



Facultad de Tecnología de la Construcción

"DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES EN LA
COMUNIDAD SAN BENITO DEL
MUNICIPIO DE TIPITAPA,
DEPARTAMENTO DE MANAGUA, 2022".

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Duban Enrique
Gallego Contreras
Carnet: 2017-0348U

Br. Kener Leonardo
Sevilla Sevilla
Carnet: 2017-0693U

Tutor:

MSc. Ing. Ricardo
Javier Fajardo
González

Asesor:

MSc. Ing. Grela
Patterson

08 de marzo de 2023
Managua, Nicaragua

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo monográfico consiste en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad de San Benito del municipio de Tipitapa del departamento de Managua. Tiene como objetivo principal mejorar las condiciones sanitarias de los pobladores mediante el tratamiento de las aguas producidas en la comunidad. El documento realizado contiene información general del área en estudio y los principales criterios utilizados en el diseño de la planta de tratamiento.

La planta de tratamiento fue diseñada para atender una población proyectada de 50,048 habitantes y un caudal de diseño de 195 l/s proyectado para un período de 20 años.

Para el diseño de la planta de tratamiento se presenta una propuesta a partir de un sistema de pretratamiento conformado por un canal de entrada, sistema de rejilla, desarenador y medidor de caudal Parshall. Estas unidades fueron diseñadas para atender el caudal de diseño total. En las siguientes unidades de tratamiento se presentan sistemas lagunares conformados por laguna anaeróbica, facultativa y maduración. El sistema lagunar fue configurado en tres módulos, es decir, que el caudal de diseño obtenido será repartido en tres partes iguales. Además, se diseñó un sistema de lecho de secado para tratar los lodos generados en la PTAR, y otras construcciones complementarias para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento y su correcto vertido.

El diseño propuesto para la planta de tratamiento va de acuerdo a las necesidades de la población, condiciones económicas y ambientales que se presentan en la comunidad de San Benito.

Así mismo la planta de tratamiento diseñada tendrá un costo total de inversión de \$2,623,257.13 dólares.

ÍNDICE

I. GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Aguas residuales.....	6
2.2. Tipos de aguas residuales.....	6
2.3. Características de las aguas residuales	7
2.3.1. Características físicas	7
2.3.2. Características químicas	9
2.3.3. Características biológicas	10
2.4. Contaminantes de importancia en el tratamiento de las aguas residuales	11
2.5. Proyección poblacional.....	12
2.5.1. Método de proyección poblacional.....	13
2.6. Caudal de diseño	13
2.6.1. Dotación.....	13
2.6.2. Consumo doméstico	13
2.6.3. Consumo comercial, industrial y público.....	14
2.6.4. Coeficiente de Retorno	14
2.6.5. Factor Harmon	15
2.6.6. Gasto de infiltración (Qinf)	15

2.6.7.	Gasto medio (Q_m)	15
2.6.8.	Gasto mínimo de aguas residuales (Q_{min}).....	16
2.6.9.	Gasto máximo de aguas residuales ($Q_{máx}$).....	16
2.6.10.	Gasto de diseño (Q_d).....	16
2.7.	Período de diseño	17
2.8.	Tratamiento para las aguas residuales.....	18
2.8.1.	Tratamiento preliminar	19
2.8.2.	Tratamiento primario.....	22
2.8.3.	Tratamiento secundario	23
2.8.4.	Tratamiento terciario	24
III.	DISEÑO METODOLÓGICO	26
3.1.	Actividades de campo	26
3.1.1.	Caracterización del área de estudio.....	26
3.1.2.	Recopilación de información	26
3.1.3.	Realización de encuesta socio – económica	26
3.1.4.	Levantamiento topográfico.....	26
3.2.	Actividades de gabinete	27
3.2.1.	Análisis de datos.....	27
3.2.2.	Estudio de población.....	27
3.2.2.1.	Tasa de crecimiento	27
3.2.2.2.	Proyección de la población futura	27
3.2.3.	Caudal de diseño	28
3.2.4.	Propuesta del tren de tratamiento de aguas residuales.....	29
3.2.4.1.	Pretratamiento.....	30
3.2.4.2.	Laguna anaeróbica primaria	34
3.2.4.3.	Laguna facultativa secundaria.....	34

3.2.4.4.	Laguna de maduración terciaria	34
3.2.5.	Cálculos hidráulicos	34
3.2.6.	Tratamiento de lodos	35
3.2.7.	Elaboración de planos de construcción	35
3.2.8.	Elaboración de costos y presupuestos	35
IV.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	36
4.1.	Localización del proyecto	36
4.2.	Población.....	37
4.3.	Actividades económicas.....	38
4.4.	Clima	39
4.5.	Hidrología.....	39
4.6.	Topografía y relieve.....	40
4.7.	Geomorfología.....	41
4.8.	Geología.....	41
4.9.	Geotecnia.....	41
4.10.	Servicios básicos existentes	42
V.	RESULTADOS.....	44
5.1.	Resultados de calidad de agua cruda	44
5.2.	Recopilación de información	44
5.3.	Población y caudal de diseño.....	45
5.4.	Tren de tratamiento de la PTAR.....	45
5.5.	Dimensionamiento de la planta de tratamiento	46
5.5.1.	Pretratamiento de la planta.....	46
5.5.1.1.	Canal de entrada.....	46
5.5.1.2.	Rejilla de limpieza manual.....	47
5.5.1.3.	Desarenador.....	47

5.5.1.4. Medidor Parshall	48
5.5.2. Sistema de tratamiento primario	49
5.5.2.1. Lagunas anaeróbicas	49
5.5.3. Sistema de tratamiento secundario.....	50
5.5.3.1. Lagunas facultativas.....	50
5.5.4. Sistema de tratamiento terciario	51
5.5.4.1. Lagunas de maduración	51
5.5.5. Tratamiento de lodos	52
5.5.5.1. Lechos de secados de lodos.....	52
5.6. Resultados esperados de la remoción de contaminantes	52
5.7. Costo y presupuesto de construcción	55
CONCLUSIONES.....	56
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS	61

ÍNDICE DE ANEXOS :

Anexo A : Resultado de encuesta socio económica	i
Anexo B : Población	iii
Anexo B.1 : Datos de la población de San Benito (datos de censo)	iii

Anexo B.2 : Proyección de la población de San Benito	iv
Anexo C : Caudal de diseño	v
Anexo D : Memoria de cálculo de la planta de tratamiento	viii
Anexo D.1 : Pretratamiento	viii
Anexo D.1.1 : Canal de entrada	viii
Anexo D.1.2 : Rejillas de limpieza	ix
Anexo D.1.3 : Desarenador	xi
Anexo D.1.4 : Medidor de caudal, Canal Parshall	xiii
Anexo D.2 : Tratamiento primario – laguna anaeróbica	xvi
Anexo D.3 : Tratamiento secundario – laguna facultativa	xviii
Anexo D.4 : Tratamiento terciario – lagunas de maduración 1 y 2	xxi
Anexo D.5 : Lecho de secado	xxv
Anexo D.6 : Línea de descarga	xxvi
Anexo E : Costos y presupuestos	xxviii
Anexo E.1 : Costos de Pretratamiento	xxviii
Anexo E.2 : Costos de obras complementarias	xxx
Anexo E.3 : Costos de lagunas anaeróbicas	xxx
Anexo E.4 : Costos de lagunas facultativas	xxxii
Anexo E.5 : Costos de lagunas de maduración	xxxii
Anexo E.6 : Costos de lechos de secado	xxxiii
Anexo E.7 : Costos de línea de conducción de salida PTAR	xxxiv
Anexo E.8 : Costos de cabezal de descarga	xxxv

ÍNDICE DE TABLAS :

Tabla 1 : Dotación de agua para consumo doméstico	14
Tabla 2 : Porcentajes de consumo comercial, público e industrial.....	14
Tabla 3 : Período de diseño de estructuras de saneamientos	17
Tabla 4 : Tecnologías empleadas en cada tratamiento	18

Tabla 5 : Criterios para diseño de rejillas de barras.....	20
Tabla 6 : Parámetros de vertidos de aguas residuales tratadas	29
Tabla 7 : Sistema de tratamiento propuesto en San Benito.....	30
Tabla 8 : Distribución de la población por barrio en San Benito 2019.....	38
Tabla 9 : Resultado de calidad de agua.....	44
Tabla 10 : Dimensionamiento del canal de entrada	46
Tabla 11 : Dimensionamiento del sistema de rejilla	47
Tabla 12 : Dimensionamiento del desarenador.....	48
Tabla 13 : Dimensionamiento del medidor Parshall.....	48
Tabla 14 : Dimensionamiento de lagunas anaeróbicas.....	49
Tabla 15 : Dimensionamiento de lagunas facultativas	50
Tabla 16 : Dimensionamiento de lagunas de maduración 1 y 2.....	51
Tabla 17 : Dimensionamiento de lechos de secados	52
Tabla 18 : Remoción de contaminantes en la PTAR.....	54
Tabla 19 : Presupuesto general PTAR- San Benito.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS :

Figura 1 : Macro localización del área de estudio.....	36
Figura 2 : Micro localización del área de estudio.....	37
Figura 3 : Topografía de la ciudad de San Benito.	40
Figura 4 : Tren de tratamiento de la PTAR	45

I. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

En Nicaragua el alto crecimiento poblacional y el aumento de las zonas urbanas, trae consigo mayores problemas relacionados a lo que son las aguas residuales, esto debido a los problemas de salud y daños al medio ambiente que estas pueden generar.

Las aguas residuales debido a la cantidad de contaminantes que estas puedan tener, pueden generar varias enfermedades tales como: meningitis, algunos tipos de parálisis, enfermedades respiratorias, diarreas y vómitos, miocarditis, anomalías congénitas de corazón, hepatitis. En relación al medio ambiente estos desechos pueden contaminar ríos, lagos e incluso afectar la flora y fauna. De ahí la necesidad de darle tratamiento a las aguas residuales antes de ser vertidas a un cuerpo receptor.

En el tratamiento de las aguas residuales se busca ante todo, la eliminación de todos los contaminantes presentes en las aguas de descarga, por lo que se hace necesario utilizar un equipo adecuado para la remoción de los contaminantes, que son materiales derivados de actividades domésticas o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública, contaminación del medio ambiente y por consideraciones estéticas, deben recolectarse y dárseles un tratamiento adecuado antes de ser vertidas en ríos, quebradas u otro cuerpo receptor.

De ahí la inquietud y preocupación de la realización de este proyecto que consiste en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), para la ciudad de San Benito en virtud de mejorar la calidad de vida de la población y en busca de una solución integral al problema que genera el vertido de las aguas residuales a las fuentes hídricas de la zona.

1.2. ANTECEDENTES

En Nicaragua uno de los mayores problemas que se ha venido presentando, es relacionado sobre el tratamiento de las aguas residuales que se producen en todo el país. El principal problema que supone la falta de una red de saneamiento en San Benito, además del deterioro ambiental y la producción de malos olores en el interior y el entorno de la ciudad, son las enfermedades originadas o potenciadas por la presencia de estas aguas.

Históricamente, la actividad principal de la población ha sido la agricultura, generalmente en explotaciones no muy extensas, y conviviendo con la ganadería y la pesca, también de tamaño reducido (Gorritz, 2020). En la actualidad, la llegada de algunas industrias y factorías ha permitido el aumento a la producción de aguas residuales industriales.

