

TRABAJO DE FIN DE MASTER

---

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA RED DE SANEAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE LA CIUDAD DE SAN BENITO, NICARAGUA

---

Alumno:

Górriz Redón, Miguel

---

Para la obtención del:

Master Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

*Curso:* 2019/2020

*Fecha:* 11 de junio de 2020

*Tutor:* Andrés Doménech, Ignacio



## ÍNDICE

### DOCUMENTO I. MEMORIA

- Anexo 1. Área de estudio y problemática actual
- Anexo 2. Estudio del censo y encuestas
- Anexo 3. Estudio geotécnico
- Anexo 4. Estudio de topografía
- Anexo 5. Estudio de población y caudales
- Anexo 6. Diagnóstico ambiental
- Anexo 7. Estudio de emplazamientos para la planta depuradora
- Anexo 8. Estudio de inundación
- Anexo 9. Estudio de alternativas de la red de saneamiento
- Anexo 10. Definición de la solución adoptada
  
- Apéndice I. Disposición de la red de saneamiento
- Apéndice II. Resultados del diseño de la red de saneamiento

### DOCUMENTO II. PLANOS

- Plano nº1. Localización y emplazamiento
- Plano nº2. Planta de la red de saneamiento
- Plan nº3. Perfiles longitudinales
- Plano nº4. Secciones transversales tipo
- Plano nº5. Estructuras de caída

### DOCUMENTO III. PRESUPUESTO



**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA RED  
DE SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DE LA CIUDAD DE SAN BENITO,  
NICARAGUA**

**DOCUMENTO I.  
MEMORIA**



<b>Índice</b>	
1	Introducción ..... 1
2	Objetivo y alcance..... 1
3	Localización y área de estudio ..... 2
3.1	Área de estudio..... 2
3.2	Estructura interna de la ciudad..... 3
3.3	Actividad económica ..... 3
3.4	Entorno físico y clima ..... 4
4	Problemática actual ..... 4
5	Censo y encuestas ..... 5
5.1	Población actual..... 5
5.2	Características de la población ..... 5
6	Geotecnia ..... 6
7	Topografía ..... 7
8	Estudio de población..... 8
8.1	Proyección de la población ..... 8
8.2	Población de saturación..... 8
8.3	Distribución de la población ..... 8
9	Estimación de los caudales..... 9
9.1	Caudal doméstico ..... 9
9.2	Consumo comercial, industrial y público ..... 9
9.3	Caudal medio ..... 9
9.4	Caudal de infiltración ..... 10
9.5	Caudal máximo doméstico..... 10
9.6	Caudal de diseño..... 10
10	Diagnóstico ambiental..... 10
10.1	Carencia de sistema de saneamiento y contaminación del agua ..... 11
11	Ubicación de la planta depuradora ..... 12
11.1	Alternativa 1: Ubicación norte con vertido al río La Señoreña ..... 12
11.2	Alternativa 2: Ubicación oeste con vertido al río El Papalote..... 13
11.3	Criterios de valoración ..... 14
11.4	Resultados de la valoración ..... 15
11.5	Estudio de inundabilidad..... 15
12	Alternativas de la red de saneamiento ..... 16
12.1	Alternativa 1: Red de saneamiento por gravedad con estación de bombeo ..... 16
12.2	Alternativa 2: Red de alcantarillado sanitario por gravedad sin estación de bombeo ..... 18
12.3	Valoración técnica de las alternativas ..... 20
12.3.1	Criterios de valoración técnica ..... 20
12.3.2	Resultados de la valoración técnica..... 20
12.4	Valoración económica..... 21
12.4.1	Costes de construcción..... 21
12.4.2	Costes de operación y mantenimiento ..... 21

12.4.3	Resultados de la valoración económica .....	22
12.5	Valoración socioambiental .....	22
12.5.1	Criterios de valoración socioambiental .....	22
12.5.2	Resultados de la valoración socioambiental.....	23
12.6	Resultados de la valoración de las alternativas para la red de saneamiento.....	23
13	Definición de la solución adoptada.....	24
13.1	Detalles del trazado de la red de saneamiento .....	24
13.2	Secciones tipo.....	25
13.3	Comprobación.....	26
13.4	Deterioro de los colectores .....	27
14	Presupuesto.....	28
15	Bibliografía.....	28

## Índice de figuras

Figura 1.	Localización de la ciudad de San Benito. Fuente: Elaboración propia .....	2
Figura 2.	Área de estudio y áreas de expansión. Fuente: Elaboración propia .....	2
Figura 3.	Barrios de la ciudad de San Benito. Fuente: Elaboración propia .....	3
Figura 4.	Zonificación de la profundidad de la cantera según las calicatas realizadas en San Benito. Fuente: Elaboración propia .....	6
Figura 5.	Topografía de la ciudad de San Benito. Fuente: “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)” .....	7
Figura 6.	Distribución de la población en las áreas de expansión. Fuente: Elaboración propia .....	9
Figura 7.	Localización de los pozos de San Benito. Fuente: “Esquema de desarrollo urbano de la Comunidad de San Benito, Municipio de Tipitapa” de Guadalupe María Sánchez Espinoza y Frank Eliezer López Moraga .....	11
Figura 8.	Alternativas para la ubicación de la planta depuradora. Fuente: Elaboración propia .....	12
Figura 9.	Localización de la primera alternativa para la ubicación de la depuradora. Fuente: Elaboración propia .....	13
Figura 10.	Localización de la segunda alternativa para la ubicación de la depuradora. Fuente: Elaboración propia .....	14
Figura 11.	Alcance de la crecida para el periodo de retorno T=100 años. Fuente: Elaboración propia.....	15
Figura 12.	Trazado en planta de la primera alternativa para la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia .....	17
Figura 13.	Trazado en planta de la segunda alternativa para la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia .....	19

Figura 14. Modificación en planta de los giros de la red se aguas residuales (1). Fuente: Elaboración propia .....	24
Figura 15. Modificación en planta de los giros de la red se aguas residuales (2). Fuente: Elaboración propia .....	24
Figura 16. Sección transversal tipo en zona con estrato rocoso. Fuente: Elaboración propia.....	25
Figura 17. Sección transversal tipo en zona sin aparición del estrato rocoso. Fuente: Elaboración propia .	25

#### Índice de tablas

Tabla 1. Población total de San Benito y distribución. Fuente: Elaboración propia.....	5
Tabla 2. Porcentajes consumo comercial, industrial y público. Fuente: Tabla 2 – 4 NTON 09 003 – 99.....	9
Tabla 3. Resultado de la valoración de las alternativas de emplazamiento para la plata depuradora. Fuente: Elaboración propia .....	15
Tabla 4. Resultados de la valoración técnica de las dos alternativas. Fuente: Elaboración propia .....	20
Tabla 5. Coste de construcción de las alternativas de la red de aguas residuales. Fuente: Elaboración propia .....	21
Tabla 6. Coste de operación y mantenimiento de las alternativas de la red de aguas residuales en el periodo 2021-2041. Fuente: Elaboración propia.....	22
Tabla 7. Coste total de las alternativas de la red de aguas residuales. Fuente: Elaboración propia .....	22
Tabla 8. Resultados de la valoración socioambiental de las dos alternativas. Fuente: Elaboración propia.	23
Tabla 9. Resultados de la valoración conjunta de las dos alternativas. Fuente: Elaboración propia.....	23
Tabla 10. Longitud necesaria y número de tramos para cada uno de los diámetros de la red primaria y secundaria de la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia .....	26
Tabla 11. Profundidades de los PVS de la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia.....	26
Tabla 12. Resumen de las características de las estructuras de caída de la red de aguas residuales. Fuente: Elaboración propia .....	26
Tabla 13. Comparación de los resultados de calado y velocidad de la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia .....	27
Tabla 14. Variación de la relación calado/diámetro con el cambio del valor del número de Manning. Fuente: Elaboración propia .....	27



## **1 Introducción**

Este trabajo se desarrolla en la ciudad de San Benito, situada en la región de Tipitapa en el Departamento de Managua al este de Nicaragua. Debido a su proximidad con la capital del país y a que por ella pasa la carretera Panamericana, se prevé que va a producirse un fuerte desarrollo demográfico y económico de la ciudad.

