de abastecimiento, no se dispone de estudios técnicos que respalden la potabilidad del agua consumida, lo que genera incertidumbre y riesgo sanitario para la población.

La ausencia de un sistema de tratamiento adecuado agrava la problemática, ya que el agua distribuida podría contener agentes microbiológicos o químicos que representen una amenaza para la salud. Esta situación limita el desarrollo integral de la comunidad, afectando la calidad de vida, el rendimiento escolar, la productividad económica y la salud pública. Por tanto, la necesidad de implementar una solución técnica, basada en el diseño de un sistema de tratamiento de agua potable, es urgente y prioritaria.

El presente estudio no solo tiene como finalidad mejorar las condiciones de salud y bienestar de los habitantes de la comunidad de Gosen, sino también establecer un modelo de gestión hídrica que promueva el desarrollo sostenible a nivel local. Además, los resultados obtenidos podrían ser utilizados como referencia para la implementación de soluciones similares en otras zonas rurales del país que enfrentan problemáticas comparables, contribuyendo así a la reducción de la brecha en el acceso a agua potable segura en el territorio nacional.

IV. Objetivos

4.1. Objetivo General

- Proponer el diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad Gosen, Mateare, Managua.

4.2. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la comunidad de Gosen, Mateare, Managua, para conocer las condiciones de vida de los habitantes.
- Caracterizar la calidad de agua, mediante pruebas fisicoquímicas y microbiológicas con el fin de determinar su aptitud para el consumo humano y sus cumplimientos con las normativas CAPRE y NTON 05-007-98.
- Diseñar el sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad Gosen, Mateare, Managua.

V. Marco Teórico

5.1. El agua

El agua es una sustancia química compuesta por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, lo que se representa por la fórmula química H_2O . Esta composición le confiere una estructura molecular única, con un átomo de oxígeno en el centro y dos átomos de hidrógeno unidos a él en un ángulo de 104.5° , dando a la molécula una forma de "V".

El agua es un elemento esencial para la vida en nuestro planeta, ya que juega un papel fundamental en la supervivencia de los seres vivos, el mantenimiento de los ecosistemas y el desarrollo de las actividades humanas. Comprender qué es el agua, sus características y su importancia en la vida cotidiana es crucial para la promoción de su uso sostenible y la protección de este recurso de valor incalculable (Valdivieso, A, 2024).

5.2. Características físicas del agua

Existen ciertas características del agua, se consideran físicas porque son perceptibles por los sentidos (vista, olfato o gusto), y tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua como el color que puede originarse por la descomposición de la materia, la materia orgánica del suelo y la presencia de hierro, manganeso, entre otros factores como el pH, temperatura, etc. El olor y sabor en aguas crudas pueden ser de descargas de desechos industriales o compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas.

Otro factor físico son las partículas en suspensión o coloides causantes del agua turbia, es decir, partículas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado, no se conocen sus efectos directos sobre la salud, pero afectan la calidad estética del agua (Centeno Cuadra & Echeverría, 2020).

5.2.1. Características químicas del agua

Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo con su composición y concentración.

Entre algunos de ellos está el aluminio que es un componente natural del agua, el problema sería la alta concentración de aluminio que confiere al agua un pH bajo. También está el mercurio, que es un componente muy dañino para el ser humano, es un metal pesado muy toxico, un contaminante no deseado en el agua. El plomo, podría detectarse en aguas subterráneas, en aguas superficiales tendría que provenir de vertidos industriales también podría ser de instalaciones antiguas de tuberías de plomo. Otro sería el hierro, en proporciones muy bajas se encuentra en aguas naturales, no produce trastornos en la salud, pero afecta en la turbidez y color del agua, también podría causar obstrucciones en las redes de distribución.

El cloruro en el agua potable es uno de los aniones inorgánicos principales, su presencia se debe al agregado de cloro en las estaciones de tratamiento como desinfectante. En cambio, el cobre, en el agua potable puede existir por la corrosión de las cañerías en las viviendas o para controlar las algas en plantas de potabilización. Un elemento esencial para la nutrición del ser humano es el fluoruro, pero en cantidades adecuadas, en concentraciones muy altas podría dañar la estructura ósea.

Debido a la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes utilizados las concentraciones altas de nitratos generalmente se encuentran en el agua en zonas rurales, el ion nitrito es menos estable que el ion nitrato. Es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que solo se encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación (Centeno Cuadra & Echeverria, 2020).

5.2.2. Características biológicas del agua

Para que el agua sea destinada a la provisión de agua potable, debe ser tratada para eliminar los elementos biológicos que contiene. Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos, desde microorganismos hasta peces, entre ellos algas, bacterias hongos mohos y levaduras (Centeno Cuadra & Echeverria, 2020).

5.2.3. Características bacteriológicas del agua

El agua potable debe tener escasas bacterias, el agua de buena calidad presenta el límite admisible de 100 bacterias por centímetro cúbico de agua. Desde el punto de vista bacteriológico, el agua potable debe de tener menos de 200 colonias bacterianas de mesófilos aeróbicos por mililitro de muestra. Un máximo de dos organismos coliformes totales en 100 ml de muestra y no contener organismos coliformes fecales en 100 ml de muestra (Centeno Cuadra & Echeverría, 2020).

5.3. Tipos de contaminantes

El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, ya sea que se utilice para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos. La gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas conlleva que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada o polucionada químicamente. La diarrea es la enfermedad más conocida que guarda relación con el consumo de alimentos o agua contaminados.

La gran mayoría de los problemas de salud relacionados de forma evidente con el agua se deben a la contaminación por microorganismos (bacterias, virus, protozoos u otros organismos). No obstante, existe un número considerable de problemas graves de salud que pueden producirse como consecuencia de la contaminación química del agua de consumo (OMS, 2021).

5.3.1. Contaminantes de origen biológico

Hay diversos organismos que pueden no tener relevancia para la salud pública, pero que no son deseables porque producen sabor y olor. Además de afectar a la aceptabilidad del agua, indican que su tratamiento o el estado de mantenimiento y reparación del sistema de distribución, o ambos, son insuficientes. La presencia o aumento de bacterias, parásitos, virus y hongos en el agua surge usualmente por efecto directo o indirecto de cambios en el medio ambiente y en la población tales como urbanización no controlada, crecimiento industrial, pobreza, ocupación de regiones antes deshabitadas, y la disposición inadecuada de excretas humanas y animales.

Los cambios relacionados con las actividades antropogénicas se ven reflejados directamente en el entorno y, por consiguiente, en el recurso hídrico. Las principales actividades que favorecen la contaminación de aguas son las agropecuarias como movilización de animales, cultivos, abonos orgánicos mal procesados y disposición inadecuada de aguas residuales que afectan la calidad microbiológica de las fuentes de agua (Ríos Tobón, Agudelo Cadavid, & Gutiérrez Buile, 2017).

5.3.2. Contaminantes químicos

Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo, representan el grupo de contaminantes más importante debido a su gran número y a la omnipresencia en todos los campos laborales y en el medio ambiente.

5.3.3. Contaminantes orgánicos

Su origen son los residuos producidos por las actividades del ser humano, como el ganado o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Los contaminantes orgánicos fomentan el crecimiento de bacterias aeróbicas que consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática (Valdivielso, 2021).

5.4. Indicadores de contaminación de agua

5.4.1. Coliformes totales

Las bacterias coliformes incluyen un gran grupo de bacterias que se encuentran en todo el medio ambiente. Son comunes en el suelo y el agua superficial. También se pueden encontrar grandes cantidades de ciertos tipos de bacterias coliformes en los desechos de humanos y animales. La mayoría de los tipos de bacterias coliformes son inofensivas para los humanos, pero algunas pueden causar enfermedades leves y algunas, transmitidas por el agua, pueden provocar enfermedades graves (Swistock, 2020).

Las bacterias coliformes a menudo se denominan "organismos indicadores" porque indican la presencia potencial de bacterias que causan enfermedades en el agua. La presencia de coliformes en el agua no garantiza que beber el agua cause una enfermedad. Más bien, su presencia indica que existe una vía de contaminación entre una fuente de bacterias (agua superficial, sistema séptico, desechos animales, etc.) y el suministro de agua (Swistock, 2020).

La presencia de coliformes totales en sistema de distribución y reserva de agua almacenada puede relevar una proliferación y posible formación de biopelícula, o bien contaminación para la entrada de materias extrañas, como tierra o plantas (Camacho, López, & Martínez, 2021).

Las bacterias coliformes no deberían ser detectadas en sistemas de tratamiento de abastecimiento de agua y, si así ocurriese, ello es indicio de que el tratamiento fue inadecuado o que hubo una recontaminación posterior a este. En este sentido la prueba de coliformes se usa como indicador de la eficiencia del tratamiento. El uso de la prueba de coliformes sigue siendo esencial para vigilar la calidad microbiana del agua en los sistemas de abastecimiento público (Camacho, López, & Martínez, 2021).

5.4.2. Coliformes termo tolerantes

Las bacterias coliformes termotolerantes o fecales son específicas del tracto intestinal de los animales de sangre caliente, incluidos los humanos, y por lo tanto se requiere una prueba más específica para detectar la contaminación por aguas residuales o desechos animales (Swistock, 2020).

Entre los indicadores más usados se encuentran los coliformes, representados habitualmente por cuatro géneros de la familia Enterobacteriaceae: Citrobacter, Enterobacter, Escherichia y Klebsiella. Se trata de un grupo de bacterias gramnegativas, aerobias y anaerobias facultativas, no formadoras de esporas, fermentadoras de la lactosa lo que la diferencia del resto que son denominados coliformes totales, poseen la enzima β galactosidasa, son oxidasa negativa y su forma celular es de bacilos cortos. Los coliformes fecales relacionados a la flora intestinal presentan la particularidad de ser termotolerantes, se pueden multiplicar a 44 °C (Molina, Rivas, & Velásquez, 2021).

5.4.3. Escherichia coli

Es un tipo de bacteria coliforme fecal que se encuentra comúnmente en los intestinos de animales y humanos. Un resultado positivo de *Escherichia coli* es mucho más relevante que las bacterias coliformes por sí solas porque indica que los desechos humanos o animales están ingresando al suministro de agua (Swistock, 2020).

Las bacterias del género *Escherichia coli* son bacilos gramnegativos y pertenece a la familia de Enterobacterias; aunque no parece que su presencia tenga una función especialmente relevante, se ha descrito que la bacteria *Escherichia coli* favorece la absorción de algunas vitaminas, especialmente la vitamina K (Camacho, López, & Martínez, 2021).

Esta bacteria es un habitante común de los intestinos de todos los animales de sangre caliente, incluyendo el de los humanos. Se considera que *Escherichia coli* es el indicador de contaminación fecal por ende es el microorganismo de elección para los programas de monitoreo para la verificación incluidos los de vigilancia de la calidad del agua de consumo (Swistock, 2020).

Son pocas las cepas de *Escherichia coli* que pueden causar enfermedades a los humanos a través de diferentes mecanismos. Entre ellos están las cepas entero invasivas (EIEC) causante de síndromes diarreicos como: *Escherichia coli* enterotoxigénica, *Escherichia coli* entero patogénico, *Escherichia coli* entero invasiva, *Escherichia coli* enteroadherente, *Escherichia coli* enteroagregativa y *Escherichia coli* enterohemorrágica de esta última la más conocida es la cepa *Escherichia coli*, 0157:H7, causante de diarrea hemorrágica, y a veces puede provocar insuficiencia renal e incluso la muerte, especialmente en niños y en adultos con sistemas inmunológicos debilitados (Camacho, López, & Martínez, 2021).

5.5. Enfermedades transmitidas por el agua

Según la (OMS, 2021), el agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población

a riesgos prevenibles para su salud. Esto es especialmente cierto en el caso de los centros sanitarios en los que tanto los pacientes como los profesionales quedan expuestos a mayores riesgos de infección y enfermedad cuando no existen servicios de suministro de agua, saneamiento e higiene.

La diarrea es la enfermedad más conocida que guarda relación con el consumo de alimentos o agua contaminados. Sin embargo, hay también otros peligros. Casi 240 millones de personas se ven afectadas por esquistosomiasis, una enfermedad grave y crónica provocada por lombrices parasitarias contraídas por exposición a agua infestada (OMS, 2021).

En muchas partes del mundo, los insectos que viven o se crían en el agua son portadores y transmisores de enfermedades como el dengue. Algunos de estos insectos, denominados vectores, crecen en el agua limpia, y los contenedores domésticos de agua de bebida pueden servir como lugares de cría (OMS, 2021).

5.6. Fuentes de abastecimiento de agua

Una fuente de agua se refiere al agua de origen (como ríos, arroyos, lagos, embalses, manantiales y aguas subterráneas) que proporciona agua a los suministros públicos de agua potable y a los pozos privados (US EPA , 2025).

5.6.1. Aguas superficiales

La captación de cuerpos de aguas superficiales como ríos, riachuelos, lagos y embalses son estructuras que sirven para captar agua y suministrarla de forma continua a una comunidad. El sistema puede hacerse tanto por gravedad, cuando la fuente escogida se encuentra por encima del lugar o a una altitud mayor que el punto de aprovechamiento del agua, como por bombeo, cuando la fuente se encuentre por debajo del nivel donde se encuentran los usuarios (Barrios Napurí Carlos & Lampoglia Cristina, 2009).

Los diversos tipos de captación de agua dependen, en gran parte, de las características que tenga la fuente, así como el caudal que se requiera, o lo que es lo mismo, de las características geológicas, hidrológicas y topográficas de la zona (Beat Stauffer & Dorothee Spuhler, 2020).

5.6.2. Aguas subterráneas

La captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes y pozos, excavados y tubulares.

Las fuentes subterráneas protegidas generalmente están libres de microorganismos patógenos y presentan una calidad compatible con los requisitos para consumo humano. Sin embargo, previamente a su utilización es fundamental conocer las características del agua, para lo cual se requiere realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos correspondientes (Barrios Napurí Carlos & Lampoglia Cristina, 2009).

5.7. Importancia de los tratamientos del agua

El tratamiento del agua ayuda a eliminar los contaminantes y las sustancias peligrosas del agua, haciéndola limpia y segura para beberla y utilizarla para otros fines. Por desgracia, casi 2.000 millones de personas en el mundo utilizan agua potable sin tratar o la obtienen de fuentes inseguras o contaminadas.

Disponer de sistemas para mejorar la calidad del agua ayuda a intervenir en estas situaciones y a prevenir incidentes causados por el agua insalubre, como enfermedades transmitidas por el agua y muertes. Por otra parte, el tratamiento de aguas también es útil para garantizar que el agua se reintroduzca en el ciclo de la naturaleza.

Uno de los usos finales de este proceso es devolver el agua de forma segura a fuentes medioambientales como ríos, lagos y océanos. Por supuesto, las instalaciones de tratamiento de agua deben asegurarse de que el agua está libre de sustancias nocivas antes de hacerlo para evitar la contaminación y otros problemas desastrosos para el medio ambiente, como la contaminación del agua (SafetyCulture, 2024).

5.8. Sistemas de potabilización

En tecnología del agua, el conjunto integrado de procesos y operaciones para la remoción de contaminantes o constituyentes establece el diseño de una planta de tratamiento de agua cruda para convertirla en agua potable o apta para el consumo

humano, o en un amplio concepto, un agua apta para la utilización de las actividades humanas o antrópicas. Es por ello que de acuerdo con la fuente de abastecimiento (agua superficial, agua subterránea, agua de lluvia e inclusive agua residual tratada), se aplicaran diversos tipos de tratamientos (Rodríguez, J., 2023) entre ellos:

- Preliminares: aplicados para remover constituyentes del agua y solidos voluminosos que pueden causar problemas en las operaciones y procesos posteriores.
- Primarios: aplicados para remover una parte de los sólidos sedimentables y no sedimentables, así como una fracción de la materia orgánica y algunos microorganismos patógenos.
- Secundarios: aplicados para remover solidos suspendidos, compuestos orgánicos biodegradables, nutrientes y microorganismos patógenos.
- Terciarios: aplicados para remover materiales tanto físicos como químicos disueltos o en suspensión que permanecen después del tratamiento convencional.

5.9. Tren de tratamiento

Un tren de tratamiento es una secuencia de procesos físicos, químicos y biológicos diseñados para eliminar contaminantes del agua antes de su utilización.

Este sistema se implementa en plantas de tratamiento con el objetivo de asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad requeridos por la legislación ambiental y las necesidades del consumidor. Cada etapa del tren de tratamiento tiene una función específica y está pensada para maximizar la eficiencia del sistema en conjunto. Su correcta operación y mantenimiento son clave para garantizar un tratamiento sostenible y efectivo (CONTYQUIM, 2025).

5.10. Elementos básicos para el diseño de una planta de tratamiento de agua

En una planta potabilizadora de agua, varios elementos trabajan en conjunto para garantizar que el agua cruda se transforme en agua potable segura y limpia (Hidrotec, 2025).

5.10.1. Bombas de captación

Las bombas de captación son responsables de extraer agua cruda desde su fuente, como un río, lago o pozo, y dirigirla hacia la planta para su tratamiento. Estas bombas deben ser capaces de manejar grandes caudales de agua de manera eficiente y confiable para garantizar un suministro constante.

5.10.2. Desbastadores y rejillas

En esta etapa, el agua cruda pasa a través de desbastadores y rejillas para eliminar materiales grandes como troncos, hojas y otros desechos flotantes que podrían obstruir o dañar equipos posteriores en el proceso de tratamiento.

5.10.3. Desarenadores en planta potabilizadora

Los desarenadores de una planta potabilizadora se utilizan para eliminar partículas de arena y sedimentos más finos del agua cruda, evitando posibles obstrucciones y desgastes en etapas posteriores del proceso de tratamiento.

5.10.4. Tanques de mezcla y reactores en planta potabilizadora

En estos tanques, se llevan a cabo procesos como la coagulación y la floculación, donde se agregan productos químicos al agua para ayudar a eliminar partículas y materiales suspendidos, preparándola para la siguiente etapa de tratamiento.

5.10.5. Reactores

Los reactores de una planta potabilizadora son unidades en las que se producen reacciones químicas controladas, como la coagulación o precipitación de partículas. Aquí, los productos químicos inyectados en los tanques de mezcla comienzan a reaccionar con las impurezas presentes en el agua.

5.10.6. Clarificadores o decantadores

Después de la coagulación y floculación, el agua se dirige a clarificadores o decantadores, donde las partículas floculadas se asientan en el fondo del tanque y se separan del agua clara mediante un proceso de sedimentación.

5.10.7. Filtros de arena y carbón activado en planta potabilizadora

El agua clarificada pasa a través de filtros de arena y carbón activado para eliminar partículas finas, materia orgánica y compuestos químicos que puedan quedar en el agua después de la sedimentación, mejorando así su claridad y calidad.

5.10.8. Filtros de carbón activo

Los filtros de carbón activo de una planta potabilizadora (también llamados de carbón activado) se especializan en eliminar contaminantes químicos, cloro, pesticidas, compuestos orgánicos volátiles (COV) y mejorar el sabor y olor del agua.

5.10.9. Sistemas de desinfección

Una vez filtrada, el agua se desinfecta para eliminar microorganismos patógenos y prevenir la contaminación microbiológica. Esto se puede lograr mediante la adición de cloro, dióxido de cloro, ozono o mediante procesos de irradiación UV.

5.10.10. Tanques de almacenamiento

El agua tratada en planta potabilizadora se almacena en tanques de almacenamiento antes de ser distribuida a través de una red de tuberías hacia los usuarios finales. Estos tanques garantizan un suministro constante de agua potable, incluso durante picos de demanda.

5.11. Sostenibilidad de los sistemas de agua potable

Para tener soluciones sostenibles debe plantearse una planificación integral, donde se tenga en cuenta la gestión integral de los recursos hídricos de la cuenca. Para la localidad debe tenerse una selección adecuada de la tecnología y organizando la participación y gestión comunitaria con enfoque de género e interculturalidad. La política financiera debe garantizar la operación y mantenimiento eficiente del sistema y, desde el ámbito local, se necesita un apoyo institucional continuo (Barrios Napurí Carlos & Lampoglia Cristina, 2009).

Los factores que se consideran clave para lograr la sostenibilidad de una infraestructura de agua y saneamiento en zonas rurales son:

- Tamaño de la comunidad.
- Demanda del sistema por la comunidad.

- Solución adecuada al problema.
- Baja complejidad del sistema.
- Calidad del diseño y de la obra.
- Capacidad de los beneficiarios para la administración, operación y mantenimiento de la solución adoptada.
- Capacitación a los operadores en el control de la calidad de agua para consumo.
- Apoyo externo para solución de problemas fuera del alcance de la capacidad local.

5.12. Características geográficas y geológicas de la comunidad

La comunidad de Gosen tiene una latitud de 12,215549, una longitud de -86,351002 y una altitud de 103. El clima en esta comunidad, según el índice de confort climático anual es muy cálido opresivo, con una marcada estación seca de 4 a 6 meses de duración, confinada principalmente entre los meses de noviembre a abril de cada año. Tal como se observa en la figura 1, la temperatura promedio se encuentra entre los 26° y 28.5 °C en los meses frescos. La precipitación varía entre los 1,000 y 1.400 mm de lluvia anuales, se puede clasificar el clima como semi húmedo (sabana tropical).