Frente a la inexistencia de red de saneamiento, el vertido del agua utilizada en los inmuebles se realiza mediante diversos medios. En San Benito, un total de 3519 viviendas, un 72.6%, utilizan letrinas o vierten esta agua a la vía pública o a cursos de agua. El segundo método más usual son los pozos negros o sumideros presentes en 651 viviendas, un 13.4% del total. El resto de la población, 14% de las viviendas, utiliza otros medios compartiendo la letrina del vecino o haciendo un hoyo y enterrando los residuos fisiológicos, esto ocurre principalmente al final de los barrios y zonas donde se están asentando nuevas poblaciones (ENACAL; BCIE, 2019).

Por otro lado, existe una gran cantidad de residuos que se depositan directamente en las calles, degradando el entorno y reduciendo aún más la calidad de las aguas que discurren libremente por las calles. Este problema se agrava en aquellos puntos de acumulación de agua, en los que los charcos permanecen junto con la presencia de estos residuos sólidos durante más tiempo.

Es de vital importancia dotar de un servicio apropiado de una planta de tratamiento de aguas residuales a través de tecnologías desarrolladas para propiciar la calidad de vida de las personas y el desarrollo socio-económico de la ciudad.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La comunidad de San Benito en el municipio de Tipitapa, presenta la gran problemática sobre el tratado de las aguas residuales, ya que no cuenta con un sistema adecuado para recoger y eliminar las sustancias contaminantes producidas en la comunidad, para, posteriormente, ser devuelta al ciclo del agua.

En el año 2019 de acuerdo a un diagnóstico hecho por la empresa nicaragüense de acueductos y alcantarillados sanitarios (ENACAL) y el banco centroamericano de integración económica (BCIE) en la comunidad de San Benito, las aguas residuales de las viviendas o aguas grises que son las aguas sobrantes de los baños, duchas y lavadoras, son vertidas en las calles a través de canales improvisados que las mismas personas han hecho, en otro de los casos han excavado huecos frente a sus casas que sirven como depósito de aguas residuales que reutilizan para regar los patios y jardines en época seca provocando de igual manera un aumento de la enfermedades en la población, estas aguas son vertidas directamente contaminando el entorno, lo cual perjudica el medio ambiente principalmente las fuentes hídricas que la comunidad de San Benito presenta en su entorno (ENACAL; BCIE, 2019).

Conociendo la gran importancia de proporcionar a la población las condiciones de salubridad óptima que contribuya a una mejor calidad de vida, y que de igual manera contribuya a no deteriorar los recursos naturales, es necesario disponer de sistemas adecuados para la recolección y tratamiento de las aguas residuales, con el fin de disminuir las cantidades de contaminantes que estas presentan antes de ser vertidas.

Es por eso, que en este estudio se propone el diseño de una planta de tratamiento para las aguas residuales en la comunidad de San Benito y de esta manera se pueda dar solución a los problemas que presenta esta comunidad.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

1. Diseñar la planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad de San Benito del municipio de Tipitapa, departamento de Managua.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Analizar la calidad del agua para el diseño de la planta de tratamiento.
2. Recopilar información de datos como: Censos, diagnóstico, problemática sanitaria, planos y documentos de la situación actual del lugar para consideración en el diseño de la planta de tratamiento.
3. Determinar el tren de tratamiento para el diseño de la planta de tratamiento.
4. Verificar los parámetros de diseño conforme a la normatividad y reglamento existente, para la evaluación del sistema de tratamiento de agua residual.
5. Realizar los cálculos hidráulicos de las diferentes tecnologías propuestas.
6. Diseñar los planos constructivos y especificaciones para la planta de tratamiento.
7. Elaborar los costos y presupuestos para el proyecto.

II. MARCO TEÓRICO

Las Plantas de Tratamiento, son un conjunto de operaciones y procesos unitarios de origen físico-químico o biológico (DISIN S.A., 2019). Se trata de una instalación que cuenta con sistemas diseñados especialmente para retirar los contaminantes que son vertidos en el agua, con el objetivo de hacer que el agua no represente un riesgo para la salud o para el medio ambiente al ser incorporada a un mar, lago o río.

Estos sistemas se encargan de llevar a cabo procesos físicos, químicos y biológicos en las aguas que son producidas por fábricas, empresas, bodegas o cualquier comunidad. Permiten la eliminación de los distintos agentes contaminantes que están presentes en el agua que es usada y desechada por las personas.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser diseñadas, construidas y operadas con el objetivo de convertir el líquido cloacal proveniente del uso de las aguas de abastecimiento, en un efluente final aceptable, y para disponer adecuadamente de los sólidos ofensivos que necesariamente son separados durante el proceso. Esto obliga a satisfacer ciertas normas o reglas capaces de garantizar la preservación de las aguas tratadas al límite de que su uso posterior no sea descartado.

El nivel de descontaminación del agua depende de la calidad en los métodos que se realicen en la planta (DISIN S.A., 2019).

Funciones de una planta de tratamiento

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, realiza la limpieza del agua usada y las aguas residuales para que pueda ser devuelto de forma segura a nuestro medio ambiente (SPENA GROUP, 2016).

- Eliminar los sólidos, desde plásticos, trapos y vísceras hasta arena y partículas más pequeñas que se encuentran en las aguas residuales.

- Reducir la materia orgánica y los contaminantes – bacterias útiles y otros microorganismos naturales que consumen materia orgánica en las aguas residuales y que luego se separan del agua.
- Restaurar el oxígeno – el proceso de tratamiento asegura que el agua puesta de nuevo en nuestros ríos o lagos tiene suficiente oxígeno para soportar la vida.

2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica. Se trata de agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella.

Respecto a la contaminación que pueden portar las aguas residuales hay que decir que se trata de una variedad casi tan amplia como las acciones que el ser humano puede realizar sobre el agua. Se pueden encontrar productos químicos procedentes de uso doméstico (jabones, detergentes, cosméticos, etc.), productos sólidos (papel higiénico, toallitas “desechables” de algodón, plásticos de diversos tamaños, etc.), metales pesados y muy contaminantes procedentes de la industria (plomo, zinc, mercurio, cadmio, bromo, etc.), y también restos orgánicos, procedentes, principalmente, de la materia fecal y los orines (Ecología Verde, 2018).

2.2. Tipos de aguas residuales

Las aguas residuales o aguas sucias son una mezcla de residuos sólidos y líquidos de diferentes naturalezas, de acuerdo a su origen, se pueden clasificar en:

- **Domésticas**

Este tipo de agua residual es el resultado del uso del agua en las viviendas y núcleos urbanos, donde también se concentran gran cantidad de comercios o lugares de trabajo. Se trata de un agua residual que es especialmente alta en

contaminantes orgánicos y sólidos sedimentables, así como en bacterias. Se trata del agua que desechamos cuando tiramos de la cadena del inodoro, cuando nos duchamos, cuando usamos el fregadero de la cocina o, incluso, del agua de las piscinas (Ecología Verde, 2018).

- **Industriales**

Este tipo de agua residual es el que resulta de los procesos que se llevan a cabo en el sector secundario de la economía, es decir, el referido a las actividades industriales. Aquí se incluye el agua que se desecha desde las fábricas, a las plantas de producción energética o cualquier otra actividad que esté destinada a la fabricación de productos consumibles o productos manufactureros. Este tipo de agua residual se caracteriza por contener un elevado nivel de componentes contaminantes del tipo de metales pesados, entre los que se encontraría el plomo, el níquel, el cobre, el mercurio, o el cadmio entre muchos otros (Ecología Verde, 2018).

- **Aportes incontrolados**

Incluyen todos los caudales recogidos en la red provenientes de desbordamientos, bypass de estaciones de bombeo, entre otros (La Contaminación, 2019)

2.3. Características de las aguas residuales

2.3.1. Características físicas

- **Sólidos suspendidos**

Son aquellos que son visibles y flotan en las aguas residuales entre superficie y fondo. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos, a través de proceso de filtración o sedimentación. Se incluyen en esta clasificación las grandes partículas que flotan, tales como arcilla, sólidos fecales, restos de papel, madera en descomposición, partículas de comida y basura, de los cuales un 70% son orgánicos y un 30% inorgánicos.

- **Sólidos disueltos**

Es la denominación que reciben todos los sólidos que quedan retenidos en un proceso de filtración fina. En general, los sólidos disueltos son en un 40% orgánicos y un 60% inorgánicos. Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como resultado del uso del agua y puede que deban eliminarse si se va a reutilizar el agua residual.

- **Sólidos totales**

Se incluyen todos los sólidos existentes en las aguas residuales y que en promedio son un 50% orgánico. Es precisamente esta unidad orgánica de los sólidos presentes en las aguas residuales la que es sujeto de degradación y se constituye como requisito para una planta de tratamiento de aguas residuales (Ramalho, 2007).

- **Olor**

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento.

- **Color**

Se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y olor. El color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Algunas aguas residuales pueden añadir colores diferentes según sean los compuestos químicos que utilicen en su proceso productivo (La Contaminación, 2019).

- **Temperatura**

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua de abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial.

Afecta el desarrollo de la vida acuática y las reacciones químicas y velocidades de reacción. El oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. Este efecto se ve amplificado cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales del cuerpo receptor (La Contaminación, 2019).

2.3.2. Características químicas

- **Demanda biológica de oxígeno (DBO)**

Es la cantidad de oxígeno expresada en mg/l., necesaria para la degradación biológica de la materia orgánica contenida en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales en general residuales. El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días “DBO₅” (CENAGUA, 1999, p. 20).

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es la cantidad de oxígeno expresada en mg/l, necesario para la degradación química de la materia orgánica contenidas en aguas servidas o naturales, se mide en el laboratorio bajo condiciones determinadas. El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales.

- **Materia orgánica**

En un agua residual de concentración media, un 75% de los sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica procedente de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno y, en algunos casos, nitrógeno. Además, otros elementos importantes que pueden estar presentes son el azufre, el fósforo y el hierro.

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ion-hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion de hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas (Cidta usal, 2022, pág. 41)

2.3.3. Características biológicas

- **Bacterias**

Las bacterias se pueden clasificar como bacterias procariotas unicelulares. En función de su forma, las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: esferoidales, bastón, bastón curvado y filamentosas. El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, es amplio y de gran importancia.

- **Hongos**

Los hongos son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y quimioheterótrofos. Muchos de los hongos son saprófitos, basan su alimentación en materia orgánica muerta. Junto con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biósfera. Desde el punto de vista ecológico, los hongos presentan ciertas ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

- **Algas**

Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Este fenómeno, que se conoce con el nombre de crecimiento explosivo, puede conducir a que ríos, lagos y embalses sean cubiertos por grandes colonias flotantes de algas (Cidta usal, 2022, p. 51).

2.4. Contaminantes de importancia en el tratamiento de las aguas residuales

- **Sólidos suspendidos**

Pueden originar depósitos de lodos y condiciones anaeróbicas cuando se vierte agua residual sin tratar en un entorno acuático.

- **Materia orgánica biodegradable**

Principalmente proteínas, carbohidratos y grasas animales. Usualmente se mide en función de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y de la DQO (Demanda Química de Oxígeno). Si las aguas se descargan sin tratar, puede llevar al agotamiento de oxígeno a los recursos naturales y al desarrollo de condiciones sépticas.

- **Nutrientes**

Tanto el nitrógeno, como el fósforo y el carbono son esenciales para el crecimiento de plantas y protistas. Cuando se vierten al entorno acuático, éstos pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada.