A pesar de esto, es una ciudad con un índice de pobreza elevado, en la que el acceso al agua potable en los domicilios es escaso y carece de un sistema de alcantarillado sanitario, lo que supone un grave problema de higiene y salud pública que interfiere en el desarrollo de la región. Por otro lado, la falta de pavimentación en las vías públicas empeora esta situación.

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. En la actualidad, la llegada de algunas industrias y factorías ha permitido el aumento de la diversidad del empleo.

Este desarrollo presente y futuro, requiere un incremento de la oferta de servicios públicos, como el suministro de agua potable, la mejora del servicio eléctrico, el transporte público, la recogida de basura y la construcción de una red de saneamiento, sobre la que se fundamenta este trabajo.

Este último, contribuye a la mejoría del problema ambiental que genera el vertido de las aguas residuales domésticas al entorno, que está provocando una situación de insalubridad incompatible con el progreso de la población de San Benito.

## **2 Objetivo y alcance**

El objetivo principal de este trabajo es realizar un estudio de las alternativas para la red de saneamiento de la ciudad de San Benito, en Nicaragua, con la finalidad de determinar cuál de ellas se adecua más a las características del entorno, mediante el análisis de la información obtenida acerca de la topografía y la geotecnia, y de la población.

Para ello, se requiere calcular la población que se estima habrá en el año 2041, año horizonte para el diseño de la red de aguas residuales, a partir de la información obtenida de fuentes oficiales de Nicaragua y de los resultados de las encuestas realizadas en el año 2019. De acuerdo con esto, es determinante obtener los caudales que deberán recoger los diferentes colectores de la red, para conocer los diámetros, pendientes y trazados de las diferentes alternativas.

Además, otros de los aspectos de importancia son la localización y la altitud de la planta depuradora, puesto que supone el punto de recogida de los caudales generados y, por tanto, condiciona la distribución de los conductos.

Estudiados los condicionantes anteriores y mediante un análisis de los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales se determina la solución que mejor se adapta a la ciudad de San Benito, se concretan los resultados y se realizan las comprobaciones pertinentes.

### 3 Localización y área de estudio

La ciudad de San Benito se encuentra en el área de Tipitapa, uno de los nueve municipios que conforman el Departamento de Managua. El municipio de Tipitapa 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.

Al oeste del municipio se encuentra el Lago Managua o Lago Xolotlán, en el entorno de esta costa se localizan los principales núcleos de población. La ciudad de San Benito se encuentra, aproximadamente, 5 kilómetros al este del Lago Managua y, recorriendo la carretera Panamericana, 13 kilómetros al norte del núcleo urbano que constituye la cabecera municipal de Tipitapa y a 36 km de Managua.

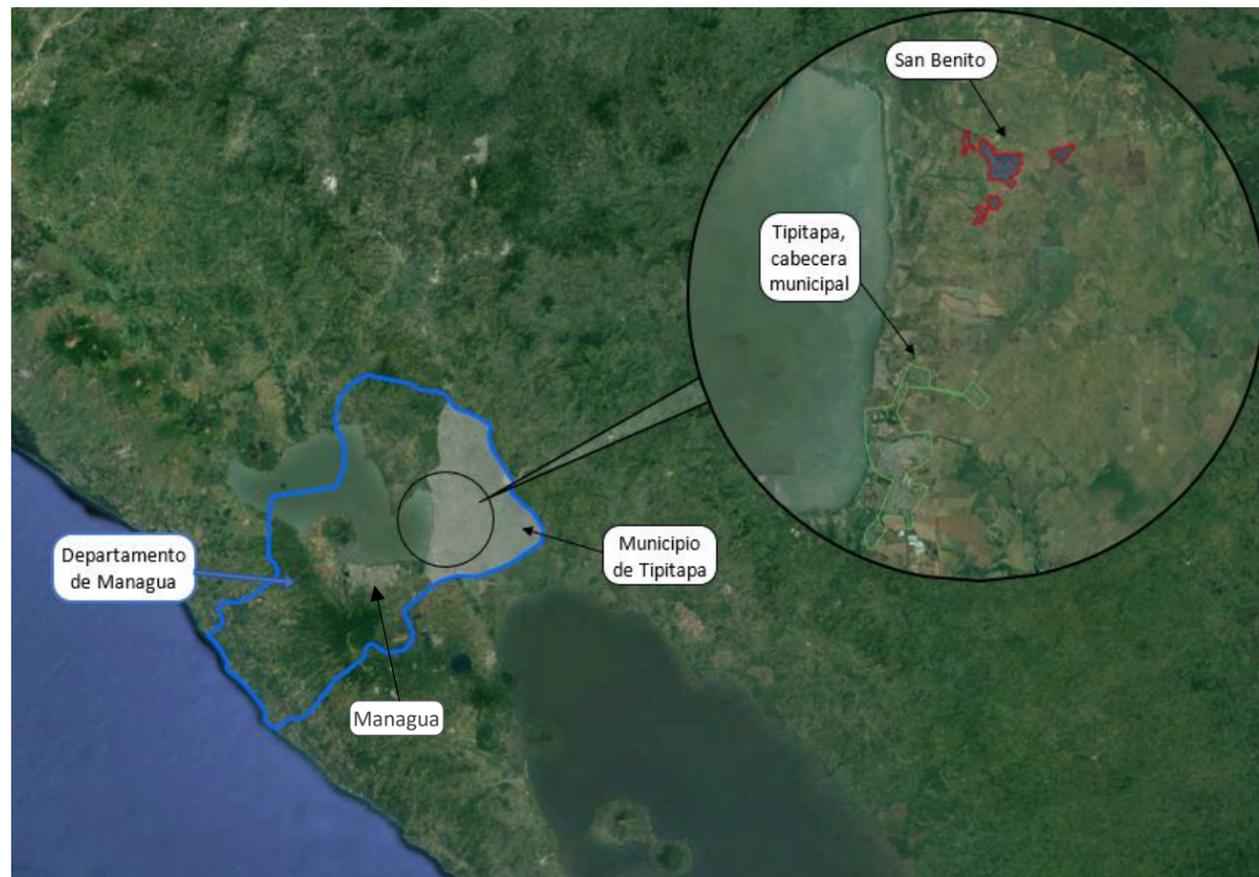


Figura 1. Localización de la ciudad de San Benito. Fuente: Elaboración propia

### 3.1 Área de estudio

La delimitación del área de estudio se ha realizado de acuerdo a los términos de referencia publicados por ENACAL para la elaboración de los “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)”, siendo la resultante la que se muestra en la siguiente figura:

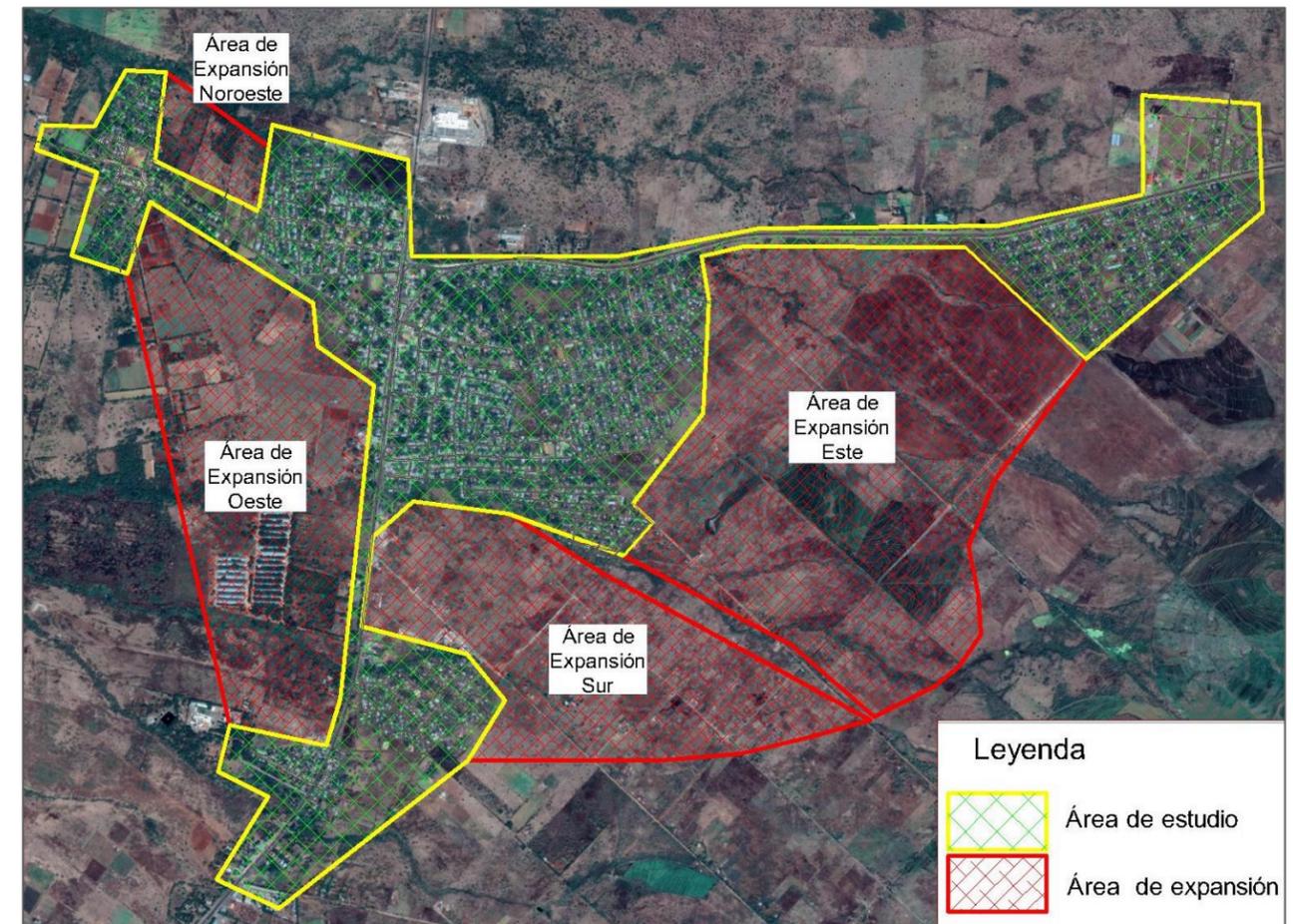


Figura 2. Área de estudio y áreas de expansión. Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Estructura interna de la ciudad

El interior de San Benito se estructura en un total de diez barrios, situados en torno al cruce de la carretera Panamericana, que cruza la ciudad de norte a sur, con la carretera NIC-7 que se extiende desde San Benito hacia el este. Además de estas carreteras, en la siguiente figura se muestra que existen dos viales de importancia en la estructura de la ciudad.