Figura 1

Rango de temperatura en el municipio de Mateare



Fuente: (INETER, 2005).

Esta comunidad no cuenta con ríos, los recursos hídricos más cercanos a la comunidad son las lagunas de origen volcánico Apoyeque y Xiloá, así como las costas del lago Xolotlán.

La ocurrencia de terremotos en Nicaragua obedece a la ubicación del país en el margen pacífico de la placa tectónica del Caribe. En Managua y sus alrededores se encuentran decenas de centros volcánicos en diferentes grados de actividad (INETER, 2005).

En la ciudad de Managua se encuentran zonas con pendientes muy inclinadas en la cercanía de los cráteres Tiscapa, Nejapa, Asososca, Valle de Ticomo y a lo largo de la falla Mateare (Ciudad Sandino). (INETER, 2005).

La falla Mateares es un escarpe de 900 m de altura, el más extenso de Nicaragua, que se encuentra en las Sierras de Mateare, al oeste del área de Managua. La falla Mateare se encuentra cerca de los cráteres Tiscapa, Nejapa, Asososca y Valle de Ticomo (Rodríguez, 2017).

Esta falla geológica activa conocida como falla Mateare, se proyecta con una dirección NW y SE, además el área de estudio se encuentra constituida por una serie de fallas que afectan a rocas Ignimbritas que pertenecen a la formación La Sierra, de edad terciaria y depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la formación Managua y Chiltepe ambas de edad cuaternaria, lo que caracteriza a la zona como un área con alta amenaza sísmica por fallas geológicas activas que atraviesan la falla Mateare (López Velásquez, Reyes Velásquez, & Ismael Dolores, 2020).

La falla de Mateare aparenta ser recién, de pocos miles de años, el desplazamiento aparentemente es vertical y del orden de los 900-1000m (representa aproximadamente la diferencia en elevación entre la cresta de la montaña y el lago de Managua). Se extiende a lo largo del escarpe al NE de la cordillera del Pacífico y aparentemente marca bordes SW de la depresión de Nicaragua. Hacia el norte de Mateare la falla desciende casi al nivel del lago desapareciendo (COWAN, 2000). Véase figura 2.

Figura 2

Falla sísmica de Managua, Nicaragua



Fuente: (INETER, 2005).

5.13. Economía y actividades productivas

Utilizando la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU rev. 4), se presentan las cinco actividades económicas que concentran el mayor número de establecimientos, que en el caso de Mateare están relacionadas a las actividades de servicio y comercio (55.2% de los establecimientos de la ciudad). Una de estas actividades se especializa en la venta al por menor en comercio no especializados con predominio de la venta de alimentos, bebidas tabaco, otras actividades de restaurantes y de servicio móvil de comidas, seguida suministro de vapor y de aire acondicionado, otra se dedica a las actividades de organizaciones religiosas y la última a la elaboración de productos de panadería.

Los establecimientos económicos generan 982 puestos de trabajo, de los cuales 570 (58.0%) son ocupados por mujeres y 412 (42.0%) por hombres (INIDE I. N., 2008).

En términos generales la mayoría del empleo que se genera en la ciudad de Mateare es permanente (43.9%), seguido por los trabajadores por cuenta propia (38.6%), los trabajadores no remunerados (8.7%), los patrones (5.3%), y los trabajadores registrados como temporales (3.6%).

Los trabajadores no remunerados normalmente son mano de obra familiar que ayuda en las actividades económicas sin devengar salarios. Al analizar la condición laboral por género, los hombres se emplean en un 60.4 por ciento como permanentes, 18.7 por ciento como cuenta propia, 9.2 como no remunerados, 7.0 por ciento como patrones y 4.6 por ciento como trabajadores temporales. Las mujeres por su parte, se emplean en un 53.0 por ciento como cuenta propia, como permanentes en 31.9 por ciento, el 8.2 por ciento no remuneradas, 4.0 por ciento son patronas, y el 2.8 por ciento como trabajadoras temporales (INIDE I. N., 2008).

Actualmente, no se dispone de información específica sobre la población económicamente activa (PEA) de la comunidad de Gosen del municipio de Mateare, Nicaragua. Sin embargo, podemos hacer una estimación considerando que cada familia en Mateare está compuesta, en promedio, por siete personas y que al menos tres de ellas tienen un trabajo.

Dado que Mateare tiene una población de 476 habitantes, esto sugiere que hay aproximadamente 68 familias (476 personas / 7 personas por familia). Si aplicamos el promedio de tres personas trabajadoras por familia, la PEA estimada sería de alrededor de 204 personas (68 familias x 3 personas trabajadoras por familia). Este cálculo proporciona una idea general de la actividad económica en el municipio en ausencia de datos específicos.

5.14. Calidad del agua

La calidad del agua debe ser evaluada antes de la construcción del sistema de abastecimiento. El agua en la naturaleza contiene impurezas, que pueden ser de naturaleza físicoquímica o bacteriológica y varían de acuerdo al tipo de fuente. Cuando las impurezas presentes sobrepasan los límites recomendados, el agua deberá ser tratada antes de su consumo. Además de no contener elementos nocivos a la salud, el agua no debe presentar características que puedan rechazar el consumo (Barrios Napurí Carlos & Lampoglia Cristina, 2009).

Se define como agua potable aquella que cumple con los requerimientos de las normas y reglamentos nacionales sobre calidad del agua para consumo humano y que

básicamente atiende a los siguientes requisitos (Barrios Napurí Carlos & Lampoglia Cristina, 2009):

- Libre de microorganismos que causan enfermedades.
- Libre de compuestos nocivos a la salud.
- Aceptable para consumo, con bajo contenido de color, gusto y olor aceptables.
- Sin compuestos que causen corrosión o incrustaciones en las instalaciones sanitarias.

5.14.1. Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua potable

- **Potencial de hidrogeno pH:** El potencial de hidrógeno, comúnmente conocido como pH, es un indicador esencial que revela el nivel de acidez o alcalinidad del agua, afectando de manera directa la solubilidad de los compuestos químicos, la corrosión en los sistemas de tuberías y la efectividad de los métodos de desinfección (Castillo, 2013).
- **Conductividad eléctrica:** La conductividad es una medida de la capacidad del agua para pasar una corriente eléctrica y se ve afectada por la presencia de sólidos inorgánicos disueltos, incluidos los iones que llevan una carga negativa o los iones que llevan una carga positiva (Meter, 2026).
Las mediciones de la conductividad son útiles para indicar la cantidad de iones disueltos presentes en una muestra de agua y pueden servir como medida de la calidad del agua. La medición de la conductividad en el agua puede ayudar a identificar la concentración de las soluciones, la pureza del agua, así como la detección de contaminantes (Meter, 2026).
- **Alcalinidad total:** La alcalinidad representa la capacidad del agua para neutralizar ácidos y se debe principalmente a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Este parámetro es importante porque permite mantener estable el pH del agua frente a cambios externos (Castillo, 2013).
- **Sólidos disueltos totales:** Los sólidos disueltos totales representan la suma de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas disueltas en el agua, incluyendo sales, minerales y metales. Este parámetro influye directamente en

el sabor del agua, su dureza y su aceptabilidad para el consumo humano (Castillo, 2013).

- **Oxígeno disuelto:** El oxígeno disuelto corresponde a la cantidad de oxígeno presente en el agua en forma libre y es un indicador del equilibrio biológico del recurso hídrico. En aguas destinadas al consumo humano no se establece un valor límite obligatorio para este parámetro según la NTON 03-004.
- **Color verdadero:** El color verdadero es la capacidad del agua para absorber radiación en el espectro visible causada por sustancias disueltas, excluyendo la contribución de partículas en suspensión. Se expresa en unidades de Pt-Co o Hazen y se determina tras eliminar la turbiedad de la muestra por filtración o centrifugación (Castillo, 2013).
- **Turbiedad:** La turbiedad es una medida físico-química que cuantifica la dispersión de la luz por partículas sólidas finas en suspensión en una muestra de agua. Se expresa en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) y se determina mediante turbidimetría (Castillo, 2013).

La turbidez es un parámetro crítico para el agua potable y es una de las pruebas más importantes que realizan las empresas de agua de todo el mundo. El monitoreo de la turbidez se utiliza para medir la calidad del agua potable y los cambios en su aspecto pueden deberse a diversos factores. La presencia de turbidez puede indicar que los filtros no funcionan correctamente, que hay un problema con el agua, una desinfección ineficaz, la necesidad de purgar las tuberías de la red o una coagulación y floculación deficientes (Meter, 2026).

- **Nitrato:** El nitrógeno-nitrato / nitrato ($\text{NO}_3^- \text{N}$ / NO_3^-) mide los iones nitrato (NO_3^-) en el agua, reflejando los niveles de contaminación por nutrientes y los riesgos potenciales para la salud. El nitrato mide la concentración de iones de nitrato (NO_3^-) en el agua, sirviendo como indicador clave de la contaminación por nutrientes y de la calidad del agua. El nitrato puede proceder de diversas fuentes, como los fertilizantes agrícolas, el vertido de aguas residuales y la escorrentía de residuos animales. Unos niveles elevados de nitrato en el agua pueden provocar problemas de salud adversos y contribuir a la eutrofización de los ecosistemas acuáticos (Meter, 2026).

- **Nitrito:** El nitrito-nitrógeno / nitrito ($\text{NO}_2^- \text{N}$ / NO_2) mide la concentración de iones nitrito (NO_2^-) en el agua, proporcionando información valiosa sobre los niveles de contaminación por nitrógeno y la calidad del agua. El nitrito puede proceder de diversas fuentes, como la escorrentía agrícola, los vertidos industriales y los efluentes de aguas residuales. Los niveles elevados de nitrito en el agua pueden suponer riesgos para la salud, sobre todo para los bebés, y pueden indicar contaminación por fertilizantes, sistemas sépticos o actividades industriales (Meter, 2026).
- **Cloruro:** El ion cloruro (Cl^-) es un anión inorgánico disuelto común en aguas naturales y residuales. Su determinación es parte de los análisis químicos del agua para evaluar la composición iónica y posibles influencias antropogénicas o salobres (Meter, 2026).
- **Hierro total:** El hierro total es un metal que se encuentra de manera natural en las aguas subterráneas como resultado de la disolución de minerales presentes en el suelo y las rocas. Aunque no representa un riesgo significativo para la salud en bajas concentraciones, su presencia en niveles elevados puede causar alteraciones organolépticas como coloración rojiza, sabor metálico, manchas en ropa y muebles sanitarios, además de incrustaciones en tuberías (Castillo, 2013).
- **Sulfato (SO_4^{2-}):** Los sulfatos son sales inorgánicas presentes naturalmente en el agua por la disolución de minerales como el yeso y la anhidrita; también pueden tener origen antropogénico. En concentraciones elevadas pueden generar sabor amargo, efectos laxantes en la población no acostumbrada y aumentar la corrosividad del agua (Castillo, 2013).
- **Dureza total:** La dureza total del agua es la suma de las concentraciones de los cationes divalentes disueltos, principalmente calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), expresada comúnmente como equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3). Representa la capacidad del agua para formar incrustaciones y consumir jabón, y puede incluir pequeñas contribuciones de otros metales como hierro o manganeso (Meter, 2026).

- **Calcio:** El calcio es un ion alcalinotérreo común en aguas naturales, resultante de la disolución de minerales como calcita y dolomita. En análisis de agua, la concentración de calcio está asociada a la dureza del agua y a su comportamiento químico, y se reporta normalmente en mg/L como Ca^{2+} (Castillo, 2013).
- **Magnesio:** El magnesio es otro catión divalente disuelto en el agua que, junto con el calcio, contribuye significativamente a la dureza total. Su presencia en el agua es resultado de la interacción con minerales como la dolomita y otros silicatos (Castillo, 2013).
- **Manganeso:** El manganeso en el agua es un metal de transición que puede encontrarse en solución como Mn^{2+} . Aunque su concentración suele ser menor que la del calcio y magnesio, se cuantifica en análisis químico del agua por su relevancia estética, tecnológica y toxicológica, ya que excesos pueden afectar color y sabor (Castillo, 2013).
- **Bicarbonatos:** Los bicarbonatos (HCO_3^-) son aniones de carbono inorgánico que están presentes en aguas naturales debido a la disolución de dióxido de carbono y de minerales carbonatados. Forman parte de la alcalinidad del agua y tienen un papel importante en el equilibrio ácido-base y en la dureza carbonatada (Meter, 2026).
- **Carbonatos:** Los carbonatos (CO_3^{2-}) son aniones poliatómicos de carbono que, al igual que los bicarbonatos, se generan en el agua por procesos geológicos y equilibrio con CO_2 disuelto. En condiciones normales de pH del agua potable, su concentración es menor que la de los bicarbonatos, pero ambos iones son fundamentales para definir la alcalinidad y parte de la dureza (Meter, 2026).
- **Sodio:** El sodio es un catión ampliamente distribuido en las aguas naturales y su presencia se asocia a la disolución de sales minerales y, en algunos casos, a la intrusión de aguas salinas. En concentraciones elevadas puede afectar el sabor del agua y representar un riesgo para personas con hipertensión arterial, enfermedades renales o cardiovasculares (Castillo, 2013).

- **Potasio:** El potasio (K^+) es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y la función biológica general, desempeñando un papel vital en diversos procesos fisiológicos. En el monitoreo de la calidad del agua, los niveles de potasio se monitorean para evaluar el contenido de nutrientes y los impactos potenciales en los ecosistemas acuáticos. Las concentraciones elevadas de potasio pueden ser el resultado de la escorrentía agrícola, el vertido de aguas residuales o la meteorización natural de rocas y minerales.

Aunque el potasio no suele considerarse un contaminante primario, unos niveles excesivos pueden contribuir a desequilibrios de nutrientes, floraciones de algas y alteraciones ecológicas en los entornos acuáticos. Monitorear los niveles de potasio ayuda a comprender la dinámica de los nutrientes, gestionar la calidad del agua y preservar la salud y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos (Meter, 2026).

- **Flúor:** El ion fluoruro (F^-) es un anión de flúor que se detecta y cuantifica en análisis de agua potable y ambiental. Su medición es importante porque niveles controlados pueden ser beneficios dentales y niveles elevados pueden ser perjudiciales para la salud ósea y dental (Castillo, 2013).

5.14.2. Parámetros microbiológicos de calidad del agua potable

Los coliformes constituyen un grupo de bacterias que son bastante frecuentes y, por lo general, no son peligrosas. Se pueden hallar en la tierra, vegetación y en el aparato digestivo de seres humanos y animales. No obstante, si se encuentran en el agua que se destina al consumo humano, esto indica una posible contaminación fecal, lo que podría señalar la presencia de microorganismos perjudiciales como *E. coli* (Castillo, 2013).

Estos microorganismos pueden ocasionar trastornos gastrointestinales tales como diarrea y calambres. Se les considera "bacterias indicadoras" debido a que son simples y baratas de detectar, lo que sugiere un posible peligro para la salud de la población. La detección de estas bacterias requiere investigar el origen de la contaminación para asegurar que el agua sea apta para el consumo (Castillo, 2013).

5.15. Normativas para calidad de agua

Las normas de calidad del agua establecen los requisitos básicos a los cuales debe responder la calidad del agua suministrada en los servicios para consumo humano y para todo uso doméstico, independientemente de su estado, origen o después de su tratamiento.

5.15.1. Normativa CAPRE

Las normas CAPRE (Comisión de Aguas Potables Regionales) son un conjunto de regulaciones que establecen los estándares de calidad para el agua potable en la región, con el objetivo de proteger la salud pública. Estas normas fijan límites permisibles para diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos, y son de cumplimiento obligatorio para los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados (CAPRE, 1994).

En Nicaragua el Ministerio de Salud de Nicaragua adopta las Normas Regionales CAPRE como base para la vigilancia y control de la calidad del agua potable. La Asamblea Nacional de Nicaragua también ha establecido normas y regulaciones relacionadas con la calidad del agua, complementando las normas CAPRE. La ley nicaragüense establece que la vigilancia sanitaria del agua potable es responsabilidad del Ministerio de Salud (Legislación de Nicaragua, 2021).

5.15.2. Normativa NTON 05-007-98

La NTON 05-007-98 es la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para la clasificación de los recursos hídricos, estableciendo los niveles de calidad exigibles para diferentes usos. Esta norma se enfoca en definir parámetros para evaluar la calidad del agua en diversos cuerpos de agua, como lagos, ríos, acuíferos, y más (ANA, 2019).

Las normas NTON (Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense) sobre agua potable establecen los requisitos técnicos y sanitarios que debe cumplir el agua para ser considerada segura y apta para el consumo humano en Nicaragua. Estas normas regulan la calidad del agua en diferentes etapas, desde la fuente de abastecimiento hasta la distribución a los usuarios (MINSAL, 2022).

Es importante ya que permite establecer criterios claros para la gestión y protección de los recursos hídricos, garantizando su calidad para distintos fines.

5.15.3. Normativa NTON 03-004

La Norma Técnica Obligatoria NTON 03004 “Calidad del agua. Agua potable. Valores máximos admisibles”, aprobada en 2025, fue elaborada para establecer de forma específica los valores máximos de parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua potable en Nicaragua. Esta normativa actualiza y complementa el marco técnico nacional, que anteriormente no contaba con una norma obligatoria dedicada exclusivamente a los criterios de calidad del agua potable, aunque coexistían normas sobre clasificación de recursos hídricos (por ejemplo, la NTON 05 007-98) y normas sectoriales de agua envasada. La NTON 03004 constituye la referencia técnica vigente para asegurar la potabilidad del agua destinada al consumo humano en todo el país.

5.15.4. Normativa NTON 09 007 19

La NTON 09-007-19 es la Norma Técnica Obligatoria de Nicaragua que define las pautas y requerimientos técnicos para crear sistemas de suministro de agua potable en áreas tanto urbanas como rurales del país. Su propósito es asegurar que los proyectos relacionados con la recolección, transporte, almacenamiento, bombeo y distribución de agua se ajusten a estándares apropiados de cantidad, calidad y continuidad del servicio, garantizando un abastecimiento eficaz y seguro para el consumo humano. Esta norma abarca aspectos como el suministro por persona, proyección demográfica, periodos de diseño, criterios hidráulicos, especificaciones de materiales y normas técnicas generales, constituyendo el marco normativo actual para la planificación y diseño de sistemas de agua potable en Nicaragua.

VI. Metodología

El presente estudio se enmarcó dentro de un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de tipo aplicado. Se realizaron muestreos y análisis de calidad de agua en la comunidad Gosen, Mateare, Managua, con el objetivo de conocer su estado actual.

La muestra para estos análisis se tomó directamente de la fuente de abastecimiento, que es agua cruda sin tratar, ya que este sistema no cuenta con un mecanismo de desinfección integral.

Se empleó la técnica de muestreo de agua en campo, utilizando recipientes estériles para transportar la muestra. Se realizaron pruebas fisicoquímicas (pH, turbidez, conductividad, etc.), y microbiológicas (Detección de coliformes fecales y totales, E.coli).

Además, se integrarán otros elementos técnicos importantes como:

6.1. Diagnóstico de la comunidad

Se realizó un diagnóstico para conocer la situación socioeconómica de los habitantes de la comunidad Gosen, mediante la implementación de una encuesta, véase anexo 1, con el objetivo de caracterizar las condiciones de vida de la población y obtener información relevante que nos sirviera de base para el análisis y la propuesta planteada.

Se aplicó una encuesta estructurada, la cual estaba conformada por 6 ítems, compuesta por 16 preguntas en total, dirigidas a los habitantes de la comunidad. Esta herramienta permitió la obtención de datos primarios directamente de los habitantes, garantizando información actual y representativa de la realidad local.

6.1.1. Proyección de población

El cálculo del número de habitantes para los cuales se diseñó el sistema de agua potable es un parámetro básico en el cálculo del caudal de diseño para una comunidad, es necesario determinar las demandas futuras de una población para prever en el diseño las exigencias de las fuentes de abastecimiento, líneas de conducción, redes de distribución, equipo de bombeo y planta de potabilización.

El modelo geométrico para la proyección de población es el siguiente:

$$P_n = P_o (1 + r)^n \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

P_n : población del año “n”

P_o : población al inicio del periodo del diseño

r: tasa de crecimiento

n: números de años del periodo de diseño

6.1.2. Cálculo de dotación

La dotación se ha seleccionado en base a la población la cual es menor a 5000 habitantes, por lo cual la dotación de 20 g/hab/día. A continuación, se muestra la tabla de referencia para el cálculo de la dotación.

Tabla 1

Dotación según rango de población

Rango de población	Dotación	
	g/hab/día	L/hab/día
0-5000	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

Fuente: (NTON 09-007-19, 2023)

Para los consumos comerciales, públicos o institucionales e industrial, tomamos los porcentajes detallados en la tabla No.2 de la NTON 09-007-19.

Tabla 2

Porcentajes de acuerdo con la dotación doméstica diaria

Consumo	Porcentaje %
Comercial	7
Industrial	2
Público	7

Fuente: (NTON 09-007-19, 2023)

Debido a que la población futura es menor a 5000 habitantes, no se considera caudal para sistema contra incendios.