- **Materia orgánica refractaria**

Resistente al tratamiento convencional. Incluye detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.

- **Sólidos inorgánicos disueltos**

Como el calcio, sodio y sulfatos, que posiblemente deban ser removidos para reusar del agua.

- **Organismos patógenos**

Causantes de transmitir enfermedades contagiosas.

2.5. Proyección poblacional

Un factor importante en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y un sistema de alcantarillado, es la proyección de la población, este es un dato que se debe tener mucho cuidado, ya que mediante este se determina la cantidad de caudal que será tratado en la planta. Para la determinación de este se necesita varios factores tales como censo poblacional del lugar del proyecto y de igual el método proyección que se utilizará de acuerdo a indicaciones de las normas competentes.

Una proyección de la población, es un cálculo que refiere el crecimiento aproximado previsto en el número de habitantes de un lugar para un año futuro dado. Es un dato importante porque da como resultado el aproximado de una población para la realización del diseño de un proyecto.

2.5.1. Método de proyección poblacional

Según las Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, presenta diferentes métodos como es el método aritmético, tasa de crecimiento a porcentaje decreciente, método gráfico de tendencia, método gráfico comparativo para poder determinar la proyección poblacional, pero el más usado es el método de crecimiento geométrico.

El método de crecimiento geométrico es el más aplicable a ciudades que no han alcanzado su máximo desarrollo y que se mantienen creciendo a una tasa fija. Es el método de mayor uso en Nicaragua.

2.6. Caudal de diseño

2.6.1. Dotación

La dotación es una cantidad (volumen por unidad de tiempo) asignada a la unidad consumidora (habitante, área de riego, lavado, etc.) y está expresada en litros por habitante por día.

Para fijar la dotación, hay que tomar en cuenta los estudios de demanda para la población o de poblaciones similares, si los hubiere. Cuando no se haya realizado ninguno, las normas de diseño de las instituciones encargadas en esta área proporcionan información para poder realizar estos cálculos.

En las tablas siguientes se muestran valores guías de dotaciones necesarias para la realización de un proyecto.

2.6.2. Consumo doméstico

Según los criterios presentados por la autoridad nacional del agua (ANA), en la guía técnica para el diseño de sistema de alcantarillado sanitario y sistema de tratamiento de aguas residuales, se presenta la dotación necesaria para determinación del consumo doméstico.

Tabla 1 : Dotación de agua para consumo doméstico.

RANGO DE LA POBLACIÓN	DOTACIÓN (L/HAB/DÍA)
0 - 5,000	100
5,000 - 10,000	105
10,000 - 15,000	110
15,000 - 20,000	120
20,000 – 30,000	130
30,000 – 50,000	155
50,0000 – 100,000	160

Fuente: . Guía técnica para el diseño de SAS Y PTAR, ANA.

2.6.3. Consumo comercial, industrial y público

Para las localidades y ciudades del país, exceptuando Managua, se deberán usar los porcentajes del cuadro siguiente, en base a la dotación doméstica diaria.

Tabla 2: Porcentajes de consumo comercial, público e industrial.

CONSUMO	PORCENTAJE
Comercial	7
Público	7
Industrial	2

Fuente: Guía técnica para el diseño de SAS Y PTAR, ANA.

2.6.4. Coeficiente de Retorno

La cantidad de aguas residuales generadas por una comunidad, es menor a la cantidad de agua potable que se le suministra, debido a que existen pérdidas a través del riego de jardines, abrevadero de animales, limpieza de viviendas y otros usos externos. El porcentaje de agua distribuida que se pierde y no ingresa a las redes de alcantarillado, depende de diversos factores, entre los cuales están: los hábitos y valores de la población, las características de la comunidad, la dotación

de agua y las variaciones del consumo según las estaciones climáticas de la población.

Según las Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, en el caso de Nicaragua el coeficiente de retorno utilizado será de 80%.

2.6.5. Factor Harmon

La relación entre el caudal medio diario y el caudal máximo horario se denomina “coeficiente de flujo máximo”. Este coeficiente varía de acuerdo a los mismos factores que influye en la variación de los caudales de abastecimiento de agua (clima, patrón de vida, hábitos, etc.), pero es afectado en menor intensidad, en función al porcentaje de agua suministrada que retorna a las alcantarillas y al efecto regulador del flujo a lo largo de los conductos de alcantarillado, que tiende a disminuir los caudales máximos y a elevar los mínimos.

El factor de relación de Harmon deberá tener un valor no menor de 1.80 ni mayor de 3.00.

2.6.6. Gasto de infiltración (Qinf)

- 1) Para tuberías con juntas de mortero se les deberá asignar un gasto de 10,000 L/ha/día.
- 2) Para tuberías con juntas flexibles se les deberá asignar un gasto de 5000 L/ha/día.
- 3) Para tuberías plásticas 2L/hora/100 m de tubería y por cada 25 mm de diámetro.

2.6.7. Gasto medio (Qm)

El gasto medio de aguas residuales domésticas se deberá estimar igual al 80% de la dotación del consumo de agua.

2.6.8. Gasto mínimo de aguas residuales (Q_{min})

Para la verificación del gasto mínimo en las alcantarillas se deberá aplicar la siguiente relación:

$$Q_{\min} = \frac{1}{5} Q_m \quad (\text{Ec. 2})$$

2.6.9. Gasto máximo de aguas residuales (Q_{máx})

El gasto máximo de aguas residuales domésticas se deberá determinar utilizando el factor de relación de Harmon.

$$Q_{\max} = \left[1 + \frac{14}{4+P^2} \right] Q_m \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

Q_{máx} : Gasto máximo de aguas residuales domésticas.

P: Población servida en miles de habitantes.

Q_m : Gasto medio de aguas residuales domésticas.

El factor de relación deberá tener un valor no menor de 1.80 ni mayor de 3.00.

2.6.10. Gasto de diseño (Q_d)

Si el área a servir tuviera más de uno de los usos antes señalados, los caudales de aguas residuales se deberán estimar como la suma de las contribuciones parciales por uso, debiéndose efectuar el diseño de los tramos de alcantarillado en base del aporte calculado para cada uso, y no usando el valor promedio por área unitaria. El gasto de diseño hidráulico del sistema de alcantarillas se deberá calcular de la forma siguiente:

$$Q_d = Q_{\max} + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{com}} + Q_{\text{ind}} + Q_{\text{int}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

Q_{com} : Gasto comercial

Q_{ind} : Gasto industrial

Q_{int} : Gasto institucional o público

2.7. Período de diseño

El período de diseño es el tiempo durante el cual una obra va a prestar un servicio satisfactorio y se empieza a contar desde el momento en que entra en servicio la obra.

El período de diseño se estimará en base a factores que inciden en la capacidad y buen funcionamiento del sistema, cumpliendo los parámetros bajo los cuales será diseñado. Los parámetros de mayor relevancia en la definición del período de diseño son la población a ser atendida a lo largo de este período y la vida útil de los materiales y equipos.

En la tabla 3, se muestran los criterios presentados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Tabla 3 : Período de diseño de estructuras de saneamientos

Tipos de estructuras	Características especiales	Periodo de diseño/años
Colectoras principales emisoras de descarga	Difíciles y costosos de agrandar	10 a 50
Tubería secundaria hasta Φ 375 mm		25 o más
Plantas de tratamiento de aguas servidas	Pueden desarrollarse por etapas.	10 a 25
Edificación y estructuras de concreto		50
Equipos de bombeo a. De gran tamaño b. Normales		10 a 25 10 a 15

Fuente: *Guía técnica para el diseño de SAS Y PTAR, ANA.*

2.8. Tratamiento para las aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales son procesos que convierten los contaminantes que contiene el agua a un efluente que se puede reintegrar en el ciclo del agua, provocando unos mínimos problemas ambientales y que puede reutilizarse con otros propósitos.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales hacen exactamente todo el proceso de depuración y tratamiento de las aguas negras y grises. Dependiendo de cada necesidad, es posible que se cuente con plantas que se encarguen específicamente de las aguas industriales o de las domésticas (Aquaquímica, 2022).

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, para poder llevar a cabo esas eliminaciones de contaminantes existen tres divisiones principales en la cual se clasifica el funcionamiento de la planta de tratamiento. Estos tratamientos que se empleen van a ser determinados de acuerdo a la contaminación que tenga el agua o si tendrá un posible reúso.

En la tabla 5, se muestran algunas de las unidades más comunes en las diversas etapas de un tren de tratamiento, en conjunto con las características más prominentes de las mismas.

Tabla 4 : Tecnologías empleadas en cada tratamiento

TIPOS DE UNIDADES DE TRATAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS		
Etapa en el tratamiento	Unidades más comunes de tratamiento	Características
Tratamiento Preliminar	Rejas, tamices, desarenadores, medidores de caudal y retenedores de grasas.	Remoción de sólidos gruesos y sedimentables y grasas.
Tratamiento Primario	Decantadores (tanques sépticos e Imhoff), campos de oxidación, pozos de absorción y filtros anaerobios.	Reducción de sólidos en suspensión y de la DBO ₅ de las aguas residuales.

Etapa en el tratamiento	Unidades más comunes de tratamiento	Características
Tratamiento Secundario	Lagunas de estabilización (facultativas y anaerobias), lodos activados, filtros anaerobios, zanjas de oxidación, lechos bacterianos y biofiltros.	Remoción de materia orgánica biodegradable, no retirada por el tratamiento primario.
Tratamiento Terciario	Lagunas de maduración, humedales, lechos bacterianos y desinfección.	Tratamiento adicional, elimina sólidos suspendidos y sustancias disueltas en el agua después del tratamiento secundario.

Fuente: CONAGUA.

2.8.1. Tratamiento preliminar

Tiene la función de preparar el agua para tratamientos posteriores. El tratamiento preliminar se define como aquellos procesos de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales que cuya presencia pueden provocar problemas de funcionamiento para los diferentes procesos que constituye una planta de tratamiento. Está constituido fundamentalmente por proceso físico, en la que se puede incluir la eliminación de sólido grueso y aceites o grasas (Quiroz & Méndez, p. 151) .

Con un pretratamiento se pretende separar del agua residual tanto por operaciones físicas como mecánicas, la mayor cantidad de materias que por su naturaleza o por su tamaño crearían problemas en los tratamientos posteriores tales como obstrucción de bombas y tuberías, depósitos de arenas, rotura de equipos.

En el tratamiento preliminar, para poder llevar a cabo estas eliminaciones se emplea alguno de los siguientes procesos:

- **Rejillas**

El pretratamiento es uno de los procesos más antiguos. En las plantas de tratamiento de aguas residuales, las rejillas remueven los contaminantes gruesos procedentes de la corriente para proteger de posibles daños la operación y al equipo de las unidades siguientes.

Algunas de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales modernas emplean rejas, rejillas gruesas y rejillas finas. Las rejas (hasta 15 cm de paso) y las rejillas gruesas (6 mm a 2.5 cm de apertura) eliminan sólidos grandes, trapos y sólidos de gran tamaño de las aguas residuales. Las rejillas finas (1.5 a 6 mm de apertura) se pueden utilizar en los sistemas sin tratamiento primario para eliminar el material que puede alterar significativamente el funcionamiento y el mantenimiento de las unidades de proceso del tren de agua y del tren de lodos de los procesos siguientes (CONAGUA, p. 1).