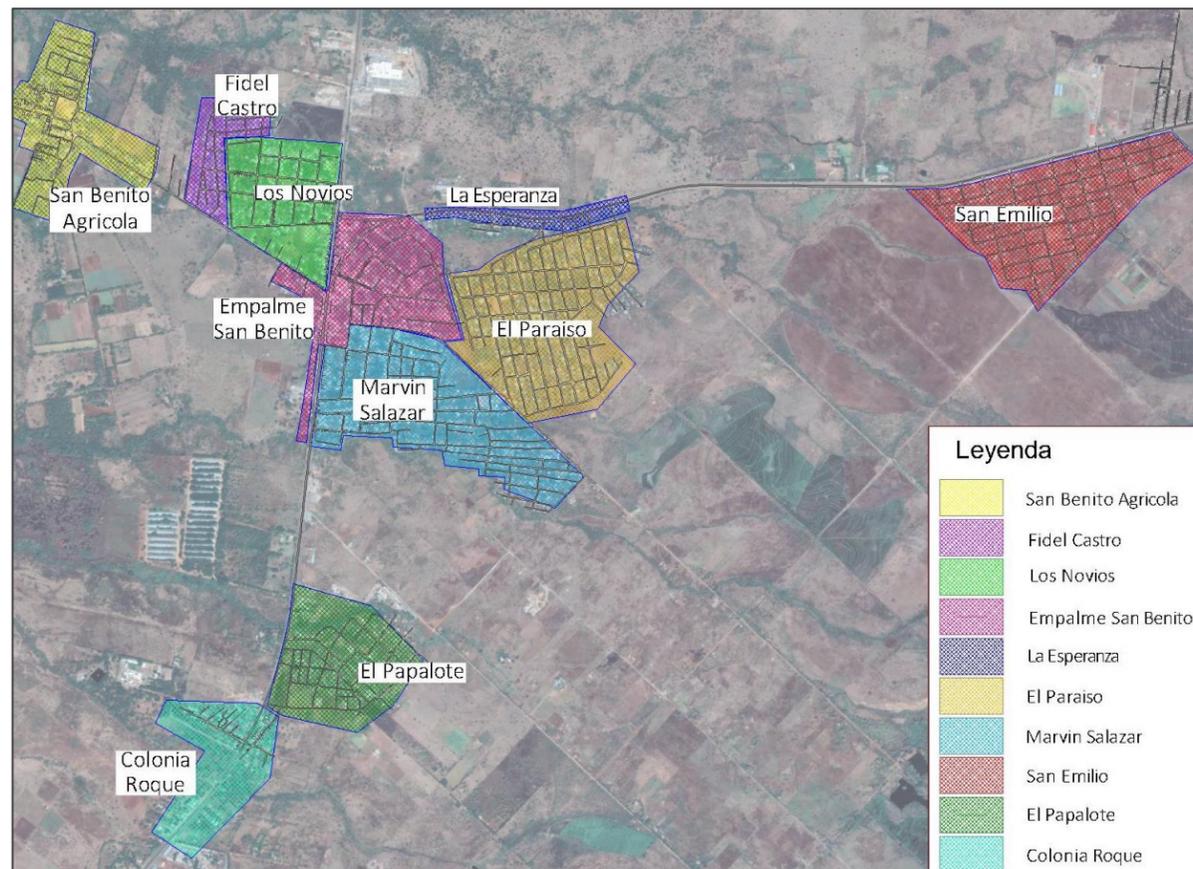


Figura 3. Barrios de la ciudad de San Benito. Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, desde el interior de San Benito, y en dirección noroeste, se extiende un camino que une la ciudad con el Lago Managua. Sobre este trazado se sitúan, de este a oeste, los barrios de Los Novios, Fidel Castro y San Benito Agrícola. El segundo vial de importancia se extiende desde el barrio Empalme San Benito, en el centro del núcleo de población, hacia el sureste y constituye el límite de El paraíso, al noreste, y Marvin Salazar, al suroeste.

El resto de los barrios que componen el área de estudio se sitúan junto a las dos carreteras nombradas. La Esperanza, más próxima a los barrios comentados anteriormente, y San Emilio, se sitúan junto a la carretera NIC-7. Por otro lado, EL Papalote y Colonia Roque se sitúa junto a la carretera Panamericana, aproximadamente un kilómetro al sur del núcleo de población principal.

Exceptuando las dos carreteras asfaltadas que atraviesan San Benito y algunos tramos de calles como las comentadas anteriormente cuyo revestimiento es de adoquines, la gran parte de los viales de la ciudad son de tierra.

Por otro lado, la disposición de una red de agua potable no cubre grandes áreas de núcleo urbano, así como las redes eléctricas y de alumbrado público que, a pesar de presentar un buen estado en las zonas más próximas a la carretera Panamericana presentan importantes carencias en el interior de algunos barrios

### 3.3 Actividad económica

Actualmente, la principal actividad económica de la ciudad de San Benito es el sector terciario debido a la creciente presencia de nuevos locales de comercio y otros servicios. La mayor parte de los comercios los conforman establecimientos de pequeño tamaño que suponen la base de las compras rutinarias de la población, algunos de estos locales comercializan con productos locales, pero mayoritariamente son intermediarios de grandes empresas de distribución.

La agricultura ha sido históricamente la actividad económica más importante y, a pesar de ser superada por el sector servicios aun da ocupación al 30% de la población activa de la ciudad. Por otro lado, la ganadería, sin alcanzar la importancia de las actividades anteriores, constituye un porcentaje significativo del empleo, principalmente se trata de pequeñas fincas repartidas en el 10% de la población.

Respecto a la actividad industrial, existen grandes empresas que cuentan con importantes volúmenes de inversión y, por otra parte, pequeños productores. Las empresas más importantes ubicadas en San Benito son: la granja avícola La Estrella, la Planta de procesamiento de carne avícola de Cargill, la planta de procesado de productos lácteos LALA y Envasa, destinada a la fabricación y producción de productos plásticos.

### **3.4 Entorno físico y clima**

El área de estudio, y gran parte del municipio de Tipitapa, se sitúan sobre la llanura que se extiende desde el Lago Managua hasta las Cordilleras Centrales. En el entorno de San Benito esta llanura ocupa una franja de, aproximadamente, 12 kilómetros, con altitudes que descienden desde los 100 m.s.n.m. al pie de la Cordillera Central hasta los 40 m.s.n.m. entorno a los que oscila el nivel del Lago Managua. Esta zona se sitúa al este de la franja de mayor actividad sísmica y volcánica de Nicaragua, localizada en los lagos Xolotlán y Cocibolca o Lago de Nicaragua.

Respeto a la hidrología, San Benito se sitúa en la cuenca hidrográfica de mayor tamaño de Nicaragua, que incluye los dos grandes lagos comentados anteriormente, se trata del Río San Juan. Esta cuenca se extiende desde el norte del país y recorre toda la depresión formada entre la Cadena Volcánica y la Cordillera Central, desde el Lago Nicaragua el cauce se extiende 200 kilómetros hasta el Mar Caribe.

En el entorno de San Benito, el cauce de mayor importancia en el Río Tipitapa que une los dos grandes lagos y supone un importante riesgo de inundación en amplias zonas del sur del municipio. Los núcleos de población que conforman el área de estudio se sitúan suficientemente alejados del río Tipitapa. Adicionalmente, debido al escaso recorrido de los cauces que cruzan San Benito, río La Señoreña y río El Papalote, el área de estudio no presenta riesgo por inundaciones.

La zona en la que se encuentra San Benito presenta un clima tropical seco, con una importante variación estacional entre el periodo de lluvia, de mayo a noviembre y el seco. La precipitación anual se sitúa, aproximadamente, entre 1200 mm, con medias mensuales superiores a los 200 mm en septiembre y octubre. Por otro lado, las temperaturas son muy constantes a lo largo del año con variaciones máximas de las medias mensuales de 3°C.

### **4 Problemática actual**

Actualmente, la ciudad de San Benito no dispone de una red de saneamiento de aguas residuales que permita la correcta evacuación de estas aguas, garantizando el bienestar y la salud de su población, así como, el respeto al medio ambiente.

Debido a la carencia de esta infraestructura, las aguas residuales son vertidas directamente a las calles o cauces más cercanos, todo esto no solo supone un foco de malos olores y flujos de agua sucia por las calles, sino que constituye un aumento de las enfermedades en la población

Como se comenta anteriormente, en San Benito existe un alto porcentaje de calles de tierra, por lo que parte del agua residual vertida se infiltra produciendo la contaminación de las aguas subterráneas, que suponen para muchos de los habitantes de la ciudad la principal fuente de agua de uso diario, mediante pozos particulares o de grupos definidos de viviendas.

Las aguas que no se infiltran se desplaza de acuerdo al drenaje superficial propio de cada una de las calles, produciendo numerosos encharcamientos y deterioro de las vías públicas, así como una degradación constante del medio natural del entorno de la ciudad.

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.

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.

Por un lado, la contaminación de las aguas subterráneas es el origen de muchos de los casos de enfermedades diarreicas, fiebre tifoidea y cólera. Además de estas enfermedades contraídas por consumo de aguas contaminadas, la presencia de encharcamientos de agua en muchas de las calles de la ciudad supone la proliferación de mosquitos y otros insectos, transmisores de importantes enfermedades como la Malaria, la Leishmaniasis o el Dengue.

## 5 Censo y encuestas

Con la finalidad de conocer la población de existente en San Benito y sus características, se recurre a los datos obtenidos en los trabajos del censo y encuestas de los “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)”.