Basado en el cálculo de la dotación y la tabla No1 presentada anteriormente obtenemos los siguientes datos:

- Consumo doméstico (CD)
$$CD = N^{\circ} \text{ de habitantes} \times \text{dotación} \quad \text{Ec.2}$$
- Consumo comercial (CC)
$$CC = CD \times 7\% \quad \text{Ec.3}$$
- Consumo industrial (CI)
$$CI = CD \times 2\% \quad \text{Ec.4}$$
- Consumo público o Institucional (CP)
$$CP = CD \times 7\% \quad \text{Ec.5}$$
- Consumo Diario Promedio (CDP)
$$CDP = \text{Consumo Doméstico (CD)} + \text{Consumo Comercial (CC)} + \text{Consumo industrial (CI)} + \text{Consumo Público (CP)} \dots \text{Ec.6}$$
- Perdidas del sistema (PS)
$$PS = CDP \times 20\% \quad \text{Ec.7}$$
- Dotación máximo diario (DMD)
$$DMD = CPD + PS$$
$$DMD = CPD + 20\%CPD \quad \text{Ec.8}$$

- Demanda máximo horario (DMH)

LA NTON 09-007-19 indica que para localidades diferentes a Managua la DMH será equivalente al 250% del CPD

$$DMH = CPD \cdot 250\% \quad \text{Ec.9}$$

- Dotación de diseño

$$DD = DMD \frac{\text{gal}}{\text{dia}} \cdot 3.785 \frac{\text{L}}{1\text{gal}} \cdot \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} \cdot \frac{1\text{dia}}{24\text{h}} \quad \text{Ec.10}$$

6.2. Evaluación de resultados según los valores aceptables de las normativas CAPRE y NTON 05-007-98.

6.2.1. Procedimiento de los análisis de laboratorio

En el presente apartado se describen los métodos utilizados para la realización de los análisis, detallando los procedimientos técnicos, equipos empleados y criterios normativos aplicados. Esta descripción permite garantizar la validez, confiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos, asegurando que los análisis se realizaron conforme a estándares y normativas vigentes. Todos los análisis realizados son conforme a la normativa vigente NTON 03004.

6.2.1.1. Determinación de coliformes fecales, coliformes totales y E.coli

• Procedimiento:

Para los tres análisis se inicia con la prueba presuntiva, que consiste en organizar en una gradilla 15 tubos de ensayo que contengan medio de cultivo EC, posteriormente estos tubos deben ser rotulados con el código correspondiente de la muestra.

Para realizar las diluciones se deberá transferir con una pipeta estéril de 1ml de la muestra principal a un tubo con 9 ml de agua de dilución, este mismo procedimiento se debe realizar cuando se requiere preparar más diluciones, se toma 1 ml de muestra de la dilución anterior (10^{-1}) y se agrega a otro tubo que contiene 9 ml de agua de dilución (10^{-2}), esta operación se realizará de acuerdo al número de diluciones que se requieran según sea el tipo de agua a analizar.

Se ordenan los frascos conteniendo las diluciones en secuencia decreciente de concentración (de mayor a menor dilución). Se procede de la misma forma inoculando de la muestra más diluida a la más concentrada, utilizando la misma pipeta. Después

de incubarlo por 48 ± 3 horas, se retiran los tubos positivos y se anotan los resultados obtenidos, los tubos contaminados pasan a la prueba confirmativa.

En la aplicación de esta prueba se realiza de la misma manera que la prueba confirmativa, solo que esta vez solo se utilizan tubos con medio para los tubos que salieron positivos en la prueba presuntiva.

En este paso se utiliza un medio diferente para cada análisis, para los coliformes totales se utiliza medio de cultivo CVBB (Caldo Verde Brillante Bilis de Buey) al 2%. Para los coliformes fecales se utiliza medio de cultivo EC (Escherichia Coli MC). Y para el E.Coli se utiliza el medio de cultivo ECM al 2% (Escherichia Coli MUG).

Se marca los tubos correspondientes a cada tubo positivo de caldo de EC de la prueba presuntiva. Se agita muy bien cada tubo de coliforme total presuntivo positivo en el vortex y con un asa de níquel-cromo, previamente esterilizada, se extrae de 2-3 asadas del material y se inocula en el tubo. Después de inocular los tubos positivos, se incuba en un periodo de 24h a 48 a temperatura de $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, se lee y anota resultado.

6.2.1.2. Determinación de alcalinidad Total

La alcalinidad funciona para medir la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos. El procedimiento se realiza midiendo 50ml de la muestra de agua a analizar, en un matraz de 100ml con un magneto, se coloca en un agitador y se le agregan 3 gotas de fenolftaleína y 10 gotas de indicador de alcalinidad T y se titula con ácido sulfúrico 0.02N, hasta que llegue a un viraje naranja claro.

6.2.1.3. Determinación de dureza total

La dureza del agua es un indicador relacionado con los minerales que contiene esta, es más dura cuanto mayor sea la cantidad de minerales. El procedimiento se realiza midiendo 25ml del agua cruda y esta se afora en una probeta hasta 50ml con agua destilada, se pasa a un matraz de 100ml con un magneto, se le agregan 2ml de solución amortiguadora y una pizca de negro de eriocromo y se torne de color rosado se coloca en el Dosificador y se titula hasta que tenga viraje azul/celeste.

6.2.1.4. Determinación de calcio (Ca⁺)

La presencia de calcio en proporciones muy altas en el agua, genera lo que se conoce como aguas duras. Este procedimiento se realiza midiendo 10ml de la muestra y se afora en una probeta hasta 50ml con agua destilada, se pasa a un matraz de 100ml con un magneto, se le agregan 2ml de hidróxido de sodio 1N y una pizca de murexida, y se torne de color rosado claro, se coloca en el... y se titula hasta que tenga viraje morado.

6.2.1.5. Determinación de Sulfatos (SO₄)

La presencia del ion sulfato en el agua causa un característico, que afecta las características organolépticas de esta, además, niveles muy altos provocan un efecto laxante. Este procedimiento se realiza midiendo 50 ml de la muestra cruda, se le agrega buffer A o B y una pizca de cloruro de Bario. Se coloca en un agitador y se deja por 1 minuto de agitación y luego 5 minutos de reposo. Se colocan 25 ml en una celda de medición y le lee en el equipo (Turbidímetro).

Nota 1: Calibrar el equipo si no se ha usado anteriormente.

Nota 2: medir conductividad eléctrica antes del análisis, en dependencia de esto se determina que buffer utilizar.

- Conductividad menor a 350 se utiliza buffer B.
- Conductividad mayor a 400 se utiliza buffer A.

Rango de valores según buffer a utilizar:

Buffer A: 6.45-116

Buffer B: 30.1-63.5

6.2.1.6. Medición de conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica proporciona una evaluación de la concentración total de iones disueltos en el agua. Esta se mide agregando 80ml en un beaker y se coloca en un agitador, nos aseguramos de limpiar los electrodos del conductímetro, dejamos agitando 2 minutos, apagamos y leemos la conductividad.

Nota: Calibrar el equipo si no se ha usado antes o ya pasaron 24hrs.

6.2.1.7. Determinación de Hierro Total

Los niveles altos de hierro pueden permitir el crecimiento de bacterias de hierro, que producen una sustancia que puede obstruir filtros y tuberías. Antes de empezar con el procedimiento se tiene hacer un lavado a la cristalería a ocupar, esto se hace agregando 50ml de hierro lavado a matraces y balones de aforo, se dejan en reposo por 10 minutos y se procede a enjuagar con agua destilada, repitiendo 3 veces el enjuague. Todo esto se realiza en la campana de extracción de gases.

Luego del lavado de la cristalería, se miden 50ml de la muestra cruda en una probeta y se pasa a un matraz de 100ml, se le agrega 1ml de hidroxilamina y 2ml de ácido clorhídrico concentrado. Se coloca cada matraz en un calentador/agitador y se pone a digerir hasta reducir a 10ml aproximadamente. Luego se deja enfriar por 10 minutos.

Se agregan 10ml de acetato de amonio y 4ml de fenantrolina, se cruza del matraz al balón de aforo y se afora hasta 50ml, se coloca nuevamente en el matraz y se deja reposar por 10 minutos. Se lee en el espectrofotómetro con celdas pequeñas de vidrio.

6.2.1.8. Determinación de Manganeseo

El manganeseo puede hacer que el agua luzca mal, huela mal o tenga mal sabor. El procedimiento para determinar manganeseo consiste en tomar 10ml de muestra y colocarlo en una celda de medición, agregar 1 sobre de reactivo (ácido ascórbico), agitar. Luego, agregar 12 gotas de alcalino de cianuro y 12 gotas de solución indicadora. Agitar y dejar en reposo 2 minutos. Leer en el espectrofotómetro.

6.2.1.9. Determinación de Cloro Residual

El cloro residual que queda disponible después de haber efectuado la desinfección del agua, es decir, la destrucción o inactivación de los microorganismos presentes. El procedimiento para determinar cloro consiste en agregar 10ml de muestra de agua a una celda de medición, agregar 1 sobre de DpD, dejar reposando 2 minutos, aforar a 25ml y leer el resultado.

6.2.1.10. Determinación de Silicio

El silicio puede afectar en los sistemas de agua potable en la formación de depósitos en tuberías y equipos. El silicio puede precipitarse y formar incrustaciones, especialmente en sistemas de alta temperatura como calderas o calentadores de agua. El procedimiento para determinar silicio consiste en pesar 200mg de bicarbonato de sodio, para cada muestra y el blanco. Medir 50ml de muestra de agua con una probeta plástica y agregar a una capsula de porcelana grande, agregar los 200mg de bicarbonato pesados anteriormente, disolver y colocar en baño maría hasta que las capsulas estén parcialmente secas.

Luego del baño maría, agregar 2.4ml de ácido sulfúrico, se pasa de la capsula a la probeta plásticas y se afora a 50ml, agregar un magneto y colocar en un agitador, mientras se agita agregar 1ml de ácido clorhídrico y 2ml de molibdato de amonio. Dejar reposar 10 minutos, empezar agitación y agregar 2ml de ácido oxálico; apagamos agitación y dejar en reposo por 2 minutos. Posteriormente a esto, agregamos 10ml en una celda de medición y utilizamos el colorímetro en el programa 89.

6.2.1.11. Determinación de solidos suspendidos totales (SST)

La cantidad de sólidos en suspensión presente en el agua es un indicador esencial de su calidad. La arena, las bacterias, las esporas y los precipitados químicos contribuyen a la turbidez del agua. El procedimiento para determinar SST consiste en, primeramente, encender el horno y verificar que se encuentra en 103-105°C. Pesar una capsula de porcelana pequeña, colocándole un filtro, anotar el peso inicial de la capsula con el filtro, medir 100ml de muestra con el filtro que se pesó anteriormente, tomar el filtro utilizado y poner nuevamente en la capsula.

Luego de esto, ponemos en el horno por 1 hora, sacar y pesar y anotar el peso final. Si el peso inicial es mayor que el peso final, repetir proceso.

- **Fórmula para calcular SST**

$$\frac{Pf-Pi}{Vm}(1000) \quad \text{Ec.11}$$

Nota: Hacer todo el procedimiento con pinzas, tratar de no tocar directamente las capsulas con las manos.

6.2.1.12. Determinación de Nitratos (NO₃) y Nitritos (NO₂)

Los niveles de nitratos y nitritos en aguas naturales son un indicador importante de la calidad del agua. Ambos se encuentran relacionados con el ciclo del nitrógeno de suelo y plantas superiores, aunque los nitratos son añadidos por medio de fertilizantes que puede ocasionar que los niveles de estos aumenten. Para determinar nitratos y nitritos se miden 100ml de la muestra, se utilizan matraces de 100ml para nitratos, medir 50ml de la muestra y verter en el matraz, agregar 1ml de HCL y dejar reposar 5 minutos y para nitritos se utilizan matraces pequeños, medir 25ml de la muestra y verter en el matraz, agregar 1ml de reactivo colorante, dejar reposar 15 minutos, si se torna de un color rosado hay presencia de nitritos. Estos valores se leen en el espectrofotómetro.

6.2.1.13. Determinación de color verdadero

La medición del color es importante para conocer el nivel de materia orgánica natural que hay en el agua, ya que su presencia es un factor de riesgo de generación de subproductos nocivos de la desinfección del agua. El procedimiento para determinar consiste en filtrar 20ml de la muestra, llenar 10ml en una celda de medición y leer en el espectrofotómetro.

6.2.1.14. Determinación de Sólidos Totales (ST)

Para determinar ST se pesa una capsula de porcelana, anotar el peso inicial en mg, se miden 50ml de la muestra y se agregan a la capsula de porcelana, poner en baño maría hasta que la capsula quede completamente seca y luego ponerla en el horno por 1 hora, antes revisar la temperatura del horno, debe ser 105°C, luego de la hora dejar enfriar 5 minutos, pesar y anotar el peso final y hacer el cálculo para obtener el valor correspondiente.

- **Fórmula para calcular ST**

$$\frac{P_f - P_i}{V_m} (1000) \quad \text{Ec.12}$$

6.2.1.15. Determinación de Potasio (K⁺)

El aumento de potasio en el agua debe dar lugar a una inspección de la construcción del pozo y a una prueba de detección de bacterias coliformes. El procedimiento para determinar Potasio consiste en medir 40ml de la muestra en una

probeta de 50ml y luego agregar en un vasito de medición, agregar 0.8 ml de estándar K diluido (Potassium ISA), colocar los electrodos correctamente y leer en el ionizador de agua.

6.2.1.16. Determinación de Fluoruro (FI-)

Toda el agua tiene flúor de manera natural, pero las cantidades varían. Dado que la mayoría del agua no tiene suficiente flúor natural como para prevenir las caries, muchos pueblos y ciudades le agregan flúor a su suministro de agua. El procedimiento para determinar consiste en medir 20ml de la muestra en una probeta de 50ml y luego agregar en un vasito de medición, agregar 20ml de estándar (Fluoride ISA), colocar los electrodos correctamente y leer en el ionizador de agua.

6.2.1.17. Determinación de Cloruro (Cl -)

La presencia de cloruro en agua de consumo puede deberse a causas naturales, dependiendo de las características de los terrenos que atraviese y a la disolución de minerales en el suelo y rocas, pero su concentración puede incrementarse debido a causas antropogénicas. El procedimiento para determinar Cloruro consiste en medir 40ml de la muestra en una probeta de 50ml y luego agregar en un vasito de medición, agregar 0.8 ml de estándar (Cloride ISA), colocar los electrodos correctamente y leer en el ionizador de agua.

6.2.1.18. Determinación de Fosforo Total (PT)

Los altos niveles de fosfatos presentes en el agua de captación pueden acelerar el crecimiento de distintos tipos de algas y plantas, lo que puede provocar la eutrofización y la proliferación de algas. El procedimiento para determinar fosforo consiste en medir 35ml en una probeta plástica, incluyendo un blanco, agregar 10ml de Vanadato molibdato y aforar hasta 50ml, tapar con Parafilm, agitar 3 veces y dejar 10 minutos en reposo. Agregar 25ml en una celda de medición y leer en el colorímetro, en el programa 77.

6.2.1.19. Determinación de Sulfuro de Hidrogeno (H₂S)

El sulfuro de hidrogeno es resultado de la descomposición y las reacciones químicas con el suelo y las rocas. Producido por ciertas "bacterias de azufre" en el agua subterránea, los pozos o el sistema de tuberías. Producido por bacterias de

azufre o reacciones químicas dentro de los calentadores de agua. El procedimiento para determinar H₂S consiste agregar 10ml de la muestra en una celda de medición, incluyendo un blanco, agregarle 1ml de reactivo 1 (sulfuro) y 1ml de reactivo 2, agitar y dejar reposar 5 minutos. Leer en el colorímetro en el programa 93.

6.2.1.20. Determinación de Sólidos Disueltos Totales (SDT)

El procedimiento para determinar SDT consiste en, inicialmente encender el horno y verificar que esté en 180°C, pesar (mg) una capsula de porcelana grande y anotar el peso inicial, filtrar 20ml de la muestra y agregar en la capsula de porcelana, poner en baño maría hasta que se seque completamente y llevar al horno por 1 hora, colocar en el desecador para enfriar y luego pesar nuevamente, anotar en peso final y hacer el cálculo para obtener el valor final.

- **Fórmula para calcular SDT**

$$\frac{Pf-Pi}{Vm} (1000) \quad \text{Ec.13}$$

6.2.1.21. Determinación de Sólidos Sedimentables (SSed)

Para determinar S_{Sed} se utilizan conos de sedimentación, se les agrega 1000ml de la muestra, se agita bien antes de verter, dejar reposar 1 hora y luego se visualiza hasta que valor o medida están los sólidos y se anota el valor.

6.2.2. Marco normativo aplicable y análisis comparativo

Los resultados obtenidos en los análisis de calidad de agua fueron comparados con los valores establecidos en las normativas mencionadas, con el fin de determinar el cumplimiento de los parámetros permisibles.

En nuestros objetivos se planteo la utilización de las normativas CAPRE y NTON 05-007-98, pero debido a las actualizaciones se decidió utilizar la normativa actual vigente NTON 03-004.

Tabla 3*Parámetros de calidad de acuerdo a normativa CAPRE*

Parámetros	Valor recomendado	Valor admisible
pH	Min 6.5 y Max 8.5	Min 6.5 y Max 8.5
Sulfatos	25mg/L	250mg/L
Solidos totales disueltos	-	1000mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	-	-
Manganeso	0.1mg/L	0.5mg/L
Color verdadero	<1 U pt-Co	<15 U pt-Co
Turbiedad	1NTU	5NTU
Hierro total	-	0.3mg/L
Coliformes totales	negativo	negativo
Coliformes fecales	negativo	negativo
E. Coli	negativo	negativo
Nitratos	25mg/L	50mg/L
Potasio	-	10mg/L
Oxígeno disuelto	-	8.0mg/L
Alcalinidad total	-	-
Conductividad	-	400µS/cm
Amonio	0.05 mg/L	0.5 mg/L
Olor	0	3 a 25°C
Sabor	0	3 a 25°C
Cloro residual	0.5 a 1.0 mg/L	(c)
Cloruros	25 mg/L	250 mg/L
Calcio	100 mg/L CaCO ₃	-
Cobre	1.0 mg/L	2.0 mg/L
Magnesio	30 mg/L CaCO ₃	50mg/L CaCO ₃

Sodio	25 mg/L	200 mg/L
Temperatura	-	18 a 30°C
Zinc	-	3.0 mg/L
Nitritos	-	0.001 a 3.0 mg/L
Manganeso	0.001 mg/L	0.5 mg/L
Fluoruro	-	0.7 a 1.5 ² mg/L
Sulfuro de hidrogeno	-	0.05 mg/L
Dureza	400 mg/L CaCO ₃	-
Aluminio	-	0.2 mg/L
Mercurio	-	0.001 mg/L
Cianuro	-	0.05 mg/L

Fuente: (CAPRE, 1994) ¹

Tabla 4

Parámetro de calidad de acuerdo a normativa NTON 05-007-98

Parámetros	Limite o rango máximo	
	Categoría 1A	Categoría 1B
pH	Min 6.0 y Max 8.5	Min 6.0 y Max 8.5
Sulfatos	250mg/L	400mg/L
Solidos totales disueltos	1000mg/L	1500mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	2.0mg/L	5.0mg/L
Manganeso	0.5mg/L	-
Color verdadero	<15 U pt-Co	<150 U pt-Co
Turbiedad	>5NTU	>250NTU

¹ (b) Cloro residual libre

(c) 5 mg/L con base en evidencias científicas las cuales han demostrado que este valor “residual” no afecta la salud. Por otro lado, cada país deberá tomar en cuenta los aspectos económicos y organolépticos en la interpretación de este valor.

Hierro total	0.3mg/L	3mg/L
Coliformes totales	(*)	(**)
Coliformes fecales	(+)	(++)
E. Coli	-	-
Nitratos	10.0mg/L	-
Potasio	-	-
Oxígeno disuelto	>5.0mg/L	-
Alcalinidad total	-	-
Conductividad	-	-
Amonio	-	-
Olor	-	-
Sabor	-	-
Cloro Residual	-	-
Cloruros	250 mg/L	600 mg/L
Calcio	-	-
Cobre	-	2.0 mg/L
Magnesio	-	-
Sodio	-	200 mg/L
Temperatura	-	-
Zinc	-	5.0 mg/L
Nitritos	-	10.0 mg/L
Manganeso	-	0.5 mg/L
Fluoruro	Min 0.7 a máx 1.5 mg/L	<1.7 mg/L
Sulfuro de hidrogeno	-	-
Dureza	-	400 mg/L
Aluminio	-	1.0 mg/L
Mercurio	-	0.01 mg/L
Cianuro	-	0.2 mg/L

Fuente: (CNNC, 2000) ¹

Tabla 5

Parámetro de calidad de acuerdo a normativa NTON 03-004

Parámetros	Unidad	Valor admisible
Coliformes Totales (NMP/100ml)	---	Ausente
Coliformes fecales	NMP/100 mL	<1.8
<i>Escherichia coli</i> (E. coli)	NMP/100 mL	<1.8
Potencial de Hidrógeno (pH)	Valor pH	6.5-8.5
Conductividad Eléctrica	μS/cm	1700
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	615
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	900
Oxígeno disuelto	mg/L	NE
Color verdadero	mg/L (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Nitrato	mg/L	50
Nitrito	mg/L	0.1
Cloruro	mg/L	250
Hierro total	mg/L	0.3
Sulfato	mg/L	250
Dureza total	mg/L CaCO ₃	500
Calcio	mg/L	120
Magnesio	mg/L	60
Manganeso	mg/L	0.4
Bicarbonatos	mg/L	750
Carbonatos	mg/L	20
Sodio	mg/L	200
Potasio	mg/L	30
Flúor	mg/L	1

Fuente: (Nicaragua, 2025)

6.2.3. Análisis de balance iónico

El balance iónico en el análisis de agua potable es una herramienta fundamental para asegurar la precisión en el estudio químico evaluando su calidad.