La siguiente tabla muestra los parámetros de diseño de la rejilla de barra:

Tabla 5 : Criterios para diseño de rejillas de barras

Parámetro	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Sección recta de la barra:		
Anchura (mm)	5-15	5-15
Profundidad (mm)	25-37.5	25-37.5
Separación entre barras (mm)	25-50	15-75
Ángulo con la vertical (grados)	30-45	0-30
Velocidad de aproximación (m/s)	0.30-0.60	0.60-1.10
Pérdida de carga admisible (m)	0.15	0.15

Fuente: Guía técnica para el diseño de SAS Y PTAR, ANA.

- **Desarenador**

Los desarenadores en el tratamiento de aguas residuales remueven arena, grava, cenizas, partículas u otro material sólido pesado que tenga velocidad de asentamiento o peso específico bastante mayor que el de los sólidos orgánicos putrescibles de las aguas residuales. Se deberán ubicar antes de todas las demás unidades de tratamiento, si con ello se facilita la operación de las demás etapas del proceso. Sin embargo, la instalación de rejillas, antes del desarenador, también facilita la remoción de arena y la limpieza de los canales de desarenador. Se debe de proveer un mínimo de dos unidades (Legislación Nicaragüense, 2006).

Deberán emplearse desarenadores cuando sea necesario cumplir con lo siguiente:

- Protección de equipos mecánicos contra la abrasión.
- Reducción de la deformación de depósitos pesados en tuberías, conductos y canales.
- Reducción de la frecuencia de limpieza de la arena acumulada en tanques de sedimentación primaria y digestores de lodos.
- Minimizar las pérdidas de volumen en tanques de tratamiento biológico.

- **Medidores de caudales de aguas residuales**

La medición de caudales en cualquier sistema de tratamiento es de gran importancia, por lo que se deberán instalar dispositivos para regular el caudal en la planta de tratamiento.

Los medidores son unidades de bajo costo, en relación con el costo total de la obra y suministran datos importantes para la operación de los sistemas de tratamiento. Los medidores más usados son: vertederos proporcionales, medidor Parshall, medidor Venturi y vertederos rectangulares y triangulares.

- **Medidor Parshall**

Es el de mayor uso en plantas de tratamiento en el país. Es un medidor de flujo crítico de fácil construcción. Entre sus ventajas destacan que: depende de sus propias características hidráulicas, una sola determinación de carga es suficiente, la pérdida de carga es baja, posee sistema de auto limpieza que hace que no haya obstáculos capaces de provocar formación de depósitos.

- **Trampas de grasas y arenas**

Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es similar al de un tanque séptico.

2.8.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario en una planta de tratamiento de aguas residuales es aquel que elimina los sólidos en suspensión presentes en el agua. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación – floculación y filtración.

- **Sedimentación**

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales.

- **Tanques Imhoff**

Son unidades de tratamiento primario (anaerobio), de dos pisos, en el que la sedimentación se produce en el compartimiento superior y la digestión de los sólidos sedimentados en el inferior.

El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimentos: cámara de sedimentación, cámara de digestión de lodos y área de ventilación y acumulación de nata.

- **Laguna anaeróbica**

La laguna anaerobia es un biorreactor que combina la sedimentación de sólidos y su acumulación en el fondo, con la flotación de materiales del agua residual en la superficie y con biomasa activa suspendida en el agua residual o adherida a los lodos sedimentados y a la nata flotante.

2.8.3. Tratamiento secundario

Proceso que elimina de las aguas la materia orgánica biodegradable y que no ha sido retirada por el tratamiento primario. Consiste en provocar el desarrollo de microorganismos capaces de asimilar la materia orgánica, tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso, en el que se respeten los requisitos que se establecerán reglamentariamente (Legislación Nicaragüense, 2006).

Dentro de los procesos que se pueden realizar en un tratamiento secundario tenemos los siguientes:

- **Filtros percoladores**

Un filtro percolador consiste en un tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles.

- **Reactor UASB (RAFA)**

Reactor anaerobio de flujo ascendente en manto de lodos. En este tipo de reactor el agua es introducida por el fondo del reactor a través de unas boquillas uniformemente distribuidas, pasa a través de un manto de lodos y posee una

estructura de sedimentación integrada al mismo tanque que permite el retorno de los lodos de manera natural al espacio de reacción inferior.

- **Filtros anaerobios**

En este tipo de reactores existe un medio de soporte fijo inerte al cual crecen adheridos los microorganismos. El agua residual puede tener un flujo vertical ascendente o descendente a través de la cámara. Usualmente no tiene un compartimiento final de sedimentación.

- **Laguna facultativa**

En el tratamiento de las aguas servidas, se denominan lagunas facultativas a las lagunas que operan en su estrato superior como lagunas aerobias, en su estrato inferior como lagunas anaerobias y en el estrato intermedio con la presencia de bacterias facultativas se crea un estrato particular llamada zona facultativa.

2.8.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario o avanzado se entiende como el tratamiento adicional que se requiere para remover contaminantes remanentes, ya sean que estén suspendidos, en estado coloidal o disueltos, después del tratamiento secundario convencional.

La aplicación del tratamiento terciario obedece a la necesidad de remover materia orgánica, sólidos suspendidos y disueltos y otras sustancias a niveles mucho más estrictos que los alcanzados por un sistema secundario convencional, siendo las causas principales:

- Reusar el agua en aplicaciones industriales.
- Evitar interferencias con la desinfección e incrementar la eficiencia de remoción de microorganismos.

En un tratamiento terciario o también conocido como tratamiento avanzado se puede emplear los siguientes sistemas:

- **Lagunas de maduración**

Las lagunas de maduración o pulimento, en general prosiguen de un proceso de laguna facultativa primaria o secundaria, están diseñadas principalmente para el tratamiento terciario, es decir, la eliminación de patógenos, nutrientes.

- **Biofiltro con espejo de agua**

En estos sistemas el flujo de agua es de tipo horizontal superficial, actuando como un pantano o ciénaga, en el que la vegetación emergente se encuentra inundada hasta una profundidad de 10 a 45 cm. A los sistemas FWS (Humedales superficiales de flujo superficial-Sistemas de Flujo Libre), normalmente se les aplica agua residual pretratada en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los sistemas de flujo libre también se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales próximos.

- **Humedales (Biofiltros)**

En estas unidades se combinan los procesos de filtración, precipitación y biodegradación en una sola etapa de tratamiento. Son filtros biológicos de grava o piedra volcánica, sembrados con plantas de pantano y atravesados de forma horizontal o vertical con aguas residuales pretratadas. Un humedal puede llegar a tener una vida útil de más de veinte años, ya que es un ciclo de vida renovable.

III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Actividades de campo

3.1.1. Caracterización del área de estudio

Esta etapa se llevó a cabo para poder determinar, todos aquellos aspectos que puedan influir en el área de estudio y que repercuten en el diseño de la planta de tratamiento y además para determinar posibles ubicaciones para el desarrollo del proyecto.

3.1.2. Recopilación de información

Para esta labor se llevaron a cabo visitas a la institución encargada de esta área, como es el caso de la empresa nicaragüense de acueductos y alcantarillados ENACAL y además de recopilación de información por medio sitios web como por ejemplo la página en línea del instituto nacional de información y desarrollo INIDE, con el fin obtener datos sobre la situación actual del lugar.

3.1.3. Realización de encuesta socio – económica

Se llevó a cabo la realización de una encuesta socio económica en colaboración con ENACAL para poder determinar la calidad de vida de la población, la necesidad y aceptación del proyecto.

3.1.4. Levantamiento topográfico

Esta actividad consistía en poder llevar a cabo un levantamiento topográfico para poder determinar las posibles ubicaciones de la planta de tratamiento, pero durante el transcurso de la elaboración de este proyecto, la empresa ENACAL había realizado un levantamiento topográfico reciente del lugar, siendo esta información facilitada posteriormente en beneficio del proyecto monográfico. En la información topográfica, brindada, se nos proporcionó información del lugar de ubicación y el área del terreno que tiene previsto ENACAL para la debida implementación de una PTAR en San Benito.

3.2. Actividades de gabinete

3.2.1. Análisis de datos

Se llevó a cabo un análisis previo de todos los datos recopilados para poder determinar qué tipo de sistema proponer para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y que de igual manera sea acorde a las necesidades del lugar de estudio.

3.2.2. Estudio de población

3.2.2.1. Tasa de crecimiento

El método utilizado fue el Método de crecimiento geométrico, ya que es el más empleado en este tipo de circunstancias. La tasa de crecimiento anual obtenida a partir de los censos hechos por el INIDE y por ENACAL fue de 4.03%, lo cual es mayor a lo estipulado en la norma del ANA, la cual propone en uno de sus criterios que la tasa de crecimiento no tiene que ser mayor al 4%, por lo tanto, se utilizara una tasa de crecimiento igual al 4% para el desarrollo de este proyecto. Para determinar la tasa de crecimiento se utilizó la Ec.5.

$$r(\%) = \left[\frac{P_n}{P_o} \right]^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (EC. 5)$$

Donde: r (%): Tasa de crecimiento en el periodo de diseño.

P_n: Población del año n.

P_o: Población al inicio de periodo de diseño.

n: Número de años

3.2.2.2. Proyección de la población futura

De acuerdo a la Guía técnica para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamientos de aguas residuales, se proyectó la población para un período de diseño de 20 años y una tasa de crecimiento anual de 4%, la población proyectada resultó en 50,048 habitantes. Para proyectar la población se usó la (Ec.6).

$$P_n = P_0 * (1 + r_{\%})^n \quad (\text{Ec. 6})$$

En el anexo B.2, se presentan los datos de proyección poblacional desarrollados.

3.2.3. Caudal de diseño

El caudal de diseño se calculó a partir de la suma del caudal máximo, los caudales especiales (caudal comercial, público e industrial), y el caudal de infiltración de acuerdo a lo estipulado en la guía técnica del ANA donde se presentan todos los criterios necesarios para su determinación.

- **Caudal máximo ($Q_{m\acute{a}x}$):**

El caudal máximo es obtenido a partir de la multiplicación entre el caudal medio y el factor de Harmon el cual tiene que tener un valor no menor de 1.80 ni mayor de 3.0.

- **Caudales especiales comercial, público e industrial.**

Los caudales especiales se obtuvieron a partir de los porcentajes de consumos establecidos por el ANA, dicho porcentaje se obtiene del gasto medio proyectado.

- **Caudal de infiltración (Q_{inf}):**

En el caso del caudal de infiltración este fue un dato proporcionado por parte de ENACAL, ya que este se obtiene a partir del alcantarillado sanitario.

- **Caudal de diseño (Q_d):**

El caudal de diseño se obtuvo a partir de la suma de todos los caudales calculados. Ver anexos C.

3.2.4. Propuesta del tren de tratamiento de aguas residuales

Se llevó a cabo una evaluación y análisis de diferentes propuestas que se pueden emplear para el diseño de una planta tratamiento de aguas residuales, en dicha evaluación se tomaron diferentes aspectos naturales y eficientes, además del cumplimiento de normas y decretos tales como: la norma técnica obligatoria nicaragüense, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso (NTON 05 027-05), donde se presentan diferentes configuraciones para el diseño de la planta de tratamiento y además, para cumplir con una calidad del agua tratada, establecida en el Decreto 21-2017 nicaragüense.