### 5.1 Población actual

El censo de San Benito consta de un total de 4.848 parcelas o viviendas de las cuales 55 son parques o plazas públicas, de esta forma existe un total de 4.793 parcelas privadas consideradas habitadas o habitables de acuerdo con el futuro crecimiento de la población. En la actualidad, la cantidad de viviendas habitadas en San Benito asciende a 3.994.

La población actual de San Benito, conforme a los resultados del censo y las encuestas es de 18.774 habitantes, con una densidad habitacional de 4,7 habitantes por vivienda. La siguiente tabla muestra los datos para cada uno de los barrios.

Tabla 1. Población total de San Benito y distribución. Fuente: Elaboración propia

Barrio	Parcelas censadas	Viviendas ocupadas	Parques o plazas	Parcelas habitables	Densidad Población	Población actual
Los novios	241	212	4	237	5,0	1.068
Fidel Castro	342	339	1	341	4,5	1.535
La Esperanza	126	105	3	123	5,2	544
Empalme San Benito	352	309	14	338	5,4	1.666
San Benito Agrícola	325	291	0	325	4,7	1.368
Colonia Roque	231	215	3	228	5,4	1.167
El papalote	421	419	0	421	4,7	1.970
Marvin Salazar	1.201	945	18	1.183	4,4	4.121
El Paraíso	716	509	12	704	4,5	2.279
San Emilio	893	650	0	893	4,7	3.056
<b>Total</b>	<b>4.848</b>	<b>3.994</b>	<b>55</b>	<b>4.793</b>	<b>4,7</b>	<b>18.774</b>

Considerando que la densidad de población calculada se mantiene en las parcelas no habitadas con el desarrollo futuro de la ciudad y que existen un total de 799 parcelas o viviendas no habitadas, la población de San Benito puede incrementarse en 3.756 habitantes, estableciendo la población de saturación en 22.530 habitantes.

### 5.2 Características de la población

Además de los resultados de la población y su distribución actual, de la realización de las encuestas y el censo se obtienen algunas características de la población. En lo referente al alcance de los servicios públicos, los resultados señalan que aproximadamente el 50% de la población tiene conexión con la red de agua potable, mientras que la red eléctrica se extiende en mayor medida, dando servicio al 93% de las viviendas. Respecto a la recogida de basuras, únicamente el 31% de la población dispone de este servicio.

En lo referente a las enfermedades más comunes, según las personas encuestadas, en los últimos 12 meses, se han registrado 242 casos relacionados con la fiebre tifoidea, 273 de diarrea, 13 casos relacionados con el cólera, 140 casos de trastornos digestivos, 144 casos de parásitos intestinales, 6 de hepatitis y 51 de síntomas varios relacionados con la fiebre común, diabetes, hipertensión, zika, dengue, Chikunguña, y problemas renales.

Otro de los datos de importancia son los medios actuales para la eliminación de las aguas residuales, el 1% de los usuarios encuestados evacúan sus aguas residuales en tanques sépticos, el 20% evacuan las aguas servidas en pozos ciegos o sumideros, el 75% en letrinas y/o vertido a las calles o vía pública, el 1% en los cauces y el 2% hacen uso de otros medios como la letrina del vecino, parcelas vacías y/o la entierran.

## 6 Geotecnia

Para conocer y definir las características del terreo sobre el que se encuentra San Benito se recurre, además de a diversas fuentes bibliográficas, a los resultados obtenidos de las calicatas realizadas en los “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)”.

El subsuelo de la zona sobre la que se encuentra la ciudad está conformado superficialmente por limos arcillosos de alta plasticidad y limos arcillosos de plasticidad media, con consistencias variables entre compactas y muy compactas. Bajo este estrato, con profundidades variables, aparece frecuentemente un estrato rocoso de tipo cantera.

De las calicatas realizadas se observa 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.

La siguiente figura muestra las profundidades a las que se encuentra el estrato rocoso en la zona poblada de San Benito.

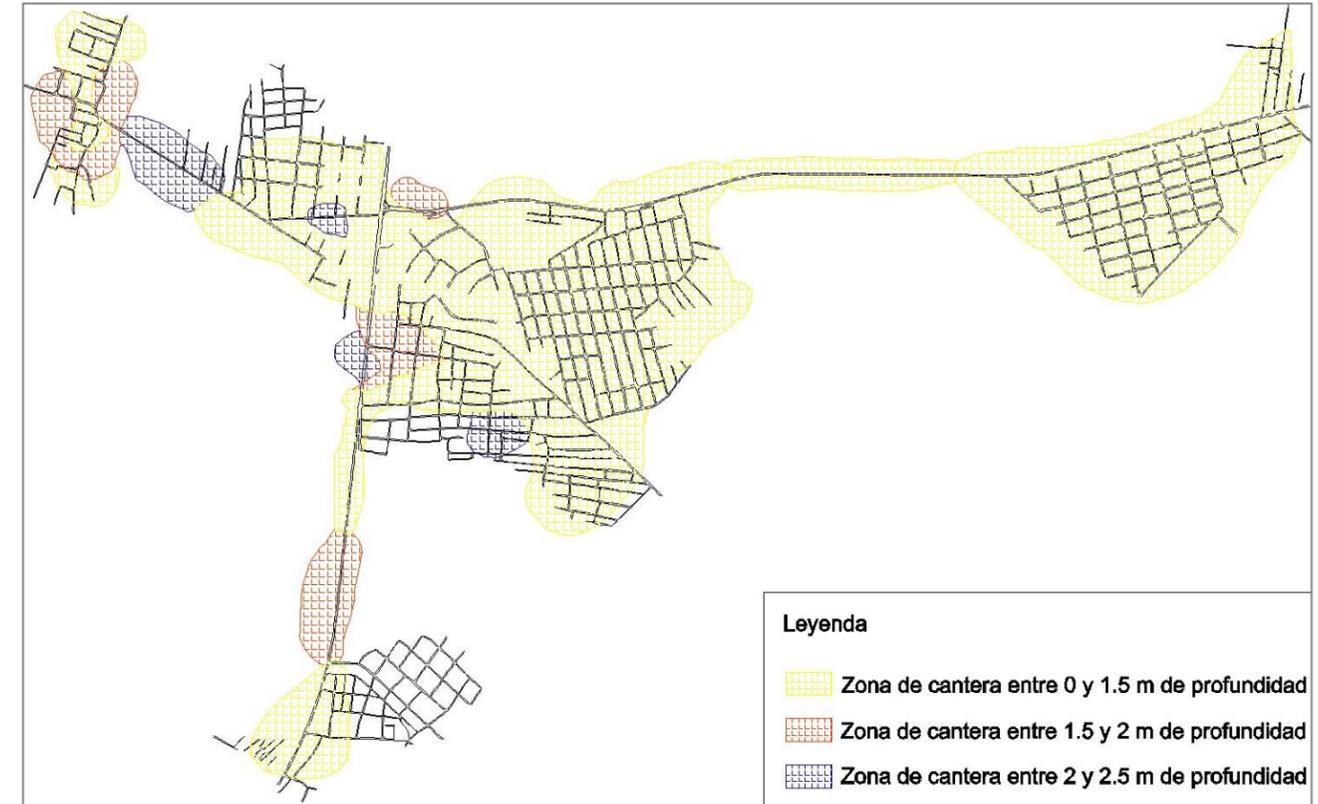


Figura 4. Zonificación de la profundidad de la cantera según las calicatas realizadas en San Benito. Fuente: Elaboración propia

Los tipos de suelos superficiales con mayor presencia en la zona son limos arcillosos tipo de plasticidad alta, de consistencia media a muy compacta. 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

## 7 Topografía

Con el objetivo de conocer la topografía de San Benito se recurre al levantamiento topográfico realizado en los “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)”.