Este análisis consistió en comparar la carga positiva total con la carga negativa total de las sustancias iónicas principales del análisis, en este debe existir un equilibrio de carga electroquímica. El porcentaje del balance iónico no debe exceder el 5%.

$$E = \frac{\Sigma \text{aniones} - \Sigma \text{cationes}}{\Sigma \text{aniones} + \Sigma \text{cationes}} \quad \text{Ec.14}$$

$$\frac{meq}{1} = \frac{\frac{mg}{L}}{peso\ molecular} \cdot valencia \quad Ec.15$$

6.3. Diseño y cálculos de dimensiones de equipos

Los cálculos para dimensionar cada equipo se realizaron al definir el tren de tratamiento adecuado para la comunidad, estos consisten en los cálculos de todos los equipos que corresponde a cada etapa del sistema de tratamiento tomando en cuenta las condiciones de diseño.

6.3.1 Cálculos para filtro de sedimentos

- Área transversal del tanque

Para un tanque cilíndrico:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad Ec.16$$

- Tasa de filtración

$$tasa\ de\ filtración = \frac{Q}{A} \quad Ec.17$$

- Volumen del medio filtrante

$$V_{MF} = A \times h \quad Ec.18$$

- Volumen de expansión del medio (retrolavado)

$$V_{exp} = V_{MF} \times \%_{exp} \quad Ec.19$$

- Volumen total requerido dentro del tanque

$$V_{req} = V_{MF} + V_{exp} + V_{grava} \quad Ec.20$$

- Volumen geométrico del tanque

$$V_{tanque} = A \times H \quad Ec.21$$

- Criterio del diseño

$$V_{tanque} \geq V_{req} \quad Ec.22$$

Este ajuste es comercial del tanque estándar, establecido por Turbidex.

- Caudal de retrolavado

$$Q_{bw} = A \times tasa\ de\ retrolavado \quad Ec.23$$

El valor del caudal de retrolavado utilizado es un factor de seguridad para expansión real del Turbidex.

- **Tiempo de contacto (EBCT)**

$$EBCT = \frac{V_{MF}}{Q} \quad \text{Ec.24}$$

6.3.2 Cálculos para dosificación de cada tanque de almacenamiento

- **Ecuación para determinar dosis de hipoclorito de calcio**

$$P_{cloro} = \frac{V_{agua} * C_{deseada}}{10 * \%_{cloro\ concentrado}} \quad \text{Ec.25}$$

Donde:

- P_{cloro} = Cantidad de hipoclorito de calcio para desinfectar
- V_{agua} = Volumen en litro de agua a desinfectar (L)
- $C_{deseada}$ = concentración de cloro deseada (mg/L)
- $\%_{cloro\ concentrado}$ = porcentaje de cloro utilizado
- 10 es un factor de conversión para obtener el peso en gramos

6.4. Desarrollo de estrategia de operación y mantenimiento para un sistema de tratamiento de agua.

Se definió un procedimiento operativo estándar capacitando a la población para el uso adecuado del sistema. Realizando un plan de mantenimiento preventivo y correctivo, así mismo, se desarrolló un manual de mantenimiento que garantice eficiencia y seguridad, permitiendo optimizar los recursos, minimizar costos de reparación e incrementar la durabilidad de los equipos.

VII. Resultados

7.1. Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua de la comunidad

El diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable existente en la comunidad de Gosen, municipio de Mateare, se llevó a cabo a partir de la recopilación y análisis de información proporcionada tanto por los miembros responsables del Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS) como por los propios pobladores de la comunidad. Este proceso permitió obtener una visión más clara sobre el estado actual de la infraestructura, así como de las principales limitaciones y fortalezas que presenta el sistema.

La principal fuente de suministro de agua para la comunidad de Gosen proviene de la captación subterránea a través de un pozo perforado, el cual fue construido en el año 2011 como una solución inicial a las necesidades de acceso al recurso hídrico. Posteriormente, en el año 2020, se implementó la instalación de la sarta de bombeo junto con la construcción de la red de distribución, lo que permitió ampliar el alcance del servicio y facilitar el acceso al agua en los hogares de los habitantes.

Este sistema, aunque representa un avance significativo en comparación con las condiciones anteriores, requiere un análisis detallado de su funcionamiento, mantenimiento y capacidad de cobertura, a fin de identificar posibles mejoras que garanticen la sostenibilidad del servicio y la calidad del agua suministrada.

7.1.1. Descripción general del municipio

El municipio de Mateare fue fundado en el año de 1898. Cuenta con una extensión territorial de 297.4 km², está ubicado entre las coordenadas 12° 14' 21" de latitud norte y 86° 25' 45" de longitud oeste, a una altitud de 60 m s. n. m. (INIFOM, 2023).

El municipio de Mateare cuenta con una población estimada para el año 2024 de 70,484 habitantes para una densidad poblacional de 237 habitantes por Km², el 51.1% de la población es femenina y el 37.7% es menor de 20 años. (MINSA, 2024).

Limita al norte con el lago Xolotlan, al sur con Villa El Carmen, al este con con Ciudad Sandino y al oeste con Nagarote.

7.1.2. Clima y precipitación

El clima del municipio es cálido, se puede caracterizar como tropical de sabana, con una marcada estación seca de 4 a 6 meses de duración, confinada principalmente entre los meses de noviembre a abril de cada año. La temperatura promedio se encuentra entre los 28° y 28.5°C en los meses frescos. La precipitación varía entre los 1,000 y 1,200 mm y una altitud sobre el nivel del mar de 50 m.

La cuenca sur del municipio es una zona montañosa, perteneciente a la cordillera de los Marrabios. La parte norte la ocupa el lago Xolotlán de Managua. El municipio cuenta con dos lagunas: Xiloá y Apoyeque y con 3 cerros: Cerro las lomas, Cerro Tolpetate, Los Cerros Cuape y volcán Apoyeque o Chiltepe.

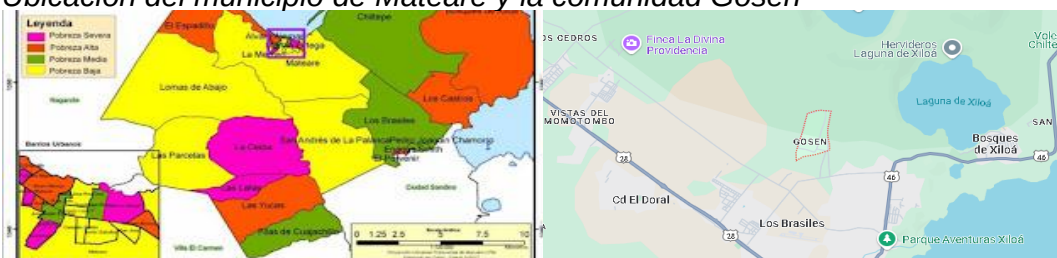
7.1.3. Descripción de la comunidad

La comunidad donde se desarrolló esta investigación lleva por nombre Gosen, ubicado en el municipio de Mateare en Managua. La comunidad se encuentra a unos 20 kilómetros al norte de la ciudad de Managua, en la zona rural del municipio. Esta comunidad cuenta con una población de 369 habitantes (dato estimado con información tomada de la página SIASAR).

El acceso principal de la entrada a la comunidad es de pavimento, pero la zona más profunda cuenta con caminos de tierra irregulares por toda la superficie. Por un lado, la infraestructura de las viviendas está edificadas de concreto hasta cierto punto, otras de madera y zinc, varía por la economía, ya que se toman en cuenta los factores del tipo de trabajo y la cantidad de personas que hay en el hogar. En la figura 3 se presenta el mapa con la localización de la comunidad.

Figura 3

Ubicación del municipio de Mateare y la comunidad Gosen



Por otro lado, la comunidad se abastece por medio de un acueducto de bombeo que se encuentra en una zona central de la comunidad, donde por medio de una red de distribución se dirige a tres tanques de almacenamiento con los que cuentan.

Así mismo, Gosen, por ser una comunidad muy pequeña consta de solamente las casas de los habitantes, no cuentan con ningún otro tipo de establecimiento como lo son escuelas, centros de salud, centros policiales, entre otros, por lo cual los habitantes de esta comunidad al necesitar cualquier tipo de servicio deben de dirigirse hasta el centro de Mateare, el principal medio de transporte de las personas son las bicicletas y motocicletas.

7.1.4. Población y vivienda

De acuerdo con los datos obtenidos a través de las encuestas aplicadas, la comunidad cuenta actualmente con 136 familias, que en conjunto suman un total de 369 habitantes. En la tabla 6 se observa la distribución de integrantes por familia.

Tabla 6

Población actual en la comunidad

Nº de integrantes por familia	Nº de familias	Total de personas
2	73	146
3	42	126
4	18	72
5	3	15
Total	136	369

Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que la comunidad no dispone de centros escolares ni de un centro de salud público. Por esta razón, los pobladores deben trasladarse hacia la comunidad vecina de Los Castros, donde se encuentra disponible un centro de salud y una escuela pública que atienden las necesidades básicas de educación y atención médica.

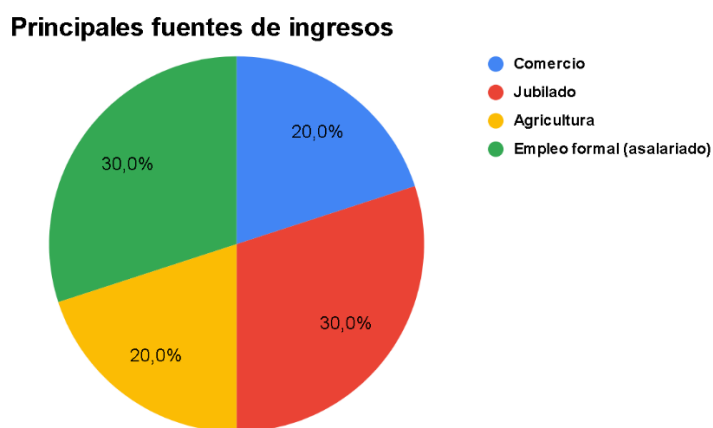
7.1.5. Actividad económica

Las principales actividades económicas de esta comunidad, se centran en un conjunto de labores que permiten a los habitantes sostener su economía familiar y garantizar su bienestar. Entre estas destacan el comercio local, donde las familias se dedican a la crianza de gallinas y cerdos, vendiendo tanto los animales como sus productos, como huevos y carne, lo que constituye una fuente importante de ingresos.

La agricultura también juega un papel fundamental, con el cultivo de granos y otros productos básicos que satisfacen necesidades alimenticias y generan recursos adicionales. Además, varios miembros de la comunidad cuentan con empleos formales, recibiendo ingresos regulares a través de salarios, mientras que otros dependen de los beneficios de la jubilación para su sustento. En la figura 4 se puede observar el porcentaje correspondiente a cada actividad económica de la comunidad.

Figura 4

Principales fuentes de ingreso de los habitantes



Fuente: (Elaboración propia)

7.1.6. Servicios existentes

En base a la encuesta realizada, los habitantes de dicha comunidad cuentan con diversos servicios básicos. Entre ellos se encuentra el servicio de energía eléctrica, que abastece a la mayoría de las viviendas, así como el suministro de agua potable, aunque este se distribuye únicamente en horarios establecidos, los días martes, jueves y sábados, de 6 de la mañana a 6 de la tarde.

Algunas familias también disponen de servicios de internet y televisión por cable, lo que facilita el acceso a la información y el entretenimiento. Sin embargo, la comunidad enfrenta dificultades importantes en cuanto al alumbrado público, ya que este es deficiente y, en muchos sectores, simplemente no funciona, lo que representa un riesgo y limita la seguridad durante la noche.

7.1.7. Transporte

Con relación al transporte público, la comunidad presenta dificultades significativas, ya que no existe ningún autobús que llegue directamente a la localidad. En el pasado, se contaba con un servicio de transporte regular, pero debido a la disminución en la cantidad de usuarios, este dejó de operar con el tiempo. Como resultado, los habitantes dependen principalmente de caponeras y mototaxis para movilizarse hacia otras zonas, aunque estos medios de transporte implican un costo elevado, lo que limita la accesibilidad y representa un desafío para quienes necesitan desplazarse con frecuencia por motivos laborales, educativos o de atención médica.

7.1.8. Salud

En la comunidad de Gosen, los principales problemas de salud identificados a través de las encuestas realizadas se relacionan principalmente con enfermedades estomacales (diarrea, vomito, dolor abdominal), que se asumen derivadas del consumo de agua sin un adecuado proceso de cloración. También se presentan con frecuencia casos de gripe, afecciones respiratorias y fiebre, los cuales afectan a la población en general. En los adultos mayores destacan enfermedades crónicas como la diabetes y la hipertensión, que representan un riesgo significativo para su bienestar.

7.1.9. Aspectos socio organizativos

La comunidad tiene un nivel medio de actividades organizativas, predominando las reuniones del Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS), que se reúnen una vez al mes para discutir la gestión de recursos de la comunidad. También las reuniones que realiza la alcaldía del municipio para abordar los problemas que hay en la comunidad y buscar soluciones a los mismos. En estas actividades participa el 70% de la población.

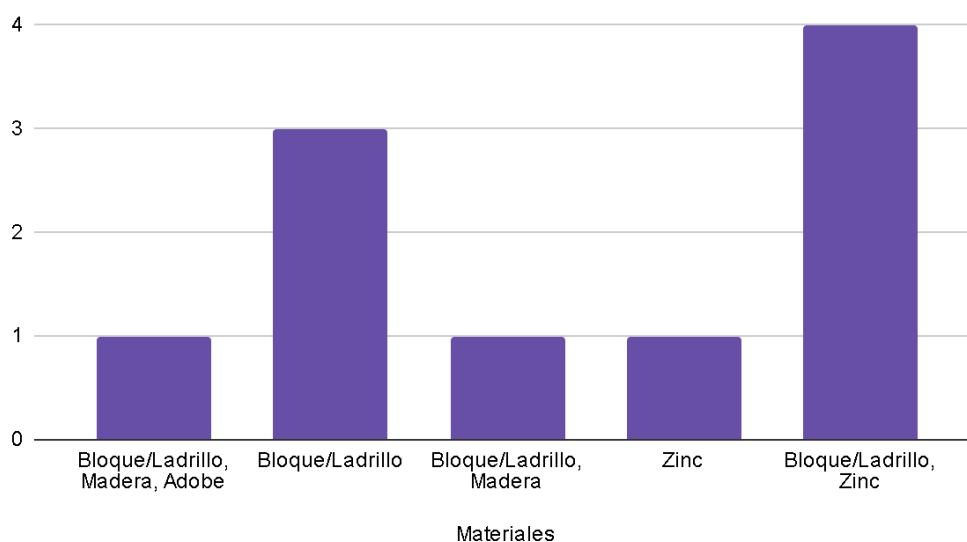
7.1.10. Situación habitacional

En la inspección y visita de campo realizada a la comunidad, para el diagnóstico comunitario, se observó el tipo de materiales de los cuales están construidas las viviendas de la comunidad. Basados en la información recopilada, simple inspección y la encuesta técnica y social, podemos afirmar que la mayoría de las viviendas tienen techos de zinc, paredes de madera, bloque o ladrillo, adobe, etc. Véase figura 5.

Figura 5

Material predominante en las viviendas

Material predominante de la vivienda



Fuente: (Elaboración propia)

7.1.11. Condiciones higiénicas de las viviendas

La limitada disponibilidad de agua en la comunidad constituye un factor restrictivo para la implementación de prácticas higiénicas adecuadas, tanto en el entorno doméstico como en las actividades cotidianas.

De acuerdo con la información obtenida, se constató que todas las viviendas cuentan con un servicio sanitario; la mayoría dispone de letrinas, mientras que un número reducido posee inodoros conectados a sumideros. Sin embargo, se observó que algunas letrinas han dejado de utilizarse debido a su estado de saturación.

Esta situación representa un riesgo para la salud pública, ya que limita el manejo seguro de excretas. En la figura 6 se representa de manera gráfica las condiciones higiénicas que poseen las viviendas en la comunidad.

Figura 6

Condiciones higiénicas de las viviendas



Fuente: (Elaboración propia)

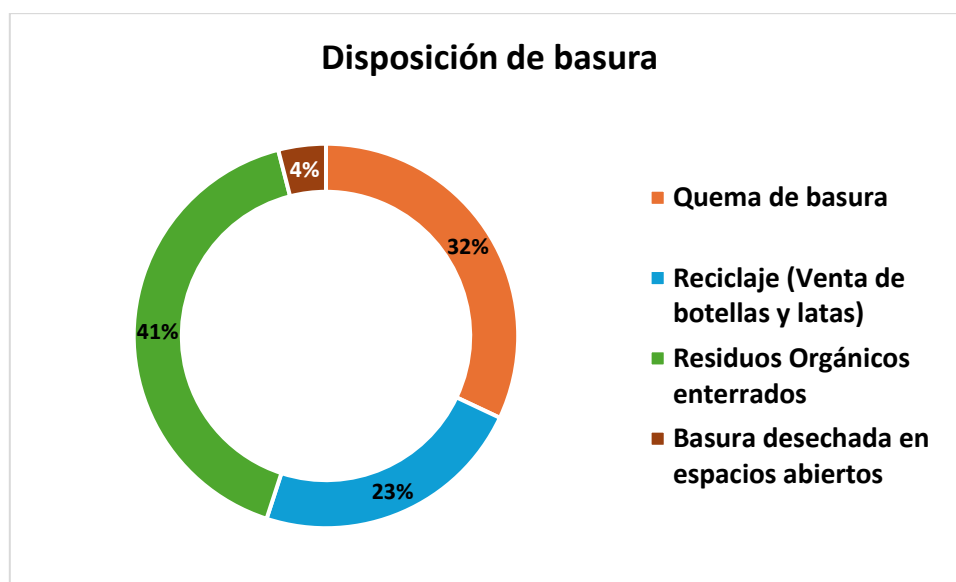
En lo referente a la disposición de los residuos sólidos, se constató que la comunidad emplea distintos métodos que no siempre resultan adecuados desde el punto de vista sanitario y ambiental. La práctica más común es la quema de la basura, aunque una proporción considerable de la población no utiliza métodos formales de eliminación.

Se observó además que los desechos son clasificados de manera empírica: por un lado, residuos orgánicos como hojas y cáscaras suelen ser enterrados; por otro, materiales inorgánicos como botellas y latas son recolectados por algunos habitantes para su posterior venta; finalmente, una parte significativa de los residuos restantes se descarta mediante quema o disposición en espacios abiertos. Estas prácticas, aunque representan estrategias locales de manejo, no garantizan una disposición final segura y constituyen un riesgo tanto para la salud pública como para el medio ambiente, al no

cumplir con los lineamientos establecidos en la normativa nacional vigente. Se representa gráficamente en la figura 7.

Figura 7

Disposición de residuos



Fuente: (Elaboración propia)

7.1.12. Situación actual del sistema de abastecimiento

La comunidad cuenta con una sarta de bombeo a pozo como fuente principal de abastecimiento de agua. El sistema no dispone de ningún mecanismo de desinfección, lo que representa una limitación en la calidad sanitaria del recurso hídrico.

Respecto a la infraestructura, la sarta de bombeo comienza a los 200 pies de profundidad más 80 pies adicionales, conformada por 14 tubos de 6 metros cada uno. El equipo de bombeo tiene una capacidad de 300 litros por minuto, aunque hacia los tanques de almacenamiento se envían en promedio 200 litros por minuto, mediante una conducción de aproximadamente 980 metros de longitud. El sistema opera con un motor de 15 HP alimentado por un banco de energía de 230 voltios.

Cabe destacar que la comunidad no cuenta con planos de diseño de la red, ni con registros previos de estudios de calidad del agua, lo que dificulta la gestión técnica y sanitaria del sistema.

7.1.12.1. Cantidad

En cuanto a cobertura, el servicio llega a las 136 familias que conforman la comunidad, todas ellas registradas con medidor domiciliario. Anteriormente, el cobro del servicio se realizaba mediante una colaboración fija de 200 córdobas por mes por familia, mientras que en la actualidad el pago se efectúa en base al consumo registrado en medidor. La operación del sistema es administrada exclusivamente por el Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS).