Tabla 6 : Parámetros de vertidos de aguas residuales tratadas

Parámetros	Decreto 21-2017
SST (mg/L)	100
Grasas y Aceite (mg/L)	20
SS (mg/L)	1
DBO ₅ (mg/L)	110
DQO (mg/L)	220
Nitrógeno Total (mg/L)	45
Fósforo Total (mg/L)	15
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1.00E+03

Fuente : Decreto 21-2017 (Nicaragua).

Para la selección de la alternativa de tratamiento propuesta, se tomó en cuenta diferentes consideraciones como: procesos naturales que no amerite consumo de energía eléctrica, que tenga alto nivel de descomposición de la materia orgánica, que sea de fácil manejo en la operación y mantenimiento y que tenga un bajo costo de operación.

Así mismo se tomaron en cuenta los criterios establecidos por ANA y el CEPIS, para definir la metodología a seguir para diseñar las alternativas de tratamiento.

En la tabla 6, se presenta la descripción del tren de tratamiento propuesto para la PTAR.

Tabla 7 : Sistema de tratamiento propuesto en San Benito.

MÓDULO	PROPUESTA POR MÓDULO
3	1 Laguna Anaeróbica +1 Laguna Facultativa + 2 Lagunas de maduración en serie

Fuente: Elaboración propia

Los criterios más importantes analizados fueron la calidad del efluente final, el costo total del sistema durante los 20 años de utilidad, población proyectada y caracterización de las aguas residuales.

3.2.4.1. Pretratamiento

El pretratamiento propuesto para la planta de tratamiento de aguas residuales consiste en los siguientes sistemas, así mismo se presenta la metodología que se siguió :

1) Canal de entrada y sistema de rejillas :

Para descargar el agua proveniente del sistema de colector del agua y el sistema de rejilla encargado de retener todos los posibles sólidos que pueden dañar los demás sistemas. Para el diseño de estos sistemas se realizaron los siguientes cálculos.

- La altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) y media (H_m) de agua en el canal y la reja

$$\frac{Q_d * n}{\sqrt{S}} = H_{max} * B \left[\frac{H_{max} * B}{B + 2H_{max}} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (Ec. 7)$$

$$\frac{Q_m * n}{\sqrt{S}} = H_m * B \left[\frac{H_m * B}{B + 2H_m} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (Ec. 8)$$

Dónde:

Q_d : Caudal de Diseño

Q_m : Caudal Medio

n : 0.013 (Coeficiente de Manning Concreto)

S : Pendiente del Canal

B : Ancho del Canal

- Velocidad máxima ($V_{m\acute{a}x}$) y media (V_m) antes de llegar a las rejas

$$V_{max} = \frac{Q_d}{B * H_{max}} \quad (Ec. 9)$$

$$V_m = \frac{Q_m}{B * H_m} \quad (Ec. 10)$$

- Área total mojada

$$A_t = b * H_{m\acute{a}x} \quad (Ec. 11)$$

- Eficiencia

$$E = \frac{a}{a+t} \quad (Ec. 12)$$

Dónde:

a : Separación entre rejas

t : Espesor de las rejas

- Área útil

$$A_u = A_t * E \quad (Ec. 13)$$

- Velocidad de Paso

$$V_p = \frac{Q_d}{A_u} \quad (Ec. 14)$$

- Área total por velocidad media

$$A'_t = b * H_{med} \quad (Ec. 15)$$

- Área útil por velocidad media

$$A'_u = A'_t * E \quad (Ec. 16)$$

- Velocidad Media

$$V'_m = \frac{Qm}{A'_u} \quad (Ec. 17)$$

- Pérdidas en rejillas (Kirschmer)

$$H_f = \beta * \left(\frac{t}{a}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin\theta * \frac{V'_m{}^2}{2g} \quad (Ec. 18)$$

$$h_{fo} = \left(\frac{E}{E_o}\right)^2 * H_f = \left(\frac{E}{0.75 * E}\right)^2 * H_f \quad (Ec. 19)$$

Donde :

H_f : Pérdidas de carga en rejillas limpias (m)

h_{fo} : Pérdidas de cargas en rejillas parcialmente obstruidas (m)

g : Gravedad (m/s²) ; β : Factor de forma de la barra

θ : Ángulo de inclinación

2) Desarenador :

Sistema encargado para la remoción de arenas y gravas.

- Altura del agua en canal de llegada (*H_{agua}*)

$$H_{agua} = \frac{Qd}{B * V} \quad (Ec. 20)$$

Donde :

V : velocidad del flujo (sugerido 0.30 m/s)

B : Ancho de canal

- Largo del desarenador

$$L = \frac{V * Hagua * 86400}{Cs} \quad (Ec. 21)$$

Donde :

Cs = Carga superficial (m3/m2/día) (sugerido entre 700 – 1600)

- Cantidad de material retenido (*Cret*)

Por cada metro cúbico de agua residual que fluye por el desarenador se consideró que habrá un depósito de 0.029 lt. de sedimento en la tolva según normas del CEPIS.

- Volumen de tolva del desarenador

$$Vreq = Qd * tr * Cret \quad (Ec.22) \quad Vtolva \geq Vreq \quad (Ec. 23)$$

Donde :

Vreq : volumen requerido

Vtolva : Volumen de tolva necesario

3) Canal Parshall :

Encargado para medir el caudal de agua residual que ingresa diariamente a la planta de tratamiento de aguas residuales, este se diseñó a partir del caudal mínimo y máximo que entrará en la PTAR. En el anexo D.1.4 se presentan los cálculos realizados y en cumplimiento de los parámetros presentados por ANA.

3.2.4.2. Laguna anaeróbica primaria

Los criterios tomados para el dimensionamiento de la laguna anaeróbica Primaria fueron los recomendados por ANA en la Guía Técnica para el diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y documentación complementaria como es el caso del CEPIS , así mismo el diseño contempla la implementación de 3 lagunas anaeróbicas, una por cada módulo propuesto. Los cálculos hidráulicos se observan en el anexo D.2 .

3.2.4.3. Laguna facultativa secundaria

El sistema contempla el desarrollo de 3 lagunas facultativas, una desarrollada por cada módulo, cada laguna se diseñó para que presente las mismas dimensiones, y esto en cumplimiento con los criterios presentados por el ANA. El desarrollo de los cálculos se presenta en el anexo D.3 .

3.2.4.4. Laguna de maduración terciaria

Para alcanzar remociones de acuerdo a lo establecido en el decreto 21-2017 sobre vertidos de aguas residuales tratadas. Se diseñó un total de 6 lagunas de maduración, la cual se distribuirán dos lagunas por cada módulo, que trabajarán en serie. Así mismo en el anexo se presentan los cálculos desarrollados y su cumplimiento referente a la remoción de coliformes fecales, el cual debía ser inferior a los $1.0E+03$ NMP/100 ml. Cada laguna diseñada presentará las mismas dimensiones, ver anexo D.4.

3.2.5. Cálculos hidráulicos

A la propuesta de tratamiento seleccionada, se llevó posteriormente la realización de todos los cálculos hidráulicos pertinentes para determinar su comportamiento hidráulico, determinar las dimensiones de cada una de las tecnologías propuestas y la eficiencia de remoción que se obtendrá al final del proceso de depuración, realizado en conformidad de las normas y decretos que rigen estos diseños.

3.2.6. Tratamiento de lodos

Como tratamiento de lodos, se dispondrá de un sistema de lecho de secado, siendo este un sistema muy fácil en su operación, así mismo, de acuerdo a las características de la zona de estudio, es el más conveniente debido a sus bajos costos de implementación.

3.2.7. Elaboración de planos de construcción

Después que se realizaron todos los cálculos necesarios se llevó a cabo la realización de los planos necesarios para el desarrollo de la planta de tratamiento propuesta, los cuales presentan las dimensiones e indicaciones para la construcción.

3.2.8. Elaboración de costos y presupuestos

En esta actividad se realizó una estimación de los costos necesarios para la construcción de la planta de tratamiento, en el cual se incluyeron materiales, equipos y mano de obra.

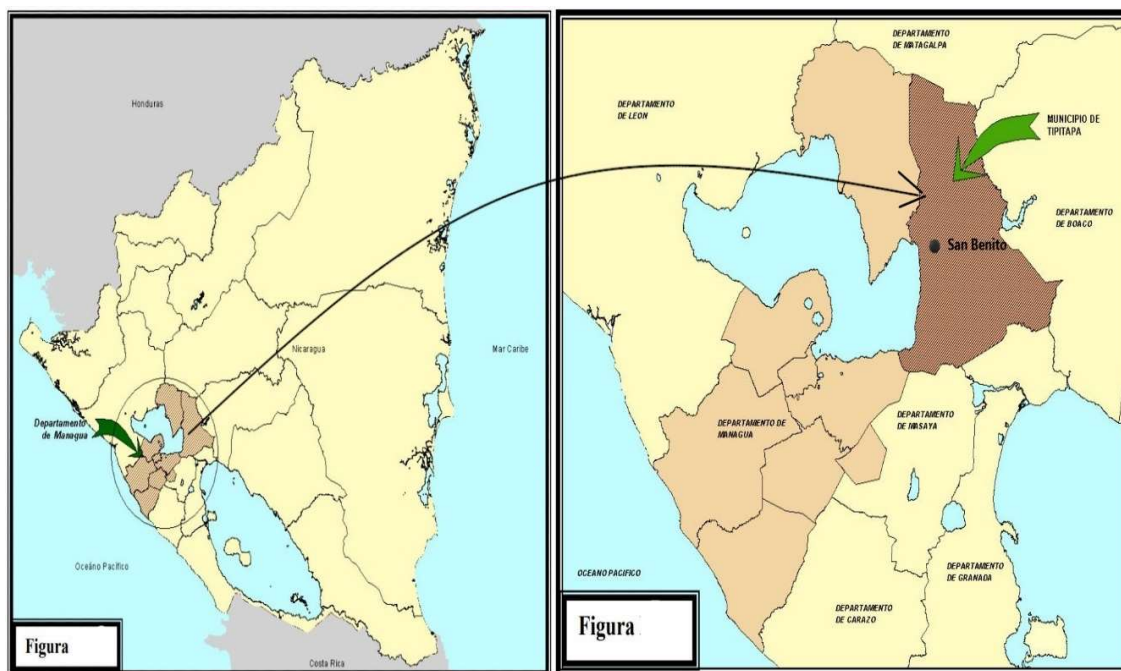
IV. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Localización del proyecto

La comunidad de San Benito ubicada entre las coordenadas 12°18'33" latitud norte y 86°3'19" longitud oeste, pertenece al Municipio de Tipitapa que ocupa el extremo este del departamento de Managua, siendo el de mayor superficie y el segundo en número de habitantes, por detrás del municipio que constituye la capital del país. La comunidad de San Benito se ubica a 36 km de la capital y a 13 km de la cabecera municipal. Se encuentra asentado en la parte norte central del municipio de Tipitapa, cruzado por una intersección en buen estado, que lo comunican con el resto del país, principalmente las ciudades de Managua, Boaco, Matagalpa (ENACAL; BCIE, 2019, pág. 5).