La siguiente figura muestra los resultados del levantamiento topográfico en los núcleos de población que conforman el área de estudio, así como en el entorno de la ubicación de la planta depuradora.



Figura 5. Topografía de la ciudad de San Benito. Fuente: “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)”

Observando las curvas de nivel se aprecia que San Benito sigue la tendencia general del municipio de Tipitapa, la Cordillera central ubicada al noreste del municipio y el Lago Managua al oeste, generan una pendiente generalizada de este a oeste. En el barrio de San Emilio, en el extremo oriental de la población se alcanzan cotas superiores a los 90 m.s.n.m., mientras que, en la zona de la ubicación de la depuradora, en el extremo occidental, las cotas se sitúan en torno a los 55 m.s.n.m.

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.

El primero de los cauces, río La Señoreña, recorre el norte de la población trascurriendo paralelo a la carretera NIC-7 hasta introducirse en el interior de la ciudad. Desde este punto, atraviesa los barrios de El Paraíso y Empalme San Benito antes de cruzar la carretera Panamericana, y bordea por el norte a Los Novios, Fidel Castro y San Benito Agrícola después del cruzar bajo esta carretera.

El río El Papalote constituye el segundo cauce de importancia, se ubica al sur del núcleo de población principal, recorriendo el barrio Marvín Salazar. De este a oeste hasta cruzar bajo la carretera Panamericana junto a la entrada de esta carretera al interior de la ciudad. En su recorrido hasta el Lago Managua confluye, al sur de la ubicación de la planta depuradora, con un afluente de poco recorrido que transcurre por el norte del barrio El Papalote.

Estos dos trazados producen importantes pendientes a lo largo de San Benito, pero en área de poco tamaño. La zona situada entre estos cauces se sitúa en torno a la cota 75 y adquiere pendientes muy reducidas, de la misma forma, los barrios ubicados al oeste de la carrera Panamericana adquieren fuertes pendientes en las zonas próximas a La Señoreña, pero en la mayor parte de estas zonas el terreno no tiene desniveles de importancia.

## 8 Estudio de población

El cálculo de la población futura a la que se debe dar servicio en San Benito y, a partir de este valor, conocer la producción de agua residual que generará la ciudad en el año horizonte de diseño en 2041, supone el primer paso para el planteamiento de la red de saneamiento.

### 8.1 Proyección de la población

A partir de los resultados del censo y las encuestas realizados en el año 2019 comentados anteriormente, se determina que la población de la ciudad es de 18.774 habitantes. Por otro lado, el censo elaborado por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) establece para el año 2005 una población de 7.426 habitantes

A partir de estos dos datos y de acuerdo con la fórmula mostrada a continuación, se determina la tasa de crecimiento (r):

$$r = \sqrt[n]{\frac{P_n}{P_0}} - 1 = \sqrt[2019-2005]{\frac{18.774}{7.426}} - 1 = 6,85\%$$

Donde,

- $P_n$  es la población proyectada (año 2019).
- $P_0$  es la población inicial (año 2005).
- r es la tasa de crecimiento.
- n es la diferencia de años entre el año de la población proyectada y el año de la población inicial.

De acuerdo con las Normas Técnicas para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización del Agua (NTON 09 003 – 99), no se aplicará una tasa de crecimiento urbano mayor de 4%, adoptándose este valor para la proyección de la población de San Benito.

Conociendo el crecimiento anual de la población y el número de habitantes en 2019, se realiza la proyección al año 2041.

$$P_n = P_0 \cdot (1 + r)^n = 18.774 \cdot (1 + 0,04)^{2041-2019} = 44.493$$

La estimación de la población de San Benito para el año 2041 es de 44.493 habitantes.

### 8.2 Población de saturación

De acuerdo con los resultados del censo mostrados anteriormente, en San Benito existen un total de 4.793 parcelas habitables, de las cuales la población en 2019 ocupaba 3.994. Antes de realizar la distribución de la población en las áreas de expansión, se calcula el límite de habitantes que puede albergar el área habitada. Aplicando el índice habitacional de 4,7 habitantes por vivienda a las 799 parcelas desocupadas se estima que 3.756 habitantes ocuparan el resto de las parcelas ocupadas.

De esta forma el volumen de población máximo que pueden acoger los límites actuales de San Benito es de 22.530 habitantes y el crecimiento de la población hasta el año 2041 supondrá un excedente de 21.963 personas que la infraestructura habitacional de San Benito no puede absorber.

### 8.3 Distribución de la población

Para determinar y cuantificar las zonas de expansión de desarrollo urbano, se respeta el criterio del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED), que considerar el fortalecimiento de la concentración, con crecimientos limitados de superficie y valores de densidad media y alta, para aprovechar al máximo las inversiones de infraestructuras y minimizar el consumo del recurso tierra.

De acuerdo con los criterios del SINAPRED y la alcaldía de San Benito el área de San Benito es considerada de densidad urbana baja, estableciéndose una densidad media de población de 70 habitantes por hectárea en la zona de expansión a habitar. Con este índice de ocupación, la superficie requerida para albergar a la población hasta el año 2041 es de 313,36 hectáreas.

Adicionalmente, la alcaldía define, para los “ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO DE LAS CIUDADES DE SAN BENITO (AS), SAN BENITO (AS) Y TICUANTEPE (AP Y AS)”, cuatro zonas de expansión y su orden de ocupación. En primer lugar, de debe ocupar el área de expansión oeste, seguida de la zona este y finalmente la zona de expansión sur. La zona norte, de menor extensión, se destina a la ocupación para actividades industriales.

La siguiente figura muestra la distribución de la población en las áreas de expansión oeste y este.