El almacenamiento comunitario está compuesto por tres tanques con capacidades aproximadas de 22,000 litros, 15,000 litros y 10,000 litros, lo que permite programar el suministro de agua. La distribución se realiza únicamente tres veces por semana (martes, jueves y sábado), en horario de 6:00 a.m. a 6:00 p.m., lo que refleja que el servicio no es continuo.

Asimismo, la mayoría de los hogares complementan el sistema con tanques plásticos o pilas de concreto domiciliarias, donde almacenan el agua para cubrir sus necesidades durante los días sin abastecimiento.

7.1.12.2. Calidad

La calidad del agua se encuentra condicionada principalmente por dos aspectos fundamentales: el uso que se le asigne, ya sea doméstico, agrícola, industrial u otro, y las particularidades de la fuente de abastecimiento, las cuales incluyen su origen y las propiedades físicas, químicas y biológicas que la caracterizan.

En este estudio se considera una fuente de abastecimiento subterránea, por lo que dada su naturaleza presenta condiciones más estables que las aguas superficiales afectadas por fenómenos naturales y artificiales o las aguas de lluvias que estas expuestas a contaminación desde el momento en que entran en contacto con la atmósfera.

7.1.13. Proyección de población

El cálculo del número de habitantes para los cuales ha de diseñarse el sistema de agua potable es un parámetro básico en el cálculo del caudal de diseño para una comunidad. es necesario determinar las demandas futuras de una población para prever en el diseño las exigencias de las fuentes de abastecimiento, líneas de conducción, redes de distribución, equipo de bombeo y planta de potabilización.

En donde la tasa de crecimiento es del 4.3, este dato se obtuvo del Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE, 2008).

Habitantes actuales: 369 hab

$$P_{2045} = 369 (1 + 0.043)^{20} = 856.47 \text{ ha} = 857 \text{ habitantes}$$

Utilizando la ecuación 1, se calculó la población para el año 2045.

Según el cálculo de proyección población, utilizando el crecimiento poblacional actual del municipio, número de habitantes actuales y una proyección de 20 años, es el tiempo que se estima para un diseño de tratamiento de agua potable, se estima un total de 857 habitantes para el año 2045.

7.1.14. Cálculo de dotación

Estos cálculos se aplican para un periodo de diseño de 20 años y un rango de población de 0-5000 habitantes. Véase tabla 7.

Cálculos con los porcentajes de acuerdo con la dotación domestica diaria:

Tabla 7

Porcentajes de acuerdo con la dotación doméstica diaria

Consumo	Porcentaje %
Comercial	7
Industrial	2
Público	7

Fuente: (NTON 09-007-19, 2023)

- Consumo domestico

$$CD = N^{\circ} \text{ de habitantes} * \text{dotación}$$

$$CD = 857 \text{ ha} \cdot 20 \frac{\text{gal}}{\text{ha}} \cdot \text{dia} = 17,140.00 \text{ gal} \cdot \text{día}$$

- Consumo comercial

$$QC = QD \cdot 7\%$$

$$CC = (17,140 \text{ gal} \cdot \text{día}) (0.07) = 1,199.8 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

- Consumo industrial

$$QI = QD \cdot 2\%$$

$$CI = (17,128.8 \frac{\text{gal}}{\text{día}}) (0.02) = 342.8 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

- Consumo publico

$$QP = QD \cdot 7\%$$

$$CP = (17,140 \text{ gal} \cdot \text{día}) (0.07) = 1,199.8 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

- Consumo Diario Promedio (CDP)

CDP = Consumo Doméstico (CD) + Consumo Comercial (CC) + Consumo industrial (CI) + Consumo Público (CP)

$$CDP = 17,140 + 1,199.8 + 342.8 + 1,199.8 = 19,882.4 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

- Perdidas del sistema (PS)

$$PS = CDP \cdot 20\%$$

$$PS = 19,882.4 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \cdot 0.20 = 3,976.48 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

- Dotación máximo diario (DMD)

$$DMD = CDP + PS$$

$$DMD = 19,882.4 \frac{\text{gal}}{\text{día}} + 3,976.48 \frac{\text{gal}}{\text{día}} = 23,858.88 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

- Demanda máximo horario (DMH)

$$DMH = CDP \cdot 250\%$$

$$DMH = 19,882.4 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \cdot 2.5 = 49,706 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

- Dotación de diseño

$$DD = DMD \frac{\text{gal}}{\text{día}} \cdot 3.785 \frac{\text{L}}{1 \text{ gal}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

$$QD = 23,858.88 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \cdot 3.785 \frac{\text{L}}{1 \text{ gal}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 3.763 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

7.2 Evaluación de resultados según los valores aceptables de las normativas CAPRE y NTON 05-007-98.

7.2.1. Interpretación de los parámetros de calidad de agua

Inicialmente, en los objetivos de este estudio monográfico se planteó la utilización de la normativa CAPRE y la NTON 05-007-98 como referencia para la evaluación de la calidad del agua del sistema de abastecimiento de la comunidad Gosen. Sin embargo, debido a la publicación de la Norma Técnica Obligatoria NTON 03004 “Calidad del agua. Agua potable. Valores máximos admisibles”, que constituye la normativa actual y vigente en Nicaragua, se ha decidido adoptar esta última como marco de referencia principal.

La NTON 03-004 actualiza y complementa los criterios establecidos por las normas anteriores, definiendo de manera específica los parámetros físico-químicos y microbiológicos que debe cumplir el agua para consumo humano, garantizando así que la evaluación del pozo y del sistema de bombeo se realice conforme al marco técnico legal más reciente, asegurando la protección de la salud de la población. En la tabla 8 se presentan los parámetros que cumplen con los valores permitidos por la norma, y los parámetros que están fuera de los valores admisibles.

Tabla 8

Valores de los análisis del agua cruda comparados con los valores admisibles de la normativa NTON 03 004

Valores del agua antes de ser tratada		
Parámetros	Valor de agua cruda	NTON 03 004 (valor admisible)
Coliformes Totales (NMP/100ml)	Ausente	Ausente
Coliformes fecales (NMP/100mL)	<1.8	<1.8
<i>Escherichia coli</i> (E. coli)	<1.8	<1.8
Potencial de Hidrógeno (pH)	8.11	6.5-8.5
Conductividad Eléctrica	446	1700
Alcalinidad Total (mg/L CaCO ₃)	208	615
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	395	900
Oxígeno disuelto(mg/l)	9.81	NE
Color verdadero mg/L (Pt-Co)	<1	15
Turbiedad (UNT)	0.49	5
Nitrato (mg NO ₃ -N/L)	10.04	50

Nitrito (mg NO ₃ -N/L)	<0.003	0.1
Cloruro (mg Cl/L)	19	250
Hierro total (mg Fe/L)	<0.006	0.3
Sulfato (mg SO ₄ -L)	409.45	250
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	181.03	500
Calcio (mg Ca/L)	57.67	120
Magnesio (mg Mg/L)	9.14	60
Manganeso (mg/L Mn)	<0.006	0.4
Bicarbonatos (mg/L)	208.2	750
Carbonatos (mg/L)	<0.4	20
Sodio (mg Na/L)	265.99	200
Potasio (mg K/L)	4.6	30
Flúor (mg/L)	0.75	1

Leyenda

■ Valor por encima del admisible

■ Valor en el rango del admisible

Fuente: (Elaboración propia).

7.2.1.1. Coliformes totales, fecales y E.coli

De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos realizados a las muestras de agua de la comunidad, se determinó la ausencia de coliformes totales, así como valores inferiores al límite de detección (< 1.8 NMP/100 mL) para coliformes fecales y *Escherichia coli*. Al comparar estos resultados con los criterios establecidos en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 03004 para agua destinada al consumo humano, se concluye que los tres parámetros cumplen con los valores permisibles, lo que indica que, al momento del muestreo, el agua presentó condiciones microbiológicas aceptables para consumo humano.

No obstante, es importante destacar que la comunidad no cuenta con un sistema de desinfección del agua, por lo que la calidad microbiológica observada depende exclusivamente de las condiciones naturales de la fuente de abastecimiento y del estado del sistema de captación, almacenamiento y distribución.

Esta situación representa una condición de vulnerabilidad sanitaria, ya que la ausencia de un proceso continuo de desinfección incrementa el riesgo de contaminación en cualquier momento, especialmente durante la época lluviosa, ante

infiltraciones de aguas superficiales, presencia de animales o fallas en la infraestructura.

En consecuencia, aunque los resultados actuales reflejan un estado favorable desde el punto de vista microbiológico, no se puede garantizar la potabilidad continua del agua en el tiempo.

7.2.1.2. Potencial de hidrogeno pH

En la muestra analizada, se registró un valor de 8.11 unidades de pH. Según lo establecido en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 03-004, el rango aceptable para el agua de consumo humano varía entre 6.5 y 8.5, lo que indica que el valor obtenido se encuentra dentro de los parámetros permitidos. Este hallazgo sugiere que el agua es ligeramente alcalina, característica común en acuíferos que contienen bicarbonatos. Desde una perspectiva de salud pública, este nivel no supone un peligro inmediato; no obstante, al estar próximo al límite superior, podría afectar la eficacia de métodos de desinfección.

7.2.1.3. Conductividad Eléctrica

En la muestra se obtuvo un valor de 446 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La NTON 03-004 establece un valor máximo permisible de 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que el resultado obtenido se encuentra muy por debajo del límite normado. Esto indica que el agua presenta una baja a moderada mineralización, característica de aguas con escasa influencia de procesos de contaminación antrópica. Desde el punto de vista de la potabilidad, este nivel de conductividad es aceptable y no genera alteraciones en el sabor ni en la aceptabilidad del agua por parte de la población.

7.2.1.4. Alcalinidad

En la muestra analizada se registró un valor de 208.20 mg/L. Según la NTON 03-004, el valor máximo permisible es 615 mg/L, por lo que el agua cumple con la normativa. Este resultado indica que el agua posee una adecuada capacidad amortiguadora, lo cual explica la estabilidad del pH observada. Desde el punto de vista técnico, esta condición es favorable porque reduce el riesgo de corrosión o cambios bruscos en la calidad química del agua.

7.2.1.5. Sólidos disueltos totales

Según los resultados del análisis de la muestra, se obtuvo un valor de 395 mg/L. La NTON 03-004 establece un límite máximo permisible de 900 mg/L, por lo que el resultado se encuentra dentro del rango permitido. Este valor indica que el agua no presenta una concentración excesiva de sales disueltas, siendo apta para consumo humano desde el punto de vista físicoquímico y organoléptico.

7.2.1.6. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto corresponde a la cantidad de oxígeno presente en el agua en forma libre y es un indicador del equilibrio biológico del recurso hídrico. En aguas destinadas al consumo humano no se establece un valor límite obligatorio para este parámetro según la NTON 03-004.

El valor obtenido en la muestra fue de 9.81 mg/L, lo que indica un alto contenido de oxígeno disuelto. Esta condición es característica de aguas limpias, con baja carga de materia orgánica y poca actividad de procesos de degradación biológica, lo cual refleja una buena calidad ambiental del agua en el momento del muestreo.

7.2.1.7. Color verdadero

El color verdadero del agua se debe principalmente a la presencia de sustancias orgánicas disueltas, como compuestos húmicos, así como a algunos metales como hierro y manganeso. En la muestra analizada se obtuvo un valor de < 1.0 mg/L Pt-Co. El valor máximo permisible según la norma es de 15 mg/L Pt-Co, por lo que el resultado cumple ampliamente con la normativa. Este valor extremadamente bajo indica que el agua es prácticamente incolora, lo cual es una condición altamente favorable desde el punto de vista estético y de aceptación por la población.

7.2.1.8. Turbiedad

La turbiedad expresa el grado de opacidad del agua producido por partículas en suspensión, tales como arcillas, limos, materia orgánica y microorganismos. En la muestra se obtuvo un valor de 0.49 UNT. La NTON 03-004 establece un valor máximo permisible de 5 UNT, por lo que el valor obtenido se encuentra muy por debajo del límite normado. Este resultado indica que el agua presenta una excelente claridad, así como una baja concentración de partículas en suspensión. Desde el punto de vista

sanitario, la baja turbiedad es un factor positivo, ya que facilita la acción de los procesos de desinfección.

7.2.1.9. Nitrato (NO_3^-)

Los nitratos son compuestos derivados del nitrógeno que pueden tener origen natural o estar asociados a actividades humanas como la agricultura y el manejo de excretas. En concentraciones elevadas representan un riesgo para la salud, especialmente en lactantes. En la muestra se obtuvo un valor de 10.04 mg/L. El valor máximo permisible establecido por la NTON 03-004 es de 50 mg/L, por lo que el resultado cumple con la norma. Este valor indica que no existe contaminación significativa por nitratos en la fuente de abastecimiento y que el agua es segura para consumo desde el punto de vista de este parámetro.

7.2.1.10. Nitrito (NO_2^-)

Los nitritos son compuestos intermedios del ciclo del nitrógeno y su presencia en el agua suele estar asociada a procesos recientes de contaminación orgánica. En la muestra se obtuvo un valor de < 0.003 mg/L. La norma establece un límite máximo permisible de 0.1 mg/L, por lo que el valor obtenido es prácticamente inexistente y totalmente aceptable. Este resultado indica que no se evidencian procesos recientes de contaminación orgánica, lo que refuerza la buena calidad sanitaria del agua.

7.2.1.11. Cloruro (Cl^-)

Los cloruros son sales presentes de forma natural en el agua debido a la disolución de minerales y a la intrusión de aguas salinas. En concentraciones elevadas pueden generar sabor salado y favorecer la corrosión de las tuberías. En la muestra analizada se obtuvo un valor de 19.00 mg/L. La NTON 03-004 establece un valor máximo permisible de 250 mg/L, por lo que el resultado se encuentra muy por debajo del límite normado. Este valor indica que el agua no presenta problemas de salinidad ni alteraciones en su sabor desde el punto de vista de los cloruros.

7.2.1.12. Hierro total

El hierro total es un metal que se encuentra de manera natural en las aguas subterráneas como resultado de la disolución de minerales presentes en el suelo y las rocas. Aunque no representa un riesgo significativo para la salud en bajas

concentraciones, su presencia en niveles elevados puede causar alteraciones organolépticas como coloración rojiza, sabor metálico, manchas en ropa y muebles sanitarios, además de incrustaciones en tuberías.

Según el análisis realizado en la muestra, se obtuvo un valor de < 0.006 mg Fe/L. La NTON 03-004 establece un valor máximo permisible de 0.3 mg Fe/L, por lo que el resultado se encuentra muy por debajo del límite normado. Este valor indica la práctica ausencia de hierro disuelto, lo cual es altamente favorable para la potabilidad del agua, ya que no se esperan problemas de color, sabor ni deterioro de la infraestructura del sistema de abastecimiento.

7.2.1.13. Sulfato (SO_4^{2-})

En la muestra se obtuvo un valor de 409.45 mg/L. La NTON 03-004 establece un límite máximo permisible de 250 mg/L, por lo que el resultado excede significativamente el valor normado. Este incumplimiento indica que el agua no cumple con los requisitos de potabilidad en cuanto a sulfatos, lo que puede afectar no solo el sabor y la aceptabilidad del agua por parte de la población, sino también la integridad de las tuberías.

Desde el punto de vista sanitario y técnico, este resultado justifica la necesidad de implementar un sistema de tratamiento que permita la reducción de sulfatos, como procesos de ósmosis inversa, intercambio iónico o mezcla con aguas de menor concentración.

7.2.1.14. Dureza total

La dureza total del agua está determinada principalmente por la concentración de sales de calcio y magnesio disueltas. No representa un riesgo directo para la salud, pero influye en la formación de incrustaciones en tuberías, el consumo de detergentes y las características organolépticas del agua. En la muestra analizada se obtuvo un valor de 181.03 mg/L. La NTON 03-004 establece un límite máximo permisible de 500 mg/L, por lo que el valor obtenido cumple con la normativa vigente.

De acuerdo con su clasificación, el agua se considera de dureza moderada, condición aceptable para el consumo humano y los usos domésticos, sin que se prevean problemas graves de incrustación ni de sabor.

7.2.1.15. Calcio

El calcio es un elemento esencial para el organismo humano y uno de los principales responsables de la dureza del agua. Su presencia se debe principalmente a la disolución de rocas calizas y minerales carbonatados. En la muestra analizada se obtuvo un valor de 57.67 mg/L. La NTON 03-004 establece un valor máximo permisible de 120 mg/L, por lo que el resultado se encuentra dentro del rango permitido. Esta concentración es adecuada desde el punto de vista sanitario y contribuye de forma moderada a la dureza total del agua, sin representar riesgos para la salud. Por el contrario, el calcio tiene un valor nutricional positivo cuando se encuentra en concentraciones adecuadas.

7.2.1.16. Magnesio

El magnesio es un mineral presente de forma natural en el agua, principalmente por la disolución de dolomitas y otros minerales del suelo. En conjunto con el calcio, contribuye a la dureza total del agua. En la muestra analizada se registró un valor de 9.14 mg/L. El límite máximo permisible según la NTON 03-004 es de 60 mg/L, por lo que el resultado cumple ampliamente con la normativa. Este valor es bajo y no representa riesgo para la salud ni genera efectos laxantes. Su contribución a la dureza total del agua es mínima.

7.2.1.17. Manganeseo

El manganeso es un metal que puede encontrarse naturalmente en aguas subterráneas como producto de procesos geoquímicos. En concentraciones elevadas puede causar problemas de coloración, sabor, incrustaciones y, en exposiciones prolongadas, efectos adversos sobre la salud. En la muestra analizada se obtuvo un valor de < 0.006 mg/L. La NTON 03-004 establece un valor máximo permisible de 0.4 mg/L, por lo que el resultado se encuentra muy por debajo del límite normado. Este resultado indica una excelente calidad del agua en relación con este metal, sin riesgos sanitarios ni afectaciones a la infraestructura del sistema.

7.2.1.18. Bicarbonato

Los bicarbonatos son responsables de la alcalinidad del agua y les proporcionan su capacidad amortiguadora frente a variaciones del pH. Se originan principalmente por la disolución de rocas carbonatadas. En la muestra analizada se

obtuvo un valor de 208.20 mg/L. La NTON 03-004 establece un valor máximo permisible de 750 mg/L, por lo que el resultado cumple ampliamente con la normativa. Esta concentración explica la estabilidad del pH observada en el análisis y no representa ningún riesgo para la potabilidad del agua.

7.2.1.19. Carbonatos

Los carbonatos forman parte del sistema de equilibrio químico del agua y aparecen en mayor proporción cuando el pH es elevado. En la muestra analizada se obtuvo un valor de < 0.4 mg/L. El valor máximo permisible según la NTON 03-004 es de 20 mg/L, por lo que el resultado se encuentra muy por debajo del límite establecido. Esto indica que la alcalinidad del agua proviene principalmente de los bicarbonatos y que la presencia de carbonatos es prácticamente nula, condición típica de aguas subterráneas con pH ligeramente alcalino.

7.2.1.20. Sodio

El sodio es un catión ampliamente distribuido en las aguas naturales y su presencia se asocia a la disolución de sales minerales y, en algunos casos, a la intrusión de aguas salinas. En concentraciones elevadas puede afectar el sabor del agua y representar un riesgo para personas con hipertensión arterial, enfermedades renales o cardiovasculares. En la muestra analizada se obtuvo un valor de 265.99 mg/L. La NTON 03-004 establece un valor máximo permisible de 200 mg/L, por lo que el resultado excede el límite normado.

Este incumplimiento indica que el agua no cumple con los criterios de potabilidad en cuanto al sodio, lo que puede generar efectos adversos en la salud de poblaciones vulnerables y limitar sus usos. Desde el punto de vista técnico, este resultado justifica la implementación de procesos de tratamiento orientados a la reducción de sales disueltas, reforzando la necesidad del sistema de tratamiento propuesto en la tesis.

7.2.1.21. Potasio

El potasio es un elemento esencial para el organismo humano y se encuentra generalmente en bajas concentraciones en aguas naturales. Su presencia no suele representar un riesgo sanitario en los niveles habituales. En la muestra analizada se

obtuvo un valor de 4.60 mg/L. La NTON 03-004 establece un valor máximo permisible de 30 mg/L, por lo que el resultado cumple ampliamente con la normativa. Esta concentración no afecta la potabilidad del agua ni genera alteraciones en su sabor o en su uso doméstico.

7.2.1.22. Flúor

El flúor es un elemento que, en concentraciones adecuadas, contribuye a la prevención de caries dentales; sin embargo, en concentraciones elevadas puede provocar fluorosis dental y ósea. En la muestra analizada se obtuvo un valor de 0.75 mg/L. El valor máximo permisible según la NTON 03-004 es de 1 mg/L, por lo que el resultado cumple con la normativa vigente. Esta concentración se considera adecuada, ya que no representa un riesgo para la salud y puede aportar un leve beneficio en la protección dental de la población.

7.2.2. Análisis de balance iónico

El cálculo del balance iónico se utiliza para conocer y validar la calidad y precisión del análisis químico de la muestra de agua de la fuente del proyecto, asegurando que la suma de cationes (iones positivos) sea casi igual a la de aniones (iones negativos), lo que indica un análisis completo y sin errores significativos. Véase tabla 9.