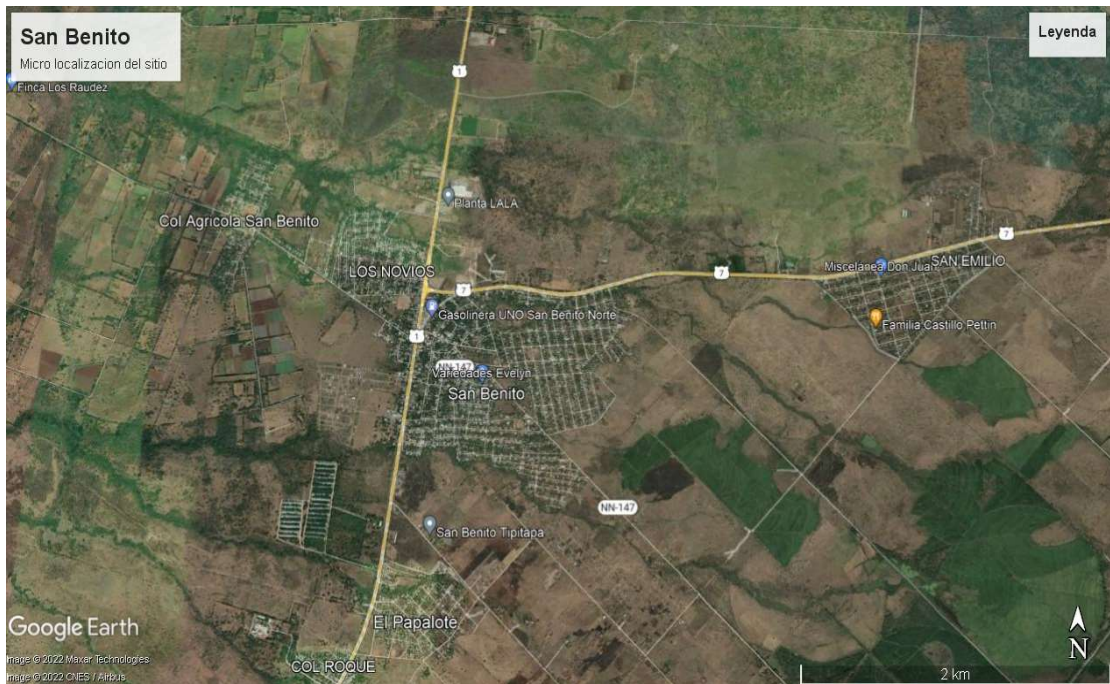
A continuación, se presenta la ubicación del área de estudio.

Figura 1 : Macro localización del área de estudio



Fuente: MINED, diagnóstico del municipio de Tipitapa.

Figura 2: Micro localización del área de estudio



Fuente: Google Earth.

4.2. Población

En la comunidad de San Benito, se ha dado un alto crecimiento poblacional desde sus orígenes hasta la actualidad, ya que su población ha aumentado considerablemente contando con 18,774 habitantes para el 2019. La distribución de la comunidad está compuesta por 10 unidades de barrios, el cual el barrio Marvin Salazar es el más poblado.

Desde 1971, la población de la comunidad se duplicó en menos de 24 años, con una tasa de crecimiento promedio de 3.45%.

Referente a las actividades de la población la mayor parte se dedica a las actividades de la agricultura, pero debido al crecimiento de la población en los últimos años y su posición geográfica, se ha producido un aumento en las actividades de comercio y establecimiento.

En la siguiente tabla se muestra la distribución de la comunidad de San Benito.

Tabla 8 : Distribución de la población por barrio en San Benito 2019

Barrio	Lotes levantados	Lotes ocupados	Parques o plazas	Lotes habitables	Densidad Población	Población lotes ocupados
Los novios	241	212	4	237	5.04	1,068
Fidel Castro	342	339	1	341	4.53	1,535
La Esperanza	126	105	3	123	5.18	544
Empalme San Benito	352	309	14	338	5.39	1,666
San Benito Agrícola	325	291	0	325	4.70	1,368
Colonia Roque	231	215	3	228	5.43	1,167
El papalote	421	419	0	421	4.70	1,970
Marvin Salazar	1,201	945	18	1,183	4.36	4,121
El Paraíso	716	509	12	704	4.48	2,279
San Emilio	893	650	0	893	4.70	3,056
Total	4,848	3,994	55	4,793	Total :	18,774

Fuente: ENACAL

4.3. Actividades económicas

Las actividades económicas predominante de la comunidad de San Benito a lo largo de su historia, ha sido la agricultura, que hace tiempo representaba la totalidad de la economía de la zona, pero con el paso del tiempo se ha diversificado, debido a la posición geográfica al ser una intersección que conecta la ciudad con los otros departamentos del norte del país, actualmente se realizan las siguientes actividades:

- **Agricultura:** La agricultura ha sido históricamente la actividad económica más importante y a pesar de ser superada por el sector servicio, aún, da ocupación al 30% de la población activa de la ciudad.

- **Ganadería:** La ganadería es una actividad de pequeña escala, pero significativa para la vida económica de la comunidad. No existen fincas de gran importancia, pero si distribuidas en un 10% de la población.
- **Comercio:** Debido al crecimiento poblacional de la zona, ha desarrollado un aumento de las actividades de comercio, principalmente a la implementación de negocios propios como pulperías, ferreterías, ventas de frutas, entre otras.
- **Industria:** Respecto al sector de la industria, San Benito ha sido lugar de grandes empresas que han puesto sus operaciones en este lugar. Dentro de las empresas de gran volumen presente en San Benito están: granja avícola La Estrella, Cargill, empresa de productos lácteos LALA y otras de menor producción.

4.4. Clima

La comunidad de San Benito posee un clima caracterizado como sabana tropical, debido a la variación de temperatura que oscila entre los 24° y 28° grados centígrados. Posee precipitaciones que oscilan 1200 mm a los 1600 mm lo cual se caracteriza como precipitación media alta, respecto al viento es mucho más fuerte e incesante en el verano y en temporada de invierno sopla relativamente lento, siempre desde el este, excepto cuando hay tormentas tropicales.

4.5. Hidrología

Respecto a la hidrología de la zona, el municipio de Tipitapa cuenta con varios ríos de vertiente interior. El más importante es el río Tipitapa que conecta el lago Xolotlán, o Managua con el lago Cocibolca o Nicaragua, desembocando finalmente en la vertiente Atlántica.

4.6. Topografía y relieve

En la comunidad encontramos 4 tipos de elevaciones topográficas, que van desde los 50 hasta los 200 msnm. Entre las alturas más predominantes están las de 100 msnm en la parte central de la comunidad, con pendientes que van desde $< 2^\circ$ hasta los 8° .

La mayor parte de los barrios de San Benito se sitúan en zonas con cotas entre los 65 y 75 metros. Esta reducción de la pendiente generalizada no es homogénea, y en el interior de la ciudad se generan una serie de puntos altos y bajos de acuerdo con los trazados de los dos cauces que recorren la ciudad de este a oeste bajos de acuerdo con los trazados de los dos cauces que recorren la ciudad de este a oeste

Figura 3 : Topografía de la ciudad de San Benito.



Fuente: ENACAL.

El primero de los cauces, río La Señoreña, recorre el norte de la población transcurriendo paralelo a la carretera NIC-7 hasta introducirse en el interior de la ciudad. El río El Papalote constituye el segundo cauce de importancia, se ubica al sur del núcleo de población principal (Gorriz, 2020, pág. 7).

4.7. Geomorfología

Las orillas del lago Xolotlán como las de la comunidad, se divide en dos sub - zonas, una zona de amortiguamiento y la zona de protección que tiene una buena parte dentro de la comunidad, zona en que se encuentran pendientes mayores de 20°, coincidiendo esta con pequeños parches de bosque Latifoliado denso y con predominancia de parches de bosque Latifoliado ralo. El resto de la comunidad se caracteriza por ser una zona de semiplano a plana.

4.8. Geología

La comunidad de San Benito se encuentra alineada sobre la larga fractura volcánica que recorre la región del Pacífico, entre los volcanes Momotombo, Masaya y Mombacho.

4.9. Geotecnia

Según estudios realizados en la zona se obtuvieron, que los tipos de suelos superficiales con mayor presencia en la zona son limos arcillosos inorgánicos de plasticidad alta, de consistencia media a muy compacta y, con menor frecuencia, limos orgánicos con plasticidad reducida y limos inorgánicos con arenas finas, de ligera plasticidad. Bajo este estrato se encuentra, a profundidades variables entre los 50 centímetros y 2.25 metros, un estrato de roca sedimentaria tipo cantera de alta resistencia al corte o excavación (Gorriz, 2020, pág. 6).

4.10. Servicios básicos existentes

➤ Agua potable

San Benito cuenta con servicio de agua potable en la mayor parte del casco urbano. El suministro de esta red fluye desde dos tanques de almacenamiento ubicados junto al barrio Los Novios, sobre una misma tubería, pero separados, aproximadamente, 200 metros. El volumen de almacenamiento de los tanques es de 186,000 galones en el caso del tanque sobre suelo, y de 30,000 galones aproximadamente en el caso del tanque sobre torre. Junto al depósito de mayor tamaño se encuentra emplazada la estación de bombeo que da suministro a toda la red. De esta manera, el sistema funciona como Bomba-Tanque-Red (ENACAL; BCIE, 2019).

➤ Energía

Se cuenta con energía eléctrica en toda la comunidad. La administración está a cargo de la empresa DISSUR. La electrificación en el centro de la comunidad presenta muchos problemas en el voltaje, ya que el sistema existente tiene alrededor de 50 años y no ha sido remodelado; por esa razón se da el bajo voltaje en las conexiones domiciliarias debido a la falta de transformadores y tendido eléctrico. Se cuenta con energía eléctrica en un 92% de la población (Guadalupe Sanchez, 2017).

➤ Salud

Según el Ministerio de Salud (MINSA), San Benito cuenta con las siguientes unidades de salud: Un Centro de Salud en el casco urbano que se encuentra en regular estado con una cobertura de 60% y población atendida.

El personal de estos centros está distribuido de la siguiente manera: 3 médicos generales, 1 odontólogo, 5 enfermeras, 2 auxiliares, 1 laboratorio. Brindando atención pública de lunes a viernes y en casos de emergencia, entre ellos están control prenatal, control de crecimiento del desarrollo, consulta externa,

inmunización URO, odontología, higiene y vacunación. Las enfermedades son: respiratorias agudas, parasitosis, diabetes e infecciones.

➤ **Educación**

En San Benito se cuenta con centros educativos tanto de primaria y secundaria. En la educación primaria se cuenta con 5 centros de educación el cual se encuentra en la mayor parte de la comunidad y en el caso de la educación secundaria se cuenta con dos centros de educación secundaria, el cual se localizan ambos en los barrios de la comunidad (San Benito y Los Novios).

➤ **Sistema vial**

La comunidad de San Benito se encuentra atravesado por la carretera panamericana norte en dirección de norte a sur, la cual conecta a la anterior con el municipio de Tipitapa. Dichas carreteras se encuentran en buen estado y comunican a la ciudad con los centros urbanos de los municipios aledaños y el resto del país y también son las que comunican al casco urbano con la mayoría de las comarcas y los centros poblados que estas contienen.

➤ **Transporte**

En la comunidad se cuenta con el servicio de triciclo taxi que trasladan de un lugar a otro a los habitantes, además de cubrir también las zonas rurales más cercanas y prestando el servicio de transporte en todo el municipio, los cuales se organizan por sectores, carece de un sistema urbano colectivo de transporte, Los buses que transitan el área son los que se dirigen hacia los departamentos del norte.