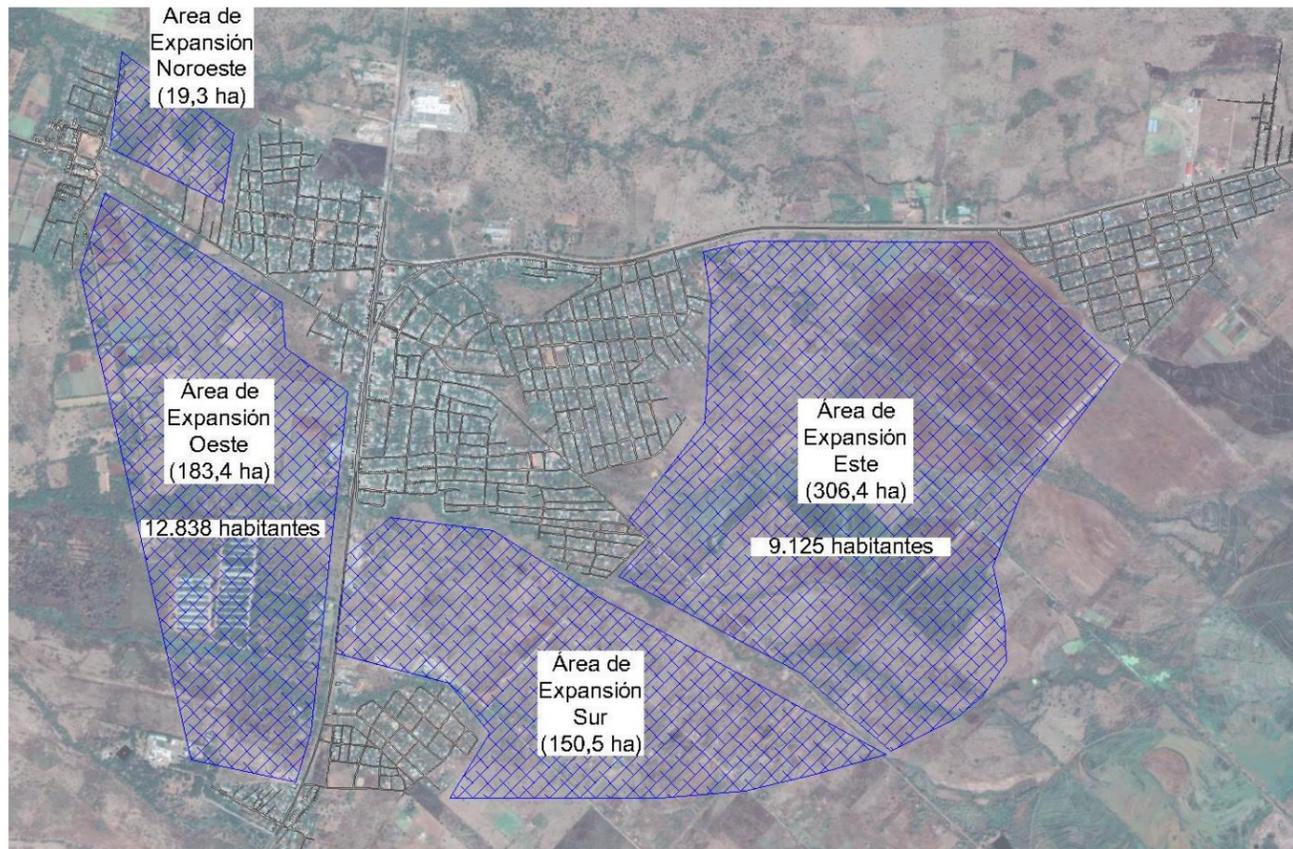


Figura 6. Distribución de la población en las áreas de expansión. Fuente: Elaboración propia

El área de expansión oeste se ocupará en primer lugar y en su totalidad, con una población estimada de 12.838 habitantes, mientras que el área de expansión este acogerá 9.125 habitantes, ocupando aproximadamente el 42% de la superficie.

## 9 Estimación de los caudales

El cálculo de la dotación de agua se obtiene en base a las Normas Técnicas para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización del Agua (NTON 09 003 – 99) y las Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

### 9.1 Caudal doméstico

En esta normativa se establece que la dotación diaria por habitante depende de la población de la ciudad, para una población entre 15.000 y 20.000 habitantes se fija en 153 litros/hab./día, pero con el aumento de la población de San Benito hasta el año 2041 se alcanza la dotación de 170 litros/hab./día establecida para poblaciones entre 30.000 y 50.000 habitantes. Con estos valores el consumo de agua de la ciudad será de 7.564 metros cúbicos al día en el año 2041

Adicionalmente, la norma define que únicamente el 80% del agua de consumo finaliza en la red de saneamiento de forma que la producción final de San Benito será de 6.051 m<sup>3</sup>/día en 2041, dando un caudal medio doméstico de 70,04 litros por segundo.

### 9.2 Consumo comercial, industrial y público

Además del consumo doméstico, existen otros factores que incrementan el consumo de agua, siendo éstos el consumo comercial, el consumo público o institucional y el consumo industrial.

Tabla 2. Porcentajes consumo comercial, industrial y público. Fuente: Tabla 2 – 4 NTON 09 003 – 99

Consumo	Porcentaje
Comercial	7
Público o institucional	7
Industrial	2

### 9.3 Caudal medio

Calculando el caudal medio como la suma del caudal doméstico, comercial, industrial y público, adquiere un valor de 81,24 litros por segundo.

#### **9.4 Caudal de infiltración**

Según las NTON 09 003-99 el caudal de infiltración supone un incremento del flujo de agua que circula por la red de saneamiento y procede, de la filtración del agua de lluvia o, en menor medida de pérdidas de caudal de las redes de abastecimiento.

Para tuberías plásticas establece un caudal de infiltración de 2 l/hora/100 m de tubería y por cada 25 milímetros de diámetro. Estimando las longitudes de las calles de San Benito y la distribución de los trazados de los colectores de mayor diámetro el caudal de infiltración es de 7,2 litros por segundo.

#### **9.5 Caudal máximo doméstico**

Las Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales determinan el gasto máximo de aguas residuales domésticas utilizando el factor de relación de Harmon, que debe encontrarse entre 1.80 y 3.00.

La expresión mediante la cual se calcula el caudal máximo con este factor es la siguiente:

$$Q_{max} = \left[ 1 + \frac{14}{1 + P^{1/2}} \right] \cdot Q_m$$

Donde

- $Q_{max}$  es el caudal máximo
- P es la población servida en miles de habitantes
- $Q_m$  es el caudal medio

Aplicando la formula anterior a la población destinada para el año 2041, el factor de Harmon adquiere un valor de 2,31 y el caudal máximo domestico es de 161,93 litros por segundo

#### **9.6 Caudal de diseño**

Considerando los cálculos realizados anteriormente, y calculando el caudal de diseño como la suma del caudal máximo doméstico, los caudales comercial, público e industrial y el caudal de infiltración, le red de San Benito se diseñará para un caudal de 180,33 litros por segundo.

### **10 Diagnóstico ambiental**

En el diagnóstico ambiental de San Benito se incluye, como factor más importante para el documento a desarrollar, la contaminación del agua, pero el deterioro del entorno de la ciudad también incluye aspectos como la degradación del suelo, la reducción de la cobertura vegetal y la contaminación atmosférica.

El primero de los aspectos a considerar es la degradación del suelo, en el entorno de San Benito la afección a este recurso se ha producido por el cambio de uso de terrenos naturales para el desarrollo de actividades agropecuarias. La deforestación o quema de la vegetación existente con el objetivo de crear áreas despejadas suponen el primer paso para la pérdida de calidad del suelo. Además, el uso de fertilizantes y pesticidas en los terrenos agrícolas contribuye, en gran medida, a la contaminación del acuífero.

Por otro lado, la inexistencia de un adecuado sistema de recogida de residuos doméstico genera grandes cantidades de basura en las calles, especialmente en las zonas del interior de la ciudad más alejadas de las vías principales o las carreteras que cruzan el núcleo urbano.

Además de la degradación del suelo que genera, la perdida de vegetación constituye, en sí misma, un deterioro a medio ambiente. El incremento de la actividad agraria y, en menor medida, ganadera, ha originado la desaparición de gran parte de las masas forestales más cercanas a la ciudad. Actualmente, las zonas con mayor densidad de vegetación en el entorno de San Benito las constituyen los cauces de los ríos El Papalote y La Señoreña.