Tabla 9

Cálculo del porcentaje de error con balance iónico con la misma cantidad de aniones y cationes

Ion	mg/L	PM	Valencia	meq/L
Ca ²⁺	265.99	40.08	2	11.56525
Mg ²⁺	4.600	24.31	2	0.11767
Na ⁺	9.14	22.99	1	0.75167
K ⁺	57.67	30.09	1	2.87773
Σ=				15.31232
Cl ⁻	19.00	35.45	1	0.53580
SO ₄ ²⁻	409.45	96.02	2	8.52475
NO ₃ ⁻	10.04	61.97	1	0.16195
HCO ₃ ⁻	208.2	61.01	1	3.41240
Σ=				12.63489
Fuente: (Elaboración propia)				% ERROR
				9.580303

Los resultados mostrados en la tabla 7, presentan un porcentaje de error de 9.580303, mayor al porcentaje aceptable del 5%, este dato sugiere que el análisis químico puede estar incompleto, ser impreciso o que las muestras han experimentado cambios químicos durante el tiempo de transporte, desde campo a laboratorio, de la misma manera cambios en el tiempo de almacenamiento de la muestra en el laboratorio.

7.3 Diseño y cálculos de dimensiones de equipos

7.3.1 Selección del tren de tratamiento para el diseño del sistema de agua potable

7.3.1.1 Alternativa 1

Este proceso consta de 3 etapas:

1. Filtración, un filtro de sedimentos es un dispositivo mecánico que elimina partículas sólidas no deseadas como arena, óxido, barro y polvo del agua, funcionando como primera barrera en sistemas de purificación para proteger etapas posteriores, mejorar la claridad y prevenir daños a electrodomésticos y tuberías; retienen partículas según su tamaño en micras (μm) y se instalan generalmente a la entrada del suministro de agua.
2. Ósmosis inversa, esta etapa utiliza una membrana semipermeable y alta presión para eliminar impurezas, sal y contaminantes del agua, produciendo agua más pura. En nuestro diseño se tomó como alternativa ya que puede remover un alto porcentaje de sulfatos y sodio en el agua.
3. Cloración, por último, la etapa de desinfección, el agua que pasa por el proceso de osmosis inversa es almacenada en un tanque y desinfectada para ser posteriormente distribuida a través de las tuberías a cada hogar.

Figura 8

Proceso del tren de tratamiento Alternativa 1



Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 10*Nomenclatura del tren de tratamiento Alternativa 1*

Nomenclatura de tren de tratamiento
F= Filtración (Filtro de Sedimentos)
OI= Ósmosis inversa
D= Desinfección (Cloro)
Re= Removido
NR= No Removido
%RMC= porcentaje de remoción

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 11*Porcentajes de remoción de cada etapa para la alternativa 1*

Parámetros (no cumplen)	%RMC-F	%RMC-OI	% RMC-D
Sulfato (mg SO ₂ -4/L)	0%	99%	0%
Sodio (mg Na/L)	0%	95%	0%

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 12*Valores de remoción en cada etapa de la alternativa 1*

Parámetro	valor agua cruda	Filtración (Filtro Sedimentos)		Ósmosis Inversa		Desinfección		NTON 03 004 (Valores admisibles)
		Re	NR	Re	NR	Re	NR	
Sulfato (mg SO ₂ -4/L)	250	0	250	247.5	2.5	0	2.5	250 (mg SO ₂ -4/L)
Sodio (mg Na/L)	200	0	200	190	10	0	10	200 (mg Na/L)

Fuente: (Elaboración propia)

7.3.1.2 Alternativa 2

Este proceso consta de 3 etapas:

1. Filtración un filtro de sedimentos es un dispositivo mecánico que elimina partículas sólidas no deseadas como arena, óxido, barro y polvo del agua, funcionando como primera barrera en sistemas de purificación para proteger

etapas posteriores, mejorar la claridad y prevenir daños a electrodomésticos y tuberías; retienen partículas según su tamaño en micras (μm) y se instalan generalmente a la entrada del suministro de agua.

2. Nanofiltración, este proceso utiliza membranas semipermeables para separar sustancias disueltas y suspendidas. Funciona a presiones más bajas que la ósmosis inversa y se sitúa entre la ultrafiltración y la ósmosis inversa en cuanto a tamaño de poro, eliminando iones polivalentes, materia orgánica y otros contaminantes. Se consideró como una alternativa viable ya que puede remover un alto porcentaje de sulfatos y sodio en el agua.
3. Cloración, por último, la etapa de desinfección, el agua que pasa por el proceso de osmosis inversa es almacenada en un tanque y desinfectada para ser posteriormente distribuida a través de las tuberías a cada hogar.

Figura 9

Proceso del tren de tratamiento alternativa 2



Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 13

Nomenclatura del tren de tratamiento Alternativa 2

Nomenclatura de tren de tratamiento
F= Filtración (Filtro de Sedimentos)
NF= Nanofiltración
D= Desinfección (Cloro)
Re= Removido
NR= No Removido
%RMC= porcentaje de remoción

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 14*Porcentajes de remoción de cada etapa para la alternativa 2*

Parámetros (no cumplen)	%RMC-F	%RMC-NF	% RMC-D
Sulfato (mg SO ₂ -4/L)	0%	98%	0%
Sodio (mg Na/L)	0%	65%	0%

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 15*Valores de remoción en cada etapa de la alternativa 2*

Parámetro	valor agua cruda	Filtración (Filtro Sedimentos)		Nanofiltración		Desinfección		NTON 03 004 (Valores admisibles)
		Re	NR	Re	NR	Re	NR	
Sulfato (mg SO ₂ -4/L)	250	0	250	245	5	0	5	250 (mg SO ₂ -4/L)
Sodio (mg Na/L)	200	0	200	130	70	0	70	200 (mg Na/L)

Fuente: (Elaboración propia)

7.3.2 Factores a considerar para la selección de tren de tratamiento**Tabla 16***Factores a considerar para la selección del tren de tratamiento*

Factor	Variables	Alternativa 1	Alternativa 2
Aspectos demográficos y socioculturales	Tamaño de la población	✓	✓
	Cobertura y cantidad de agua potable	✓	✓
Características del agua	Origen del agua	✓	✓
	Composición del agua	✓	✓
	Caudal de la fuente	✓	✓
Capacidad y disponibilidad de pago	Capacidad de pago	X	✓
	Tarifa	X	✓
	Voluntad de pago	X	✓

Costos	Costos de inversión	X	✓
	Costos de operación y mantenimiento	X	✓
Objetivos del tratamiento	Expectativas de calidad del efluente	✓	✓
	Nivel de tratamiento	✓	✓
	Disponibilidad de insumos químicos	✓	✓
	Requerimiento de energía	✓	✓
	Disponibilidad de mano de obra local	X	✓
	Necesidad de equipos mecánicos	✓	✓
Aspectos tecnológicos	Impacto ambiental	X	✓
	Eficiencia de la tecnología	✓	✓

Fuente: (Elaboración propia)

Se seleccionó la alternativa 2, ya que es más adecuada para una comunidad pequeña como Gosen, Mateare, porque ofrece una óptima remoción de sulfatos y sodio con un costo energético menor que la osmosis inversa. Lo que reduce significativamente los gastos de operación y mantenimiento a largo plazo, algo fundamental en sistemas comunitarios con recursos limitados.

Además, mejora el sabor del agua y no requiere trabajar a presiones tan altas, lo que simplifica la operación y disminuye la degradación de los equipos.

Considerando que los niveles de sodio del agua en Gosen no es extremadamente alta, no se necesita un tratamiento tan intensivo como la osmosis inversa, debido a esto, la nanofiltración representa una solución técnica más eficiente, económica y sostenible para una comunidad pequeña.

7.3.2.1 *Ventajas y desventajas de ambas alternativas*

Ventajas Alternativa 1

- Nivel más alto de tratamiento en el agua, mayor remoción de contaminantes
- Es una alternativa más adecuada si el nivel de salinidad fuese más alto
- Buena opción para diferentes fuentes de agua

Desventajas Alternativa 1

- Costo elevado de inversión y operación
- Altas presiones de operación
- Requiere un mantenimiento adecuado

Ventajas Alternativa 2

- Optima remoción de sulfatos
- Costo energético menor en comparación a ósmosis inversa
- Mejora el sabor del agua
- Alta remoción de materia orgánica

Desventajas Alternativa 2

- Puede requerir algún tratamiento adicional
- Porcentaje de remoción de sodio más bajo en comparación a ósmosis inversa.

7.3.3 Cálculos de dimensiones de cada equipo

7.3.3.1 Equipo de filtración

- Filtro de sedimentos (grava)

Este equipo funciona para filtración física para remoción de sólidos suspendidos, como arena y partículas gruesas. Véase en figura 10.

El agua ingresa por la entra superior, es distribuida uniformemente y atraviesa el medio filtrante de grava, donde las partículas quedan retenidas. El agua ya clarificada se recoge mediante el tubo central con difusor y sale por la línea de salida hacia las siguientes etapas. Ver ficha técnica en el anexo 4.

El sistema cuenta con una válvula de control, manómetro para monitorear la pérdida de carga, válvula de liberación de aire y válvulas de drenaje y enjuague que permiten realizar el retrolavado y la limpieza periódica del filtro. Este filtro se utiliza como pretratamiento, protegiendo el equipo de nanofiltración, mejorando la eficiencia y vida útil.

- **Componentes del filtro de sedimentos:**

1. Válvula de liberación de aire
2. Válvula de control
3. Manómetro
4. Medio filtrante
5. Válvula de enjuague
6. Válvula de drenaje
7. Panel de control

Figura 10

Imagen representativa del filtro de sedimentos



Fuente: (Carbotecnia , 2025)

El diseño hidráulico del filtro de sedimentos se realizó a partir de la tasa de filtración recomendada para el medio Turbidex, considerando el área transversal del tanque, el volumen del medio filtrante, la expansión durante el retrolavado y el volumen disponible del tanque comercial seleccionado. Valores de dimensionamiento presentados en las tablas No.17 y No.18.

Tabla 17

Valores de dimensionamiento del filtro de sedimentos

Medio filtrante	Turbidex	
		U/M
Tasa de flujo	14	gpm/ft ³
Tasa de retrolavado	16	gpm/ft ²
Profundidad de cama	38	Inch
Expansión de cama	30%	%BD
Datos		
Flujo	16.0	Gpm
Área Tk	1.14	ft ²
Tamaño Tk	16" x 65"	
Volumen MF	4.40	ft ³
Volumen Expansión	1.32	ft ³
Volumen del tanque	6.6	ft ³
Volumen de Grava	1.15	ft ³
Volumen Tk (6.6)	>	Vol MF+Vol Exp+Vol Grava (6.8)
Flujo de retrolavado	22.24	gpm
EBCT	2.06	

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 18

Área del tanque filtrante

Área (ft ²)	Tanque	Tanque (ft ³)
1.39	16" x 65"	6.60

Fuente: (Elaboración propia)

7.3.3.2 Equipo de nanofiltración

El flujo se divide en dos corrientes:

- Permeado, que corresponde al agua tratada de mejor calidad, recolectada a través del colector de permeado.
- Concentrado o rechazo, que arrastra las sales y contaminantes retenidos y es conducido hacia la descarga o recirculación controlada.

Principales características del equipo

- **Tecnología:** Nanofiltración por membranas semipermeables.
- **Configuración:** Sistema compacto montado sobre bastidor metálico.
- **Módulos de membrana:** Portamembranas cilíndricos.
- **Bomba de alta presión:** Centrífuga, diseñada para operación continua.
- **Instrumentación:** Manómetros de presión, rotámetros para permeado y concentrado, válvulas de regulación y seguridad.
- **Sistema de control:** Tablero eléctrico con indicadores y protecciones.
- **Materiales:** Tuberías y portamembranas en materiales resistentes a la corrosión.

Figura 11

Equipo de nanofiltración



Fuente: (Pure aqua, INC, 2020)

Este equipo de nanofiltración es una propuesta técnico-económica para el suministro de un sistema de tratamiento de agua potable. Véase en figura No.11.

El sistema tiene una capacidad de 6 gpm y está previsto para operar con agua proveniente de pozo, integra en una sola estructura los procesos de pretratamiento, separación por membranas y control hidráulico, garantizando una operación eficiente y segura.

Las membranas de nanofiltración permiten la reducción significativa de sales divalentes, manteniendo un adecuado paso de sales monovalentes, lo que resulta en un agua apta para consumo humano y con mejor calidad organoléptica.

El sistema cuenta con un panel de control que integra instrumentos de medición y protección, tales como manómetros, caudalímetros y sistemas de alarma, permitiendo el monitoreo continuo de presión, caudal y estado de operación. Asimismo, incorpora líneas de permeado y rechazo, así como válvulas de regulación

y seguridad para facilitar el ajuste operativo y las labores de mantenimiento. Ver ficha técnica en el anexo 5.

Este equipo es adecuado para comunidades pequeñas o sistemas descentralizados, funcionando como una etapa avanzada de tratamiento dentro de un esquema de potabilización, especialmente cuando se requiere la reducción de sales específicas sin llegar al nivel de desmineralización total propio de la ósmosis inversa.

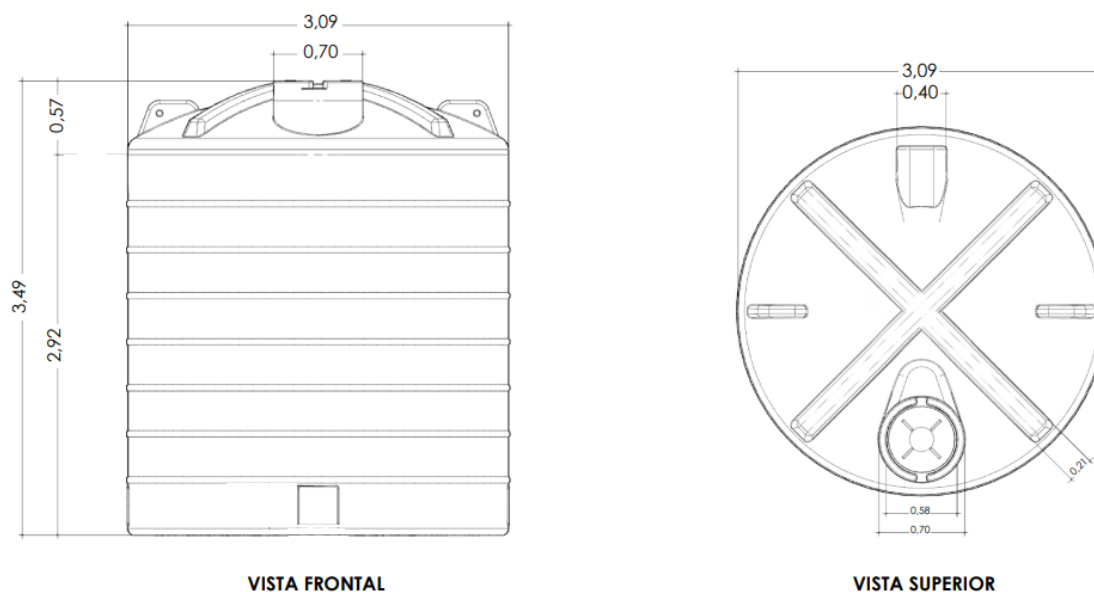
7.3.3.3 Tanques de almacenamiento para desinfección

La comunidad Gosen, Mateare cuenta con 3 tanques de almacenamiento de la marca ECOTANK de diferentes capacidades 22 000L; 15 000L y 10 000L, estos se reutilizarán para el diseño ya que se encuentran en buen estado y funcionamiento, para reducir costos de inversión. Se aplicará un plan de mantenimiento para su uso. Nótese en figura No.12; figura No.13 y figura No.14.

- Tanque de almacenamiento ECOTANK 22 000L.

Figura 12

Acotaciones del tanque de almacenamiento de 22 000L

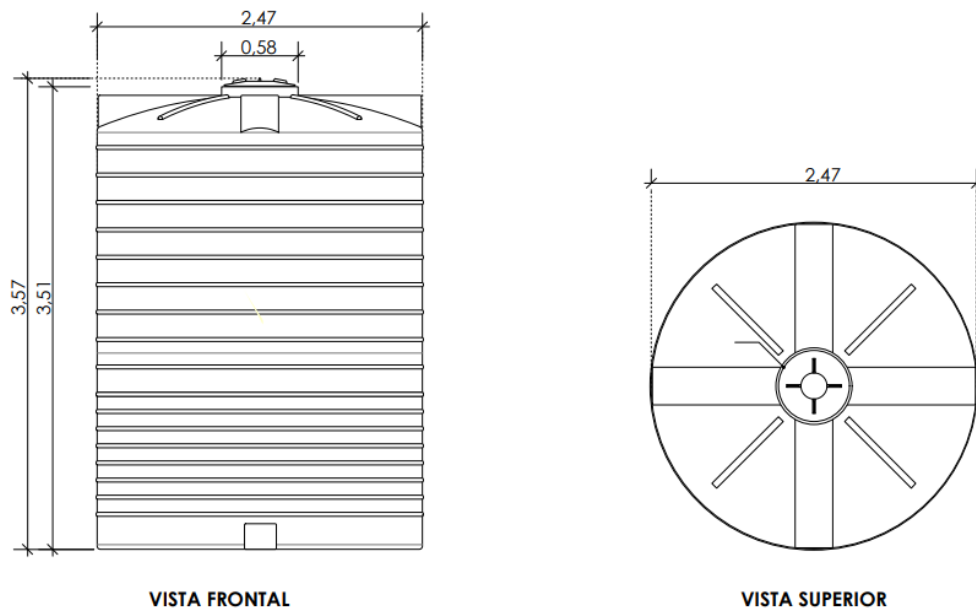


Fuente: (Ecotank, 2024)

- Tanque de almacenamiento ECOTANK 15 000L.

Figura 13

Acotaciones del tanque de almacenamiento de 15 000L

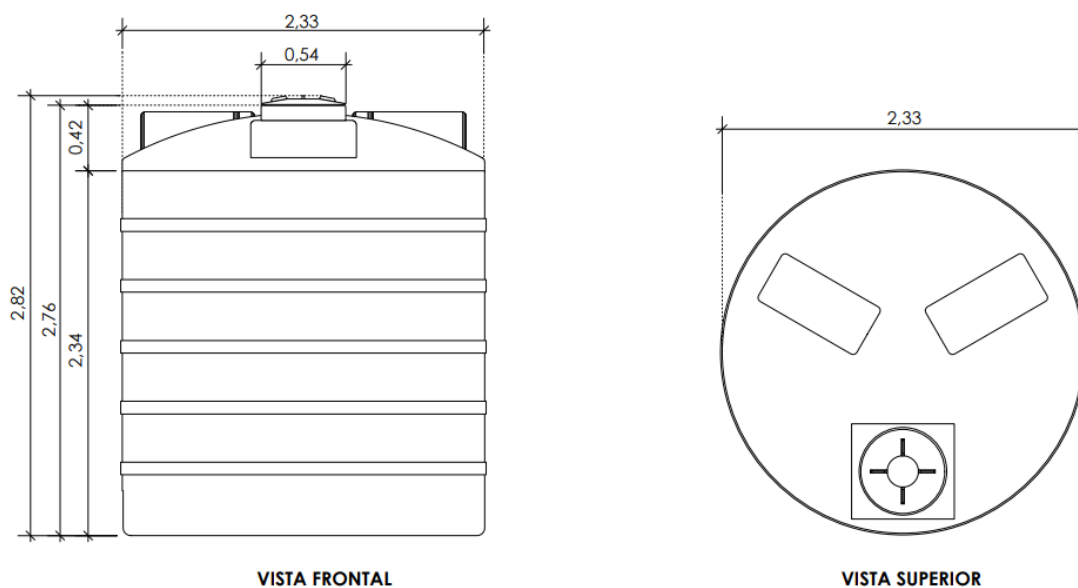


Fuente: (Ecotank, 2024)

- Tanque de almacenamiento ECOTANK 10 000L.

Figura 14

Acotaciones del tanque de almacenamiento de 10 000L



Fuente: (Ecotank, 2024)

7.3.4 Cloración

El agua que se destina a satisfacer las necesidades de una comunidad, para uso principalmente del hogar, consumo, debe ser agua que esté libre de gérmenes dañinos con el fin de prevenir enfermedades que provengan a causa del agua. Para conseguir esto, es necesario desinfectar el agua mediante procesos físicos y químicos que aseguren que sea de buena calidad.

Existen diversos productos químicos que se utilizan para desinfección del agua, siendo el cloro el más común a nivel mundial, gracias a sus características oxidantes y su capacidad para mantener un efecto residual que elimina futuras contaminaciones, además, es la opción química más accesible y se puede aplicar al agua de manera controlada y segura para conseguir su desinfección.

Para desinfectar el agua se debe establecer la concentración del cloro a utilizar para determinar la dosificación adecuada de la mezcla. Para este cálculo se utiliza la ecuación No.25.