➤ **Alumbrado público**

El servicio de alumbrado público en el casco urbano es bastante eficiente sobre todo en las áreas cercanas de la carretera, encontrándose algunas zonas sin alumbrado en las periferias. Sin embargo, todos los barrios cuentan con alumbrado público

V. RESULTADOS

5.1. Resultados de calidad de agua cruda

De acuerdo a los estudios realizados de calidad de agua hechos por la empresa ENACAL, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 9 . No obstante, debido a la falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales en San Benito, ENACAL decidió proporcionarnos, los resultados de las aguas residuales de la Ciudad de San Rafael del Sur, en donde sí existe una PTAR, de la cual se realizó un estudio completo de las aguas residuales. Por lo tanto, se utilizaron estos valores para el diseño de la PTAR de San Benito.

Tabla 9 : Resultado de calidad de agua

PARÁMETROS	AFLUENTE	DECRETO 21-2017	MARENA	OMS
SST (mg/L)	360.51	100		
Grasas y Aceite (mg/L)	87.25	20		
SS (mg/L)	4.19	1	30	30
DBO ₅ (mg/L)	380.50	110	100	100
DQO (mg/L)	745.26	220		
Nitrógeno Total (mg/L)	24.42	45		
Fósforo Total (mg/L)	6.95	15		
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2.09E+08	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03

Fuente: ENACAL, MARENA, OMS.

5.2. Recopilación de información

Dentro de la información proporcionada para llevar a cabo el diseño de la PTAR, se obtuvo, información de censo poblacional presentado por el centro nacional de información de desarrollo (INIDE), prueba de calidad de agua, diagnóstico del lugar y planos topográficos brindado por la empresa Nicaragüense de acueductos y alcantarillados sanitarios (ENACAL) y a sí mismo, información obtenida de

normas de diseño y decretos nacionales como el ANA, e internacionales como el CEPIS, relacionadas a esta área.

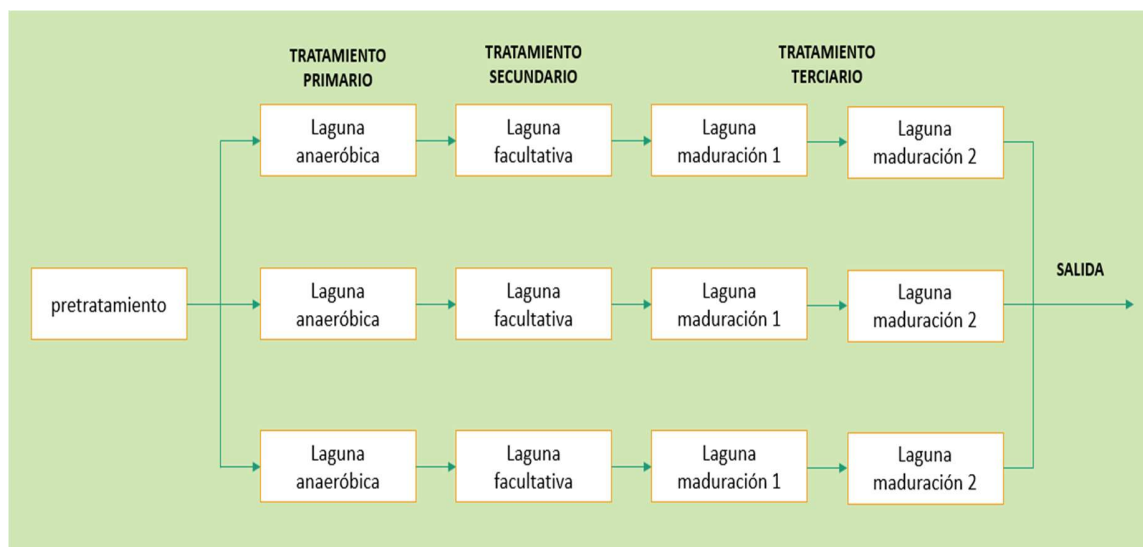
5.3. Población y caudal de diseño

La población de diseño para el final del período del proyecto es de 20 años. Se obtuvo que la población será de 50,048 habitantes, esto se obtuvo a partir de una tasa de crecimiento del 4%, así mismo el caudal de diseño obtenido para el final del período de diseño será 195 l/s, los cálculos pueden observarse en el anexo C.

5.4. Tren de tratamiento de la PTAR

La PTAR diseñada contempla un tren de tratamiento conformado por un pretratamiento, tratamiento primario por laguna anaeróbica, tratamiento secundario a partir de laguna facultativa y tratamiento terciario conformado por 2 lagunas de maduración en serie. Como se mencionó antes, la planta de tratamiento estará diseñada en tres módulos lagunares donde el caudal de diseño será repartido en tres partes iguales y un pretratamiento para el caudal total. En la siguiente figura se muestra su configuración.

Figura 4 : Tren de tratamiento de la PTAR



Fuente: Elaboración propia.

5.5. Dimensionamiento de la planta de tratamiento

Conforme a la información obtenida, seguimiento de las normas de diseño y los cálculos hidráulicos realizados, se obtuvieron las siguientes dimensiones para cada una de las tecnologías que conforman la planta de tratamiento implementada, todos estos resultados se realizaron en cumplimiento con las normas y decretos nacionales e internacionales.

5.5.1. Pretratamiento de la planta

5.5.1.1. Canal de entrada

El canal de acceso o, de entrada, es la estructura en la cual se descarga la tubería del colector de conducción en la planta.

Tabla 10 : Dimensionamiento del canal de entrada

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Ancho del fondo	0.7	m
Cantidad	1	unid
Caudal	0.1951	m ³ /s
Profundidad	0.6	m
Área	0.280	m ²
Pendiente	0.1	%
Velocidad	0.697	m/s

Fuente: Elaboración propia.

5.5.1.2. Rejilla de limpieza manual

Tabla 11 : Dimensionamiento del sistema de rejilla

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Ancho del canal	0.7	m
Ancho de la barra	1	cm
Profundidad del canal	0.6	m
Separación entre barras	5	cm
Factor de forma de la rejilla	2.42	rect
Pendiente en relación a la vertical	45	°
Cantidad de barras	11	unid
Longitud de la barra	0.72	m

Fuente: *Elaboración propia.*

Se calcularon las pérdidas en rejas limpias mediante la fórmula de Kirschmer y luego en rejas parcialmente obstruidas asumiendo una eficiencia del 62.5% dentro del rango de 50% a 70%, según el CEPIS.

Se verificó que la velocidad de aproximación máxima hacia la reja, estuviera dentro del rango de 0.40 m/s a 0.75 m/s, cumpliendo con este parámetro con un valor de 0.73 m/s, así mismo se verificó que la velocidad de aproximación media hacia la reja, estuviera dentro del rango de 0.40 m/s a 0.75 m/s, cumpliendo con este parámetro con un valor de 0.583 m/s. Ver anexo D.1.2.

5.5.1.3. Desarenador

El sistema está compuesto por un desarenador con dos unidades en paralelo como lo estipula la norma del ANA.

El ancho del desarenador resulta el mismo ancho del canal de entrada y rejilla con un valor de 0.70 m. Ver anexo D.1.3.

Tabla 12 : Dimensionamiento del desarenador

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Ancho del canal del desarenador	0.70	m
Borde libre	0.20	m
Largo del desarenador	20.06	m
Altura total del desarenador	1.73	m
Altura de tolva propuesta	0.60	m

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.4. Medidor Parshall

Usando la mitad de la base del canal de distribución, se seleccionó un medidor con una garganta (W) de 0.229 m (equivalente a 9'') y se procedió a verificar las velocidades de flujo y la turbulencia que crearía su funcionamiento.

Tabla 13 : Dimensionamiento del medidor Parshall.

DESCRIPCIÓN		VALOR	UNIDAD
Ancho de Canal	B	0.70	m
Ancho de Garganta	W'	0.35	m
Ancho de Garganta Seleccionado	W	0.23	m
Dimensiones de Canal Parshall Seleccionado	A	0.88	m
	2/3 A	0.59	m
	Wc	0.46	m
	B	0.86	m
	C	0.38	m
	D	0.58	m
	E	0.76	m
	F	0.31	m
	G	0.46	m
	K	0.08	m

DESCRIPCIÓN		VALOR	UNIDAD
	N	0.11	m
	R	0.41	m
	M	0.31	m
	P	1.08	m
	X	0.08	m
	Y	0.08	m
	k	0.54	
	n	1.53	

Fuente: *Elaboración propia*

Las fórmulas usadas para la verificación de la velocidad y el tipo de flujo que atraviesa el medidor Parshall. Ver anexo D.1.4. Se calcularon los niveles piezométricos H_a y H_b , que son proporcionales a los caudales máximos y mínimos, respectivamente y calibrados por los valores "k" y "n" para un ancho de garganta de 9'', adquiridos de la Guía técnica del ANA.

5.5.2. Sistema de tratamiento primario

5.5.2.1. Lagunas anaeróbicas

Tabla 14 : *Dimensionamiento de lagunas anaeróbicas*

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Cantidad de lagunas – 1 por cada módulo	3	unid
Ancho del fondo	16	m
Largo del fondo	37	m
Ancho superficial	26.0	m
Largo superficial	47	m
Altura de borde libre	0.45	m
Altura de laguna	4.5	m
Tiempo de retención	1.3	días

Fuente: *Elaboración propia*

En total se diseñaron tres lagunas anaeróbicas, 1 por módulo las cuales contarán con las mismas dimensiones presentadas. Las lagunas anaeróbicas diseñadas cuentan con un volumen de acumulación de lodo como lo estipula la norma del ANA. Ver anexo D.2.

5.5.3. Sistema de tratamiento secundario

5.5.3.1. Lagunas facultativas

Los criterios tomados para el dimensionamiento de la laguna facultativa fueron los recomendados por ANA y CEPIS.

Tabla 15 : Dimensionamiento de lagunas facultativas

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Cantidad de lagunas - 1 por cada módulo	3	unid
Ancho del fondo	57	m
Largo del fondo	118	m
Ancho superficial	67	m
Largo superficial	128	m
Altura de borde libre	0.4	m
Altura de laguna	2.2	m
Tiempo de retención	7	días

Fuente: *Elaboración propia*

De igual manera el sistema cuenta con tres lagunas facultativas, 1 por módulo con las mismas dimensiones presentadas. Los cálculos hidráulicos se detallan en el anexo D.3.

5.5.4. Sistema de tratamiento terciario

5.5.4.1. Lagunas de maduración

Cada módulo presentado contará con dos lagunas de maduración que se diseñaron en serie, esto con el objetivo de poder obtener la remoción de contaminantes necesarios para cumplir con lo estipulado en el decreto 21 – 2017. En total se necesitarán 6 lagunas de maduración para los tres módulos proyectados en la PTAR.

Los cálculos hidráulicos realizados para el dimensionamiento de las lagunas de maduración se presentan en el anexo D.4.

Tabla 16 : Dimensionamiento de lagunas de maduración 1 y 2

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Cantidad de lagunas – 2 por cada módulo en serie	6	unid
Ancho del fondo	80	m
Largo del fondo	162	m
Ancho superficial	87	m
Largo superficial	169	m
Altura de borde libre	0.4	m
Altura de laguna	1.3	m
Tiempo de retención	8	días

Fuente: Elaboración propia

5.5.5. Tratamiento de lodos

5.5.5.1. Lechos de secados de lodos

Tabla 17 : Dimensionamiento de lechos de secados

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Cantidad de lechos	18	unid
Longitud escogida por lecho	22	m
Ancho escogido por lecho	7	m
Altura escogida por lecho	0.4	m
Área por lecho	154	m ²
Volumen por lecho	62	m ³

Fuente: *Elaboración propia*

La propuesta del sistema lecho de secado de lodos, se dimensionó a partir del volumen de extracción de lodo proyectado para una laguna anaeróbica, debido que su extracción de acuerdo al ANA, se proyecta para un periodo de 5 años. Lo cual se tiene un margen de tiempo muy grande que permite que el lecho de secado propuesto sea utilizado para el secado del lodo que se extraiga de las otras lagunas que componen el sistema de tratamiento.

En el caso del área total requerida para la PTAR es necesario un área de 10.97 Ha. para llevar a cabo toda la construcción propuesta. En el caso del terreno dispuesto por ENACAL este cuenta con un área de 21 Ha, por lo cual es una propuesta apta para ser construida.

5.6. Resultados esperados de la remoción de contaminantes

Mediante el diseño realizado de la planta de tratamiento que tendrá un tiempo de retención de 24.35 días, se espera que la remoción de los contaminantes

presentes en el agua cruda que entrará a la PTAR, sean los que se presentan en la siguiente tabla ,en la cual, se presenta la remoción lograda por cada tratamiento implementado y al final de la salida de la PTAR. Esto en cumplimiento con los parámetros de diseño presentados por el ANA y el decreto 21-2017 nicaragüense. Se evaluó si el sistema de tratamiento diseñado cumple con todas las recomendaciones, criterios y parámetros presentes en las normas nicaragüenses relacionadas al diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 18 : Remoción de contaminantes en la PTAR

Parámetros	Afluente	Pre tratamiento		Laguna Anaerobia		Laguna Facultativa		Laguna Maduración 1		Laguna Maduración 2		Decreto 21-2017
		Remoción (%)	Concentración	Remoción (%)	Concentración	Remoción (%)	Concentración	Remoción (%)	Concentración	Remoción (%)	Concentración	
SST (mg/L)	360.51	2	353.30	50	176.65	50	88.32	40	52.99	40	31.80	100
Grasas y Aceite (mg/L)	87.25	90	9.00	0	9.00	0	9.00	0	9.00	0	9.00	20
SS (mg/L)	4.19	2	4.11	90	0.41	60	0.16	40	0.10	40	0.06	1
DBO ₅ (mg/L)	380.50	0	380.50	65	133.18	92.5	9.99	88.50	1.15	88.5	0.13	110
DQO (mg/L)	745.26	0	745.26	40	447.16	60	178.86	30	125.20	30	87.64	220
Nitrógeno Total (mg/L)	24.42	0	24.42	5	23.20	30	16.24	35	10.56	35	6.86	45
Fósforo Total (mg/L)	6.95	0	6.95	2	6.81	20	5.45	30	3.81	30	2.67	15
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1.68E+08	0	1.68E+08	61.5	6.46E+07	98	1.23E+06	97	3.49E+04	97	9.88E+02	1.00E+03

Fuente: Elaboración propia

La remoción de contaminantes presentada es obtenida a partir del diseño hidráulico realizado y de la información de estudios relacionados a este tipo de tratamientos.

5.7. Costo y presupuesto de construcción

Tabla 19 : Presupuesto general PTAR- San Benito

ITEM	DESCRIPCION	COSTO TOTAL \$
1	PRETRATAMIENTO	\$ 17,912.58
2	TRATAMIENTO PRIMARIO	
2.1	LAGUNA ANAEROBICA	\$ 85,312.64
3	TRATAMIENTO SECUNDARIO	
3.1	LAGUNA FACULTATIVA	\$ 321,320.12
4	TRATAMIENTO Terciario	
4.1	LAGUNA DE MADURACION	\$ 931,243.51
5	LECHOS DE SECADO	\$ 105,973.04
6	OBRAS COMPLEMENTARIA	
6.1	CASETA DE OPERACIÓN	\$ 2,209.94
6.2	CERCADO CON MALLA CICLON	\$ 138,505.52
6.3	PORTON DOBLE HOJA	\$ 265.38
6.4	ADOQUINADO	\$ 18,984.00
6.5	ARBORIZACION	\$ 236.19
7	OBRAS DE SALIDA	
7.1	LINEA DE CONDUCCION FINAL	\$ 112,936.89
7.2	CABEZAL DE DESCARGA	\$ 2,414.08
COSTO TOTAL SIN IMPUESTO (CTSI)		\$ 1,737,313.90
Costo Unitario Directo		
10. Costo unitario directo CUD (15% de CTSI)		\$ 260,597.09
11. Costo unitario de administración y utilidad CUAU (15% de CTSI)		\$ 260,597.09
12. Costo de venta sin impuesto CVSI (CTSI+CUD+CUAU)		\$ 2,258,508.07
13. Impuesto de alcaldia IA (1% de CVSI)		\$ 22,585.08
14. Impuesto general de venta IGV (15% de CVSI+IA)		\$ 342,163.97
15. Costo de venta con impuesto CVI (CVSI+IA+IGV)		\$ 2,623,257.13

Fuente: Elaboración propia

Realizado el presupuesto general se obtuvo que el costo total de construcción será de \$ 2,623,257.13 dólares. En el anexo E se presenta más detallado los cálculos realizados en esta actividad.

CONCLUSIONES

1. Los valores resultantes de la calidad de agua del efluente a la salida de la PTAR, se encuentran dentro de los límites establecidos en el Decreto 21-2017 para vertidos en cuerpos receptores naturales.
2. La población proyectada a beneficiar, escogida como población de diseño será de 50,048 habitantes para un periodo de diseño del proyecto de 20 años.
3. El sistema de tratamiento propuesto, está conformado por un pretratamiento (canal de entrada, rejillas, desarenador de flujo horizontal y medidor Parshall), tratamiento primario (laguna anaeróbica), tratamiento secundario (laguna facultativa), y tratamiento terciario (lagunas de maduración). El tren de tratamiento está dividido en tres módulos lagunares. Además de obras complementarias como lecho de secado de lodos, líneas de conducción final y cabezal de descarga.
4. La disposición final del agua tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales, será el río el Papalote ubicado en la zona sur de la ciudad de San Benito.
5. Se verificó que los parámetros de diseño de la planta de tratamiento fueran de acuerdo a lo establecido en normativas y reglamentos nacionales e internacionales existentes, y que cumplieran según lo estipulado en todos los aspectos de diseño.
6. Conforme a los cálculos hidráulicos realizados, se obtuvieron las dimensiones para cada una de las tecnologías que conforman la planta de tratamiento implementada, todos estos resultados se realizaron en cumplimiento con las normas y decretos nacionales e internacionales.

7. Se realizó el diseño y elaboración de los planos constructivos de la planta de tratamiento con ayuda del software AutoCAD, donde se presenta de manera general y específica el dimensionamiento gráfico de cada una de las unidades de tratamiento, para su debido proceso de construcción.

8. El presupuesto general de construcción será de \$2,623,257.13 dólares. Se detallan todos los costos involucrados como: materiales, mano de obra y maquinarias, que serán utilizados en la construcción de la planta de tratamiento. Todos estos precios fueron cotizados a empresas dedicadas a esta área de la construcción.

RECOMENDACIONES

1. Debido a la excelente calidad de agua esperada, se recomienda que el uso de esta agua pueda ser utilizada con fines de riego para agricultura.
2. Se sugiere que, durante el proceso de construcción, se sigan todas las especificaciones y detalles presentados en los planos constructivos con la finalidad de garantizar seguridad y calidad en las estructuras.
3. Incluir mano de obra local en la etapa constructiva de los sistemas, con el fin de que la población local obtenga ingresos económicos.
4. Implementar todas las medidas de higiene y seguridad en la etapa de construcción de la planta de tratamiento.
5. Se recomienda monitorear periódicamente cada uno de los sistemas de tratamiento, para garantizar el funcionamiento eficiente del conjunto.
6. Se sugiere que la extracción de lodos de los sistemas lagunares, se hagan mediante bombas sumergibles de lodos, que luego serán depositados al sistema de lechos de secado diseñados.
7. Se recomienda que si las cargas de nutrientes presentes en los lodos ya tratados, presentan buenos resultados estos podrían ser utilizados para el aprovechamiento de abono y fertilizantes.
8. En el sistema de lechos de secados, si se presentan altos valores de precipitaciones del lugar, se recomienda el diseño de un sistema de cubiertas de techos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aquaquímica. (2022). *¿ Por qué es importante tratar las aguas residuales industriales?* Obtenido de Aquaquímica: <https://aquaquimica.net/por-que-es-importante-tratar-las-aguas-residuales-industriales/>
- CENAGUA. (1999). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas*. Colombia.
- Cidta usal. (2022). *Características de las aguas residuales*. Obtenido de Cidta usal: <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>
- CONAGUA. (s.f.). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México D.F.
- DISIN S.A. (2019). *¿Qué es una planta de tratamiento de agua y para qué se necesita?* Obtenido de DISIN: <https://www.disin.com/que-es-una-planta-de-tratamiento-de-agua-y-para-que-se-necesita/>
- Ecología Verde. (06 de AGOSTO de 2018). *Qué son las aguas residuales y cómo se clasifican*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>
- ENACAL; BCIE. (AGOSTO de 2019). *“ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO DE LAS CIUDADES DE SAN RAFAEL DEL SUR (AS), SAN BENITO (AS) Y TICUANTEPE (AP Y AS)”*. Obtenido de BCIE CPI NO. 020-2018:
[https://www.dropbox.com/home/Monograf%C3%ADa%20PTAR%20Sos%20\(2\)/INFO%20DADA%20POR%20ENACAL?preview=0+Informe3_SB+Agosto+2019.docx](https://www.dropbox.com/home/Monograf%C3%ADa%20PTAR%20Sos%20(2)/INFO%20DADA%20POR%20ENACAL?preview=0+Informe3_SB+Agosto+2019.docx)

- Gorriz, M. (11 de Junio de 2020). *ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA RED DE SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE SAN BENITO, NICARAGUA*. Obtenido de riunet upv: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/150544/G%C3%B3rriz%20-%20Estudio%20de%20alternativas%20para%20la%20red%20de%20saneamiento%20de%20aguas%20residuales%20de%20la%20ciudad%20de%20S...pdf?sequence=4>
 - Guadalupe Sanchez, F. L. (Octubre de 2017). *Esquema de desarrollo urbano de la comunidad de San Benito, municipio de Tipitapa*. Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/1584/1/91293.pdf>
 - La Contaminación. (5 de diciembre de 2019). *Las aguas residuales: características y tipos*. Obtenido de La Contaminacion: <https://lacontaminacion.org/aguas-residuales/>
 - Legislación Nicaragüense. (2006). *NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE PARA REGULAR LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES Y SU REUSO*. Obtenido de NORMA TÉCNICA N° NTON 05 027-05: <http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b34f77cd9d23625e06257265005d21fa/3b3583b8c7d4ee32062579bc007b7023?OpenDocument>
 - Quiroz & Méndez, I. (2019). *Tratamiento de agua y aguas residuales*. Manabí: Ediciones UTM.
 - Ramalho, R. (2007). Tratamiento de Aguas Residuales. En R. Ramalho, *Tratamiento de Aguas Residuales*. Reverte S.A.
- SPENA GROUP. (10 de DICIEMBRE de 2016). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR*. Obtenido de SPENA GROUP: <https://spenagroup.com/planta-tratamiento-aguas-residuales-ptar/>

ANEXOS