7.3.4.1 Cálculos para dosificación de cada tanque de almacenamiento

Tabla 19

Cantidades a utilizar de hipoclorito de calcio para cada tanque de almacenamiento

Cantidad de hipoclorito (gr)	Tanque 1 (22 000L)	Tanque 2 (15 000L)	Tanque 3 (10 000L)
	50.77	34.61	23.07

Fuente: (Elaboración propia)

Para la desinfección del agua de este CAPS se decidió usar hipoclorito de calcio (cloro granulado).

Suele utilizarse como una alternativa al gas cloro y al hipoclorito de sodio ya que una de las ventajas del hipoclorito de calcio es que se contiene una mayor cantidad de cloro (porcentaje del 60% al 70%), por lo que resulta ser un producto con un nivel más alto de efectividad. Además, es importante notar que es un compuesto más estable y fácil de manejar que el hipoclorito de sodio (cloro líquido).

7.4 Desarrollo de estrategia de operación y mantenimiento para un sistema de tratamiento de agua

7.4.1 Plan de operación y mantenimiento para el área de captación: pozo subterráneo

Tabla 20

Operación y mantenimiento del área de captación

	Actividad de operación	Frecuencia	Actividad de mantenimiento	Frecuencia	Encargados de cada área			Materiales y equipos
					Administración	Operación	Mantenimiento	Requerimientos
Captación: pozo subterráneo	Encender y apagar bomba de sarta de bombeo	1-2 veces al día	Inspección de bomba, verificar manómetro	Quincenal	Líder del CAPS	Operador de pozo	Técnico en mantenimiento	Bitácora de manómetro y encendido de pozo
	Verificar turbidez del agua, de manera visual	Diario	Limpieza de malla protectora	Mensual	Líder del CAPS	Operador de pozo	Técnico en mantenimiento	Bitácora de limpieza

	Revisar cualquier fuga en tuberías	Diario	Limpieza del pozo	Semestral	Líder del CAPS	Operador de pozo	Técnico en mantenimiento	Herramientas de limpieza
--	------------------------------------	--------	-------------------	-----------	----------------	------------------	--------------------------	--------------------------

Fuente: (Elaboración propia)

7.4.2 Plan de operación y mantenimiento para el área de Filtración

Tabla 21

Operación y mantenimiento sistema de Filtración: Filtro de Sedimentos

	Actividad de operación	Frecuencia	Actividad de mantenimiento	Frecuencia	Encargados de cada área			Materiales y equipos
					Administración	Operación	Mantenimiento	Requerimientos
Filtración: Filtro de Sedimentos	Medir presión de entrada y salida	Diario	Realizar retro lavado del filtro	Semanal	Líder del CAPS	Operador de pozo	Técnico en mantenimiento	Bitácora de retro lavado y presiones
	Verificar olor y sabor del agua filtrada	Diario	Cambio del medio (grava o arena)	Cada 3-4 años (esto depende de la degradación)	Líder del CAPS	Operador de pozo	Fabricante	Equipos del fabricante
	Chequeo del flujo del filtro	Diario	Cambio total del medio filtrante	Depende del cuidado y mantenimiento del filtro	Líder del CAPS	Operador de pozo	Fabricante	Equipos del fabricante

Fuente: (Elaboración propia)

7.4.3 Plan de operación y mantenimiento para el área de Nanofiltración (NF)

Tabla 22

Operación y mantenimiento sistema de Nanofiltración

	Actividad de operación	Frecuencia	Actividad de mantenimiento	Frecuencia	Encargados de cada área			Materiales y equipos
					Administración	Operación	Mantenimiento	Requerimientos
Nanofiltración	Monitorear presión de entrada y salida	Diario	Lavado químico alcalino	Anual	Líder del CAPS	Operador de planta	Ingeniero ambiental o químico	Bitácora de retro lavado y manómetros
	Medir caudal permeado	Diario	Lavado ácido	Anual	Líder del CAPS	Operador de planta	Ingeniero ambiental o químico	Equipos del fabricante
	Medir Ph y conductividad	Diario	Desinfección bacteriana	Anual	Líder del CAPS	Operador de planta	Ingeniero ambiental o químico	Equipos del fabricante, Phmetro
	Revisar que no haya fugas	Diario	-----	-----	Líder del CAPS	Operador de planta	-----	-----

Fuente: (Elaboración propia)

7.4.4 Plan de operación y mantenimiento para el área de Desinfección (cloración)

Tabla 23

Operación y mantenimiento del tanque de almacenamiento

Desinfección: Cloración	Actividad de operación	Frecuencia	Actividad de mantenimiento	Frecuencia	Encargados de cada área			Materiales y equipos
					Administración	Operación	Mantenimiento	Requerimientos
	Medir cloro residual	Diario	Limpiar dosificador	Mensual	Líder del CAPS	Operador de planta	Técnico en mantenimiento	Insumos para medir nivel de cloro y bitácora de cloro residual
	Verificar olor y color del agua	Diario	Revisar tanque de almacenamiento	Semanal	Líder del CAPS	Operador de planta	Técnico en mantenimiento	Cristalería
	Verificar pH	Diario	Preparar insumos para cloración	Semanal	Líder del CAPS	Operador de planta	Operador de planta	Phmetro y bitácora de pH

Fuente: (Elaboración propia)

VIII. Conclusiones

Se concluye que:

1. El diagnóstico de la comunidad de Gosen identificó problemáticas socioeconómicas, sanitarias y técnicas que afectan la calidad de vida y el sistema de abastecimiento de agua potable. La economía local es principalmente de subsistencia y el suministro de agua es intermitente, lo que obliga al almacenamiento domiciliario y aumenta el riesgo de contaminación. En el ámbito sanitario, se observa una alta incidencia de enfermedades gastrointestinales asociadas al consumo de agua sin desinfección, agravadas por el uso de letrinas saturadas y prácticas inadecuadas de manejo de residuos. Técnicamente, el sistema carece de desinfección y continuidad, lo que compromete la calidad del agua y su sostenibilidad futura, evidenciando la necesidad de implementar un sistema de tratamiento adecuado.
2. De acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización de la calidad del agua mediante los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, se determinó que la mayoría de los parámetros evaluados cumplen con los límites establecidos en la normativa NTON 03004. Sin embargo, dos parámetros presentaron valores fuera de los rangos permisibles, lo que indica que el agua no es completamente apta para el consumo humano sin un tratamiento previo. En función de estos resultados, se justifica la necesidad de proponer un sistema de tratamiento alternativo que permita corregir dichas desviaciones y garantizar el cumplimiento de la normativa vigente.
3. Se diseñó un sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad Gosen, Mateare, adecuado a las condiciones y necesidades de la población. El sistema propuesto, se compone por captación, filtración de sedimentos, nanofiltración y desinfección utilizando hipoclorito de calcio, garantizando la calidad sanitaria del agua, basándonos en la normativa correspondiente, criterios técnicos y operativos, este sistema representa una alternativa viable para el suministro seguro de agua potable para la comunidad.

IX. Recomendaciones

- Se recomienda hacer análisis fisicoquímicos y microbiológicos periódicamente al agua de la fuente, con el objetivo de monitorear el buen funcionamiento del sistema.
- Asegurar el tiempo de contacto adecuado del hipoclorito de calcio en los tanques de almacenamiento, de acuerdo a la normativa de agua potable, para garantizar la seguridad sanitaria del agua.
- Capacitar al personal comunitario para el manejo del sistema, control de cloración, limpieza de equipos y monitoreo de parámetros básicos, garantizando una operación sostenible y continua del sistema de tratamiento.
- Promover la participación activa de la comunidad en la gestión del sistema de agua potable, facilitando la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

X. Bibliografía

- ANA, A. N. (2019). Obtenido de http://ana.gob.ni/index.php/marco_normativo/leyes
- Barrios Napurí Carlos & Lampoglia Cristina. (2009). *Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios*. Guia de saneamiento, Latinoamérica.
- Beat Stauffer & Dorothee Spuhler. (23 de Julio de 2020). *Captación de ríos, lagos y embalses (reservorios)*. Obtenido de SSWM - Find Tools For Sustainable Sanitation And Water Management: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captacion/captaci%C3%B3n-de-r%C3%ADos%2C-lagos-y-embalses-%28reservorios%29>
- Camacho, B., López, J., & Martínez, N. (13 de Marzo de 2021). *Calidad bacteriológica del agua potable del municipio el crucero departamento de managua*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/339/1/18661.pdf>
- CAPRE. (1994). *NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO*.
- Carbotecnia . (24 de Enero de 2025). *Carbotecnia*. Obtenido de Carbotecnia: <https://www.carbotecnia.info/producto/filtro-de-lecho-profundo-dual-automatico/>
- Castillo, I. (Octubre de 2013). *Evaluación físico-química y bacteriológica del agua en el sistema de abastecimiento del casco urbano del Municipio de La Concordia durante cinco semanas de abril y junio del año 2013*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/255/1/64547.pdf>
- Centeno Cuadra & Echeverria. (06 de Mayo de 2020). *TSI LifeScience*. Obtenido de TSI LifeScience: <https://tecnosolucionescr.net/blog/215-caracteristicas-fisico-quimicas-y-biologicas-en-el-agua-potable-que-deben-controlarse>
- Centeno Cuadra. (06 de Mayo de 2020). *TSI LifeScience*. Obtenido de TSI LifeScience: <https://tecnosolucionescr.net/blog/215-caracteristicas-fisico-quimicas-y-biologicas-en-el-agua-potable-que-deben-controlarse>
- CNNC. (2000). *Comisión Nacional de Normalización Técnica y Calidad*. Managua, Nicaragua.
- CONTYQUIM. (2025). Obtenido de <https://contyquim.com/blog/paso-a-paso-tren-de-tratamiento-de-agua-potable/>

- COWAN, H. (2000). Map and Database of Quaternary Faults in the Vicinity of Managua, Nicaragua . U.S A. *Geologic Survey. Revista Científica. Managua, Nicaragua.* .
- Cuadra, C. (2020).
- ECODES. (2022). Obtenido de <https://ecodes.org/hacemos/cooperacion-para-el-desarrollo/eje-2-agua-y-saneamiento/la-realidad-del-agua-en-nicaragua-una-intervencion-en-la-que-agua-y-genero-van-de-la-mano>
- Ecotank. (2024). *La casa del tanque Nicaragua*. Obtenido de La casa del tanque Nicaragua: <https://nicaragua.lacasadeltanque.com/producto/tanque-industrial-ecotank/>
- Elaboración propia.* (s.f.).
- González Tapia, R. M. (17 de Octubre de 2024). *Estudio sobre la calidad del agua y peligro de contaminacion de los pozos de abastecimiento público en los departamentos de Estelí, Matagalpa y Managua*. Obtenido de <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/2400>
- Hidrotec. (2023).
- Hidrotec. (21 de Enero de 2025). *Hidrotec*. Obtenido de Elementos de una planta potabilizadora: <https://www.hidrotec.com/blog/planta-potabilizadora/>
- INETER. (2005). *Sismos en Nicaragua;Managua*.
- INIDE. (Marzo de 2008). *Instituto Nacional De Información de Desarrollo (INIDE)*. Obtenido de Instituto Nacional De Información de Desarrollo (INIDE): <https://www.inide.gob.ni/docu/censos2005/CifrasMun/Managua/Mateare.pdf>
- INIDE, I. N. (2008). *Mateare en Cifras*.
- INIFOM, I. N. (Octubre de 2023). Obtenido de <http://www.inifom.gob.ni/contactenos/Alcaldes%20Municipales.html>
- Legislación de Nicaragua. (2021). *NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE PARA REGULAR LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES Y SU REUSO*. Obtenido de <http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/>
- López Velásquez, E. A., Reyes Velásquez, D. V., & Ismael Dolores, L. E. (2020). *Repositorio UNAN*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/14387/1/14387.pdf>

- Meter, B. (2026). *Parámetros de monitoreo de la calidad del agua*. Obtenido de <https://www.badgermeter.com/es-us/parametros-monitoreo-calidad-agua/>
- MINSA. (2022). *NORMA TECNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE*. Obtenido de <https://www.minsa.gob.ni/sites/default/files/>
- MINSA, M. d. (2024). Obtenido de <https://mapasalud.minsa.gob.ni/mapa-de-padecimientos-de-salud-municipio-mateare-managua/>
- Molina, J., Rivas, W., & Velásquez, S. (Noviembre de 2021). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA DE AGUA DE CONSUMO ALMACENADA, DE LOS POBLADORES DEL SECTOR LOS MARENCOS, COMUNIDAD MARVIN CORRALES, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, CARAZO NOVIEMBRE 2021*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/16236/1/16236.pdf>
- Nicaragua, L. d. (23 de 07 de 2025). Obtenido de NORMA TÉCNICA NTON N°. 03004: <http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/03004>
- NTON 09-007-19. (03 de Noviembre de 2023). *Autoridad Nacional del Agua (ANA)*. Obtenido de NTON 09-007-19. DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE : http://www.ana.gob.ni/sites/default/files/inline-files/NORMA_NTON%2009%20007-19.pdf
- OMS. (14 de Junio de 2019). *Organización Mundial de la Salud* . Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- OMS. (2021). *Organización Mundial de la Salud* . Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- ONU. (2021). Obtenido de Agua-Resumen actualizado de 2021 sobre los progresos en el ODS 6: agua y saneamiento para todos.: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- PEA, Población Económicamente Activa . (Noviembre de 2004). *INFORME GENERAL SOBRE ENCUESTA PARA MEDICIÓN DEL EMPLEO*.
- Pure aqua, INC. (2020). *PURE AQUA, INC. ÓSMOSIS INVERSA Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA*. Obtenido de PURE AQUA, INC. ÓSMOSIS INVERSA Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA: <https://es.pureaqua.com/sistema-comercial-de-nanofiltracion/>
- Ríos Tobón, S., AgudeloCadavid, R., & Gutiérrez Buile, L. (15 de Febrero de 2017). *Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>

- Rodríguez, J. (2023). Potabilización del agua . En J. Rodriguez. Bogotá: AlphaEditorial .
- SafetyCulture. (15 de Enero de 2024). *SafetyCulture*. Obtenido de Tratamiento de aguas: <https://safetyculture.com/es/temas/tratamiento-de-aguas/>
- SIASAR. (2017). *Rural Water and Sanitation Information System*. Obtenido de <https://globalsiasar.org/pt-br/node/248>
- Swistock, B. (19 de Octubre de 2020). *Bacterias Coliformes. Penn State Extension*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10401/ANTEPROYE CTO%20SEMINARIO%20FILTRO%20ARENA/.pdf?sequence=1>
- US EPA . (21 de Febrero de 2025). *Agencia de proteccion ambiental de Estados Unidos EPA*. Obtenido de Agencia de protección ambiental de Estados Unidos EPA : <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-sobre-la-proteccion-de-las-fuentes-de-agua>
- Valdivielso, A. (2021). *Tipos de contaminantes del agua*. Obtenido de <https://www.agua.es/respuestas/tipos-contaminantes-agua>
- Valdivieso, A. (23 de Mayo de 2024). *iagua*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua>
- Water Quality Association. (Enero de 2026). *Water Quality Association Member* . Obtenido de Water Quality Association Member : <https://wqa.org/>

XI. Anexos

Anexo 1

Encuesta realizada a los habitantes de la comunidad de Gosen, Mateare con el fin de conocer la situación Socioeconómica del lugar

➤ **Encuesta**

Estimados señores, agradecemos su tiempo para el llenado de esta encuesta, la cual tiene como objetivo recopilar información valiosa para la elaboración de un diagnóstico de la situación con el servicio de agua. Sus respuestas son confidenciales y serán utilizadas con fines académicos para el desarrollo de nuestro trabajo monográfico para obtener el título de Ingeniero Químico.

I. Datos Generales del Hogar

1. Nombre del encuestado: _____
2. Edad: _____
3. Sexo: Masculino____ Femenino____
4. Estado civil: Soltero (a)____ Casado (a)____ Unión libre____ Separado (a)____ Viudo (a)____
5. Número de personas que viven en el hogar: _____

II. Vivienda y Servicios Básicos

6. Tipo de vivienda:
 - Propia____
 - Alquilada____
 - Prestada____
 - Otro: _____
7. Material predominante de la vivienda:
 - Bloque/Ladrillo____
 - Madera____
 - Zinc____
 - Adobe____

- Otro: _____

8. ¿Cuenta su vivienda con los siguientes servicios?

- Agua potable: ☐ Sí ☐ No
- Energía eléctrica: ☐ Sí ☐ No
- Saneamiento (letrina/inodoro): ☐ Sí ☐ No
- Recolección de basura: ☐ Sí ☐ No
- Internet: ☐ Sí ☐ No

III. Educación

9. Nivel educativo más alto alcanzado en el hogar:

- Ninguno
- Primaria incompleta
- Primaria completa
- Secundaria incompleta
- Secundaria completa
- Técnico
- Universitario

10. ¿Asisten los niños y jóvenes del hogar a la escuela?

☐ Sí

☐ No → ¿Por qué? _____

IV. Salud

11. Cuando alguien enferma, ¿a dónde acude principalmente?

- ☐ Centro de salud/hospital público
- ☐ Médico privado
- ☐ Farmacia
- ☐ Medicina natural

12. ¿Qué tipo de enfermedades son más frecuentes en el hogar?

a.

b.

c.

V. Situación Económica

13. Fuente principal de ingresos del hogar:

- Agricultura
- Comercio
- Empleo formal (asalariado)
- Empleo informal
- Remesas
- Otro: _____

14. Ingreso mensual aproximado del hogar:

☐ Menos de 5,000 C\$

☐ Entre 5,001 y 10,000 C\$

☐ Entre 10,001 y 20,000 C\$

☐ Más de 20,000 C\$

VII. Participación Comunitaria

15. ¿Participa en alguna organización o grupo comunitario?

☐ Sí

☐ No

16. Principales problemas que afectan a la comunidad (puede marcar más de uno)

☐ Desempleo

☐ Falta de agua potable

☐ Deficiencia en salud

- [] Inseguridad
- [] Carencia de alimentos
- [] Vivienda inadecuada
- [] Otros: _____

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2

Resultados de los análisis microbiológicos



FOAN-2509-0149.01 INFORME DE ENSAYO DE AGUAS NATURALES
LAPE-04/01

NOMBRE DEL CLIENTE		DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELÉFONO
UNI-DACA		Propuesta de Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad Gosen, Mateare-Managua.		NR
ATENCIÓN	CARGO	EMAIL	CELULAR	
Paula Pineda/ Blanca Pravia	Estudiantes	ppineda34@gmail.com	8868-5519	
DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA		
Fecha y Hora de recolección	02/09/2025; 11:04 am	Ingreso de muestra	02/09/2025	
Fuente ^a	Pozo Comunitario	Inicio de análisis	02/09/2025	
Tipo de muestra/preservación/ Estado envase	Agua Subterránea/ Térmica/ Aceptable	Finalización de análisis	24/10/2025	
Ubicación de la fuente ^a	Managua-Mateare Comunidad Gosen	Emisión del informe de resultados	24/10/2025	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia	7218	
Recolectada por	Paula Pineda	Código de muestra	LA-2509-0740	
Supervisor en campo	Paula Pineda	Muestra No.	Uno (01)	
METODO SM # EPAMH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	NTON 03004
9221-B	Coliforme Totales	NMP/100 mL	Ausente	Ausente
9221-E	Coliforme fecales	NMP/100 mL	<1.8	<1.8
9221-F	E.coli	NMP/100 mL	<1.8	<1.8

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y símbolos: < menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta,
Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 24 TH 2023, MH= Metodología Hach
EPA = Environmental Protection Agency, Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del Agua Potable.

Observaciones: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI-EI. Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo. Una vez recibido los informes de ensayo, la validez de su reclamo es de 28 días calendario.

MCPD Ing. Silvana Cruz Sánchez
Responsable de Programa UNI-PIENSA

Pág. 2/2

Teléfono: (505) 2270 5613

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria,
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

atencion.cliente@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Fuente: PIENSA, 2025

Anexo 3

Resultados de los análisis fisicoquímicos



Programa de Investigación,
Estudios Nacionales y
Servicios del Ambiente

FQAN-2609-0140.01 INFORME DE ENSAYO DE AGUAS NATURALES
LA-PT-09.R101

NOMBRE DEL CLIENTE		DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELÉFONO
UNI-DACA		Propuesta de Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad Gosen, Mateare-Managua.		NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR
Paula Pineda/ Blanca Pravia		Estudiantes	pepineda34@gmail.com	8898-5519
DATOS DE LA MUESTRA			CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA	
Fecha y Hora de recolección	02/09/2025; 11:04 am		Ingreso de muestra	02/09/2025
Fuente*	Pozo Comunitario		Inicio de análisis	02/09/2025
Tipo de muestra/preservación/ Estado envase	Agua Subterránea/ Térmica/ Aceptable		Finalización de análisis	24/10/2025
Ubicación de la fuente*	Managua -Mateare.Comunidad Gosen		Emisión del informe de resultados	24/10/2025
Coordenadas	NR		No. Cadena de custodia	7210
Recolectada por	Paula Pineda		Código de muestra	LA-2509-0697
Supervisor en campo	Paula Pineda		Muestra No.	Uno (01)
METODO SM // EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	NTON 03004
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	8.11	6.5-8.5
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	446.00	1700
2320-B	Alcalinidad	mg /L	208.20	615
2540-C	Sólidos Disueltos Totales	mg /L	395.00	900
4500-C	Oxígeno Disuelto	mg /L	9.81	NE
2120-C	Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	<1.0	15
2130-B	Turbiedad	UNT	0.49	5
4500-B	Nitrato	mg NO-3 -N/L	10.04	50
4500-B	Nitrito	mg NO-2 -N/L	<0.003	0.1
4500-D	Cloruro	mg Cl/L	19.00	250
3500-B	Hierro Total	mg Fe/L	<0.006	0.3
4500-E	Sulfato	mg SO2-4/L	409.45	250
2340-C	Dureza Total	mg/L CaCO3	181.03	500
3500-B	Calcio	mg Ca/L	57.67	120
3500-B	Magnesio	mg Mg/L	9.14	60
8149	Manganeso	mg/L Mn	<0.006	0.4
2320-B	Bicarbonato	mg/L	208.20	750.0
2320-B	Carbonatos	mg/L	<0.4	20
ISE-121	Sodio	mg Na/L	265.99	200
3500-C	Potasio	mg K/L	4.60	30
4500-C	Flúor	mg/L	0.75	1

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y símbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta.
Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 24 TH 2023, MH= Metodología Hach
EPA = Environmental Protection Agency, Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del Agua Potable.

Observaciones: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e integridad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo. Una vez recibido los informes de ensayo, la validez de su registro es de 28 días calendario.

☎ Teléfono: (505) 2270 5613

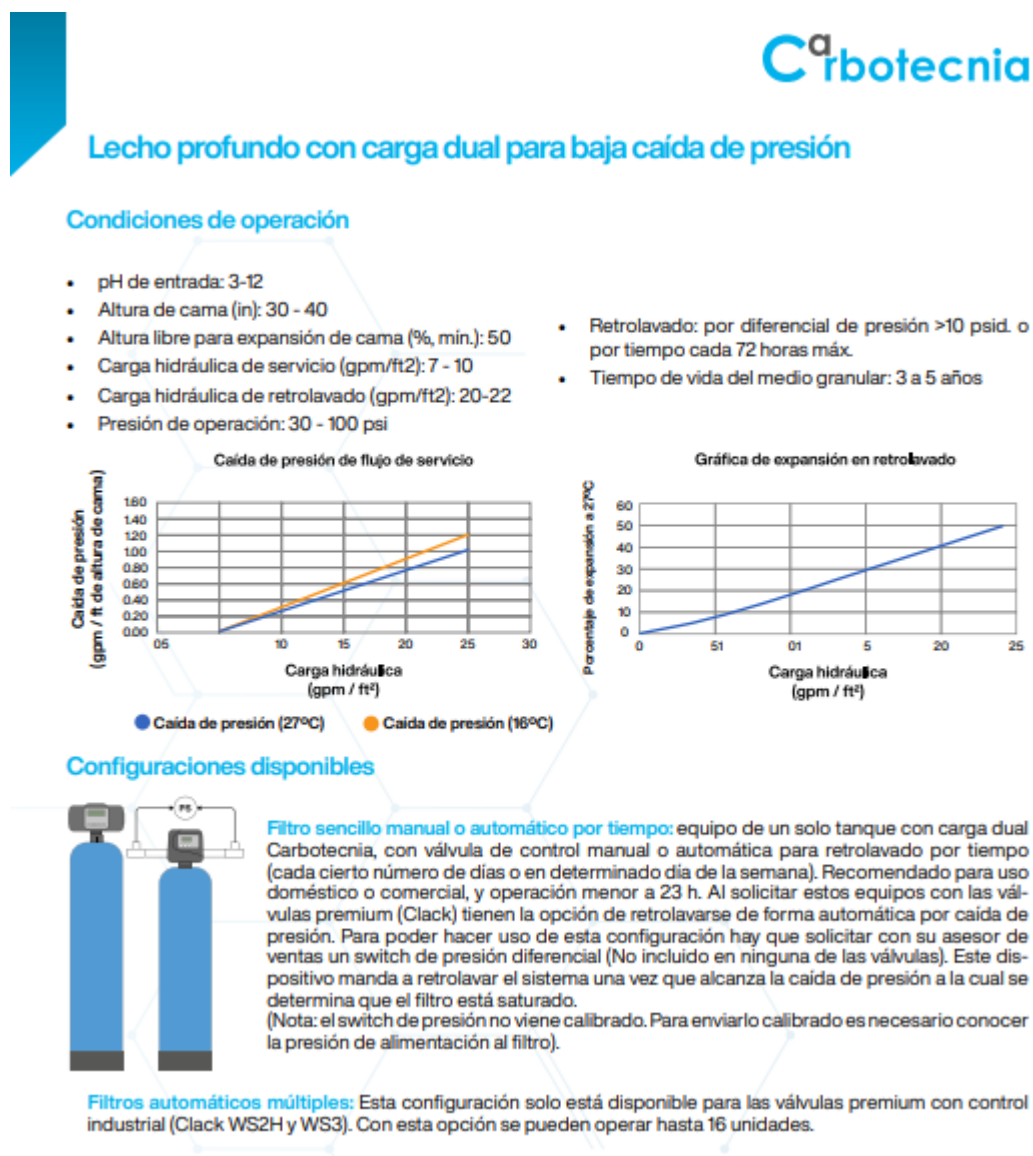
MGPD. Silvano Ortiz Sánchez, Recinto Universitario Simón Bolívar
Responsable de Programa UNIPENSA, Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

✉ atención_cliente@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Fuente: PIENSA, 2025

Anexo 4

Ficha técnica del sistema de filtración (filtro de sedimentos)



Fuente: (Carbotecnia , 2025)

Anexo 5

Ficha técnica del equipo de nanofiltración

Sistemas de Nanofiltración Comercial

Capacidad: 11,700 a 28,800 GPD

NF-300 SERIES

La nanofiltración de Pure Aqua es un proceso de filtración por membrana que se utiliza con mayor frecuencia en aguas con bajos sólidos totales disueltos, como agua superficial y agua subterránea fresca, con el propósito de ablandar (remoción de cationes polivalentes) y eliminar precursores de subproductos de desinfección, como materia orgánica natural y materia orgánica sintética. La nanofiltración también se está utilizando cada vez más en aplicaciones de procesamiento de alimentos, como la industria láctea, para la concentración simultánea y la desmineralización parcial (iones monovalentes).



NF-300-7340

Pure Aqua suministra una línea completa de sistemas de nanofiltración estándar y totalmente personalizables, todos diseñados mediante modelado avanzado en 3D y software de diseño de procesos para soluciones precisas y personalizadas.

Características Estándar

- Estructura de acero al carbono recubierta de polvo.
- Membranas enrolladas en espiral TFC de 4".
- Bomba multietapa de acero inoxidable con motor TEFC.
- Carcasas de membrana de FRP.
- Prefiltro de cartucho de 5 micrones.
- Requisito de energía de 460V/3ph/60Hz.
- Panel de control basado en microprocesador.
- Retardo programable y puntos de ajuste.
- Pantalla LCD.
- Arrancador de motor.
- Recinto NEMA 12.
- Interruptor de baja presión.
- Interruptor de alta presión.
- Manómetros llenos de líquido.
- Monitor de conductividad del permeado.
- Medidores de flujo de permeado y concentrado.

Opciones Disponibles

- Monitor de conductividad del agua de alimentación.
- Equipo de limpieza de membranas.
- Limpieza automática por hora.
- Mezcla de agua de alimentación y permeado.
- Requisito de energía de 220V o 380-415V/3ph/50 o 60Hz.
- Interruptor de nivel del tanque de producto.
- Monitor de pH de agua de alimentación o producto con sensor.
- Monitor ORP de agua de alimentación con sensor.
- Totalizador de flujo.
- Sistemas de dosificación química.
- Sistemas de prefiltración de medios.
- Sistemas de esterilización UV.
- Ablandadores de agua.
- Sistemas post-ósmosis inversa.
- Montaje en patines con pre o post-tratamiento.
- Sistemas de nanofiltración containerizados.
- Embalaje para exportación.

Fuente: (Pure aqua, INC, 2020)

Sistemas de Nanofiltración Comercial

Capacidad: 11,700 a 28,800 GPD

**NF-300
SERIES**

La membrana en espiral está construida a partir de una o más envolturas de membrana enrolladas alrededor de un tubo central perforado. El permeado pasa a través de la membrana hacia la envoltura y se enrosca hacia el tubo central para su recolección.

Las capas de la envoltura de membrana se detallan en el diagrama a la derecha.



Especificaciones de Operación

- Temperatura máxima del agua de alimentación: 42°C.
- Presión del agua de alimentación: 20 a 50 psi.
- Presión de operación: 80 a 150 psi.
- El H2S debe ser eliminado.
- Debe eliminarse la turbidez.
- Contenido máximo de hierro: 0.05 ppm.
- TDS del agua de alimentación: 0-1,000 ppm.
- Actualización del equipo para TDS más altos.
- Dureza superior a 1 GPG requiere dosificación de antiescalante.
- Rango de tolerancia de pH: 3-11.
- Tolerancia máxima de sílice: 60 ppm al 60% de recuperación.
- Operar a TDS más altos reduciendo la recuperación.

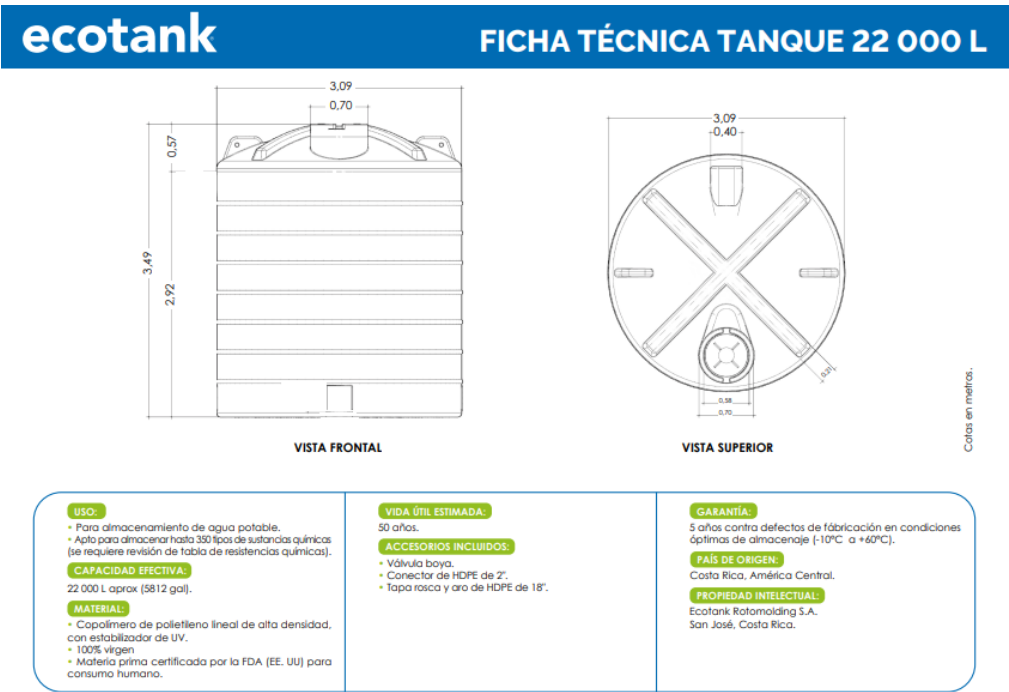
Modelo #	Tasa de flujo de permeado		Cantidad de membranas de 4"	Potencia del motor a 1,000 ppm a 60Hz (hp)	Peso aproximado (lbs)	Dimensiones L"xW"xH"
	GPD	M ³ /D				
NF-11K-3340	11,700	44	9	3	750	141x35x66
NF-13K-5240	13,500	51	10	3	850	109x35x66
NF-16K-4340	16,200	61	12	3	875	151x35x66
NF-19K-5340	19,800	75	15	3	900	142x35x66
NF-21K-8240	21,600	82	16	3	950	113x35x71
NF-24K-6340	24,300	92	18	3	990	152x35x66
NF-28K-7340	28,800	109	21	5	1,025	144x35x64

Nota: La información anterior debe confirmarse después de proporcionar un análisis de agua detallado. Los sistemas de nanofiltración son similares a los sistemas de ósmosis inversa y deben contar con un buen pretratamiento y sistemas de dosificación de antiescalante. Pure Aqua también suministra: Soluciones personalizadas, pretratamiento multimedia, pretratamiento de carbón activado, acondicionamiento de agua, sistemas de dosificación química, esterilizadores ultravioleta (UV) y sistemas de ozonización.

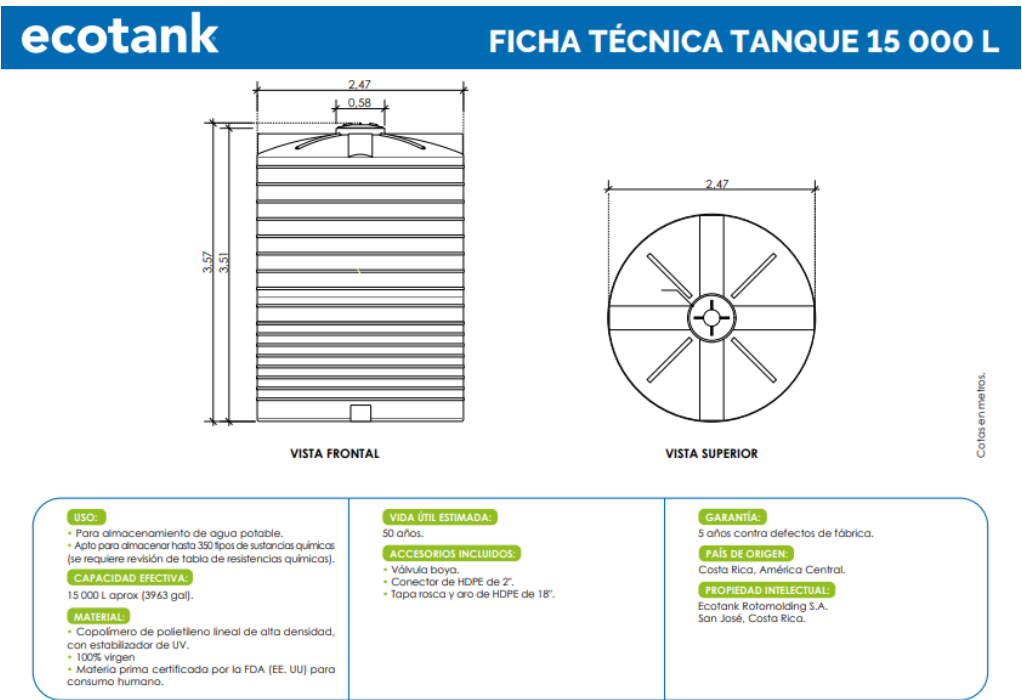
Fuente: (Pure aqua, INC, 2020)

Anexo 6

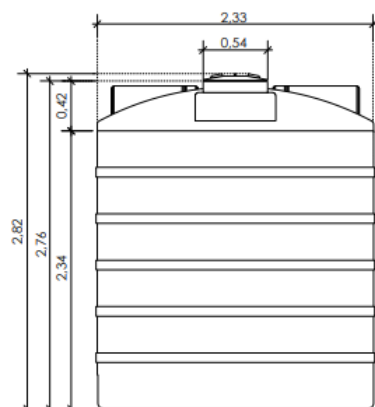
Fichas técnicas de tanques de almacenamiento de 22 000L, 15 000L, 10 000L



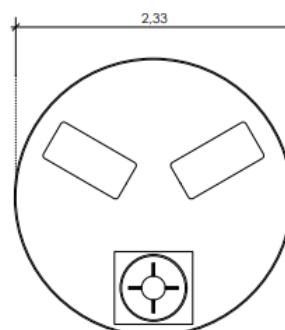
Fuente: (Ecotank, 2024)



Fuente: (Ecotank, 2024)



VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR

Colos en metros.

USO:

- Para almacenamiento de agua potable.
- Apto para almacenar hasta 350 tipos de sustancias químicas (se requiere revisión de tabla de resistencias químicas).

CAPACIDAD EFECTIVA:

10 000 L aprox (2642 gal).

MATERIAL:

- Copolímero de polietileno lineal de alta densidad, con estabilizador de UV.
- 100% virgen
- Materia prima certificada por la FDA (EE. UU) para consumo humano.

VIDA ÚTIL ESTIMADA:

50 años.

ACCESORIOS INCLUIDOS:

- Válvula boyo.
- Conector de HDPE de 2".
- Tapa rosca y ara de HDPE de 18".

GARANTÍA:

5 años contra defectos de fábrica.

PAÍS DE ORIGEN:

Costa Rica, América Central.

PROPIEDAD INTELECTUAL:

Ecotank Rotomolding S.A.
San José, Costa Rica.

Fuente: (Ecotank, 2024)

Anexo 7

Estado actual de la sarta de bombeo



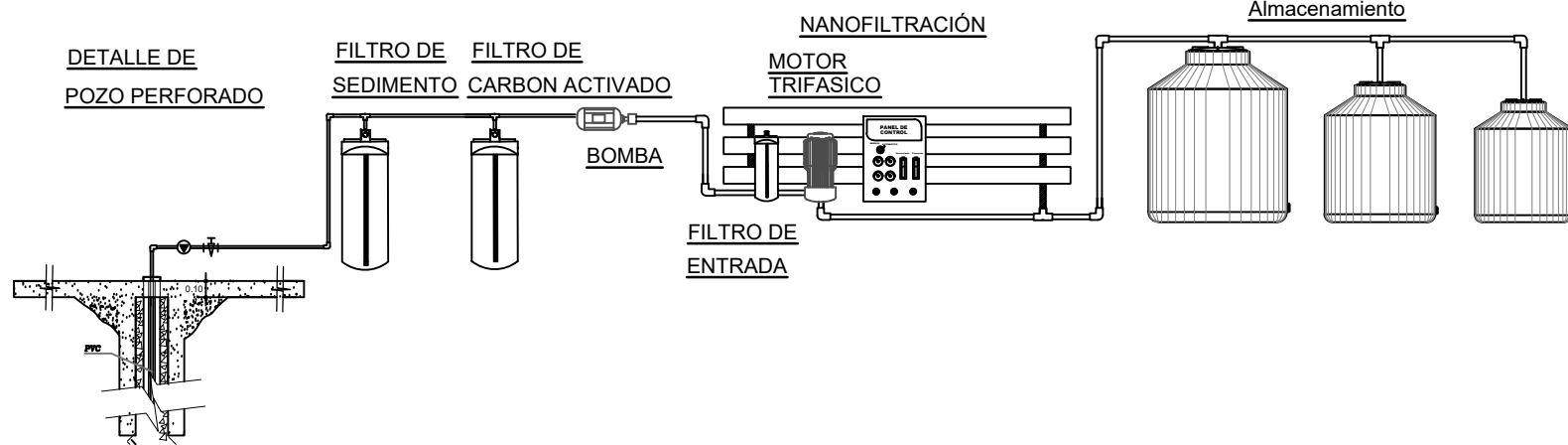
Fuente: Elaboración propia

Anexo 8

Tanques de almacenamiento de la comunidad



Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
INGENIERIA
UNI

AREA DE CONOCIMIENTO
DE AGRICULTURA

TRABAJO MONOGRAFICO
PARA OPTAR AL TITULO
DE INGENIERO QUIMICO

PROPUESTAS DE DISEÑO
DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE PARA LA
COMUNIDAD GOSEN,
MATEARE, MANAGUA

ELABORADO POR:
BR. BLANCA PAOLA PRAVIA
BR. PAULA ELISA PINEDA BUCARDO

TUTOR:
MSC. ING. WILFREDO VARELA
FONSECA.

FECHA: FEBRERO 2026

ESCALA: 1:75

LAMINA: 01/02

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6B315180		
NOMBRE	PINEDA BUCARDO PAULA ELISA		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA		
CARRERA	Ingeniería Química		
TURNO	Diurno	SEXO	F
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	D1FCE-QUI-R
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2020

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-QU	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

**LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>**

Correo:

Clave:

FECHA: 25/02/2026 10:52:52

Creado Por: 6B315180

Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:

-- NUEVO INGRESO 2026:

--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO

--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO

--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.

--PRESENCIAL: 9 DE MARZO

--SABATINO: 7 DE MARZO

--DOMINICAL: 8 DE MARZO

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6C53C5E2		
NOMBRE	PRAVIA GARCIA BLANCA PAOLA		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA		
CARRERA	Ingeniería Química		
TURNO	Diurno	SEXO	F
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	D1FCE-QUI-R
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2020

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-QU	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

**LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>**

Correo:
Clave:

FECHA: 25/02/2026 10:51:09

**Creado Por: 6C53C5E2
Actualizado Por:**

INICIO DE CLASES:

-- NUEVO INGRESO 2026:

--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO

--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO

--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.

--PRESENCIAL: 9 DE MARZO

--SABATINO: 7 DE MARZO

--DOMINICAL: 8 DE MARZO