Como intento de frenar esta situación, en el municipio de Tipitapa han surgido algunas reservas forestales de carácter privado en las que conservan algunas especies vegetales y, en consecuencia, suponen una ayuda a la conservación de algunas especies animales. Una de estas zonas se ubica en la comunidad de San Benito, junto a la carretera NIC-7. Esta área es propiedad de la Asociación de Comercializadores de Leña, trabajando con el apoyo técnico de la Comisión Nacional de Energía entre otros organismos.

Respecto a la contaminación atmosférica, la afección principal en San Benito es la producida por la combustión de leña en los domicilios o las emisiones de los vehículos privados o de actividad agrícola, pero en ninguno de los dos casos alcanza los niveles de emisiones de ciudades de mayor tamaño como es el caso de Managua, a escasos 23 kilómetros al suroeste.

Por otro lado, la ciudad de San Benito se encuentra alejada de los puntos con mayor actividad volcánica y estas emanaciones no resultarán muy críticas en cuanto al deterioro de la calidad del aire.

### 10.1 Carencia de sistema de saneamiento y contaminación del agua

La principal afección ambiental a la que se encuentra sometida la ciudad de San Benito es la contaminación del agua, tanto de los cauces como de los acuíferos. El uso incontrolado de fertilizantes y pesticidas en la agricultura supone una importante amenaza para la calidad del agua de los acuíferos, pero el deterioro de estos y de las aguas superficiales del entorno se produce, en gran medida, por los sistemas actuales de eliminaciones de las aguas residuales domésticas, siendo además el origen de numerosas enfermedades.

Independientemente del sistema de eliminación de las aguas residuales domésticas, gran parte de estos caudales son vertidas a cauces naturales, cuyo destino en el área de San Benito es el Lago Xolotlán. Aunque los volúmenes anuales producidos en San Benito no tienen especial importancia en relación con los generados por otras ciudades, esta agua realiza su contribución en el proceso de eutrofización que está sufriendo el lago.

El principal impacto que la degradación del agua origina es el deterioro del hábitat para gran parte de la fauna existente en la zona, muchas especies de peces, anfibios o reptiles sufren la disminución de la calidad de las aguas de los cauces cercanos a San Benito.

La afección al ecosistema se ve incrementada durante el periodo seco, los escasos aportes de agua al lago junto con la reducida agitación del agua por viento, aumentan el problema de la eutrofización de esta masa de agua, produciéndose la muerte de algunas especies de peces.

Frente a la contaminación del lago originada por los vertidos a los cauces, el uso de fosas sépticas genera, en primera instancia, la contaminación del acuífero. El peligro de consumo de agua contaminada por las filtraciones de aguas residuales domésticas, lo constituye la proximidad entre los pozos de bombeo y los puntos de filtración.

Además de los dos pozos de ENACAL (Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados) situados junto a los barrios Los Novios y Fidel Castro, que dan servicio a la red de abastecimiento de San Benito, en el interior de la ciudad existen otras cuatro tomas de agua subterránea de carácter público o comunitario,

situadas en el interior de los barrios El Paraíso y Marvín Salazar. La siguiente imagen muestra la localización de estos seis pozos.

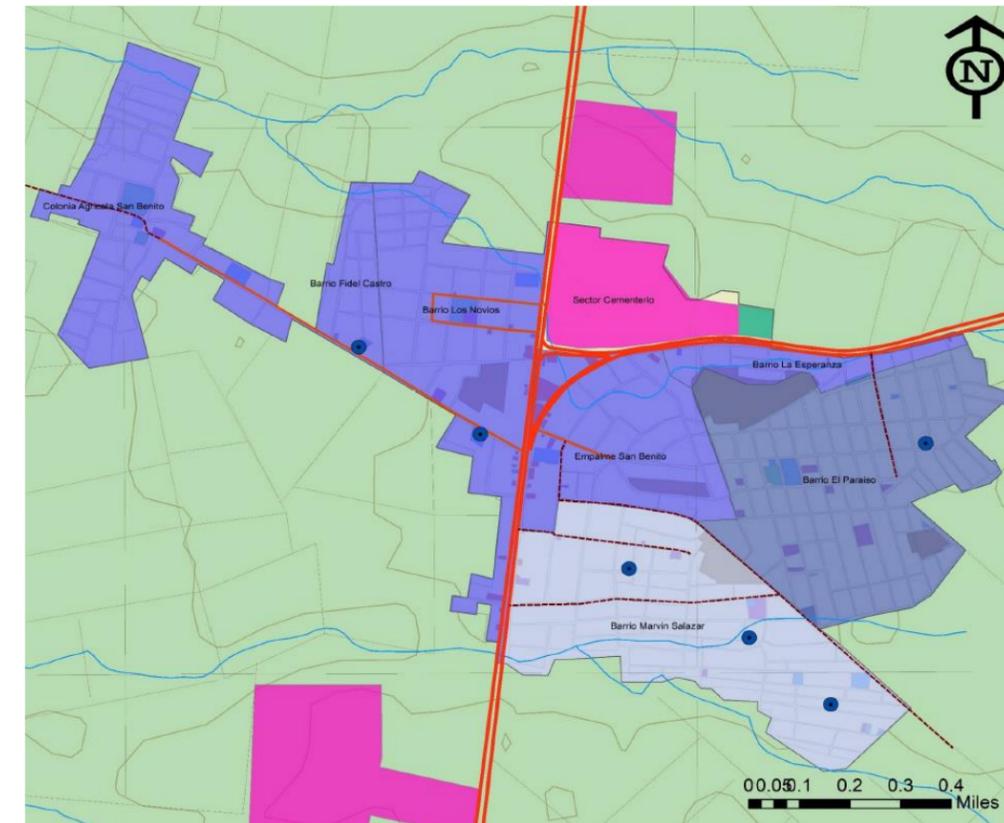


Figura 7. Localización de los pozos de San Benito. Fuente: "Esquema de desarrollo urbano de la Comunidad de San Benito, Municipio de Tipitapa" de Guadalupe María Sánchez Espinoza y Frank Eliezer López Moraga

La proximidad de estas tomas de agua con los numerosos puntos de eliminación o vertido de aguas residuales constituye la causa de la mayor parte de las enfermedades que se desarrollan en San Benito como es el caso de la fiebre tifoidea y el cólera como enfermedades más comunes.

Por otro lado, como se ha comentado en apartados anteriores, los embalsamientos de agua en numerosos puntos de las calles de la ciudad suponen la proliferación de mosquitos como principales transmisores de enfermedades como la Malaria, la Leishmaniasis o el Dengue.

## 11 Ubicación de la planta depuradora

Como paso previo a la definición de la red de saneamiento, se establece el punto de recogida y tratamiento de las aguas residuales. Para la elección de la ubicación de la depuradora se definen dos alternativas:

- Alternativa 1: Ubicación norte con vertido al río La Señoreña
- Alternativa 2: Ubicación oeste con vertido al río El Papalote

La siguiente figura muestra las dos ubicaciones planteadas y la superficie sobre la que se situaría la planta depuradora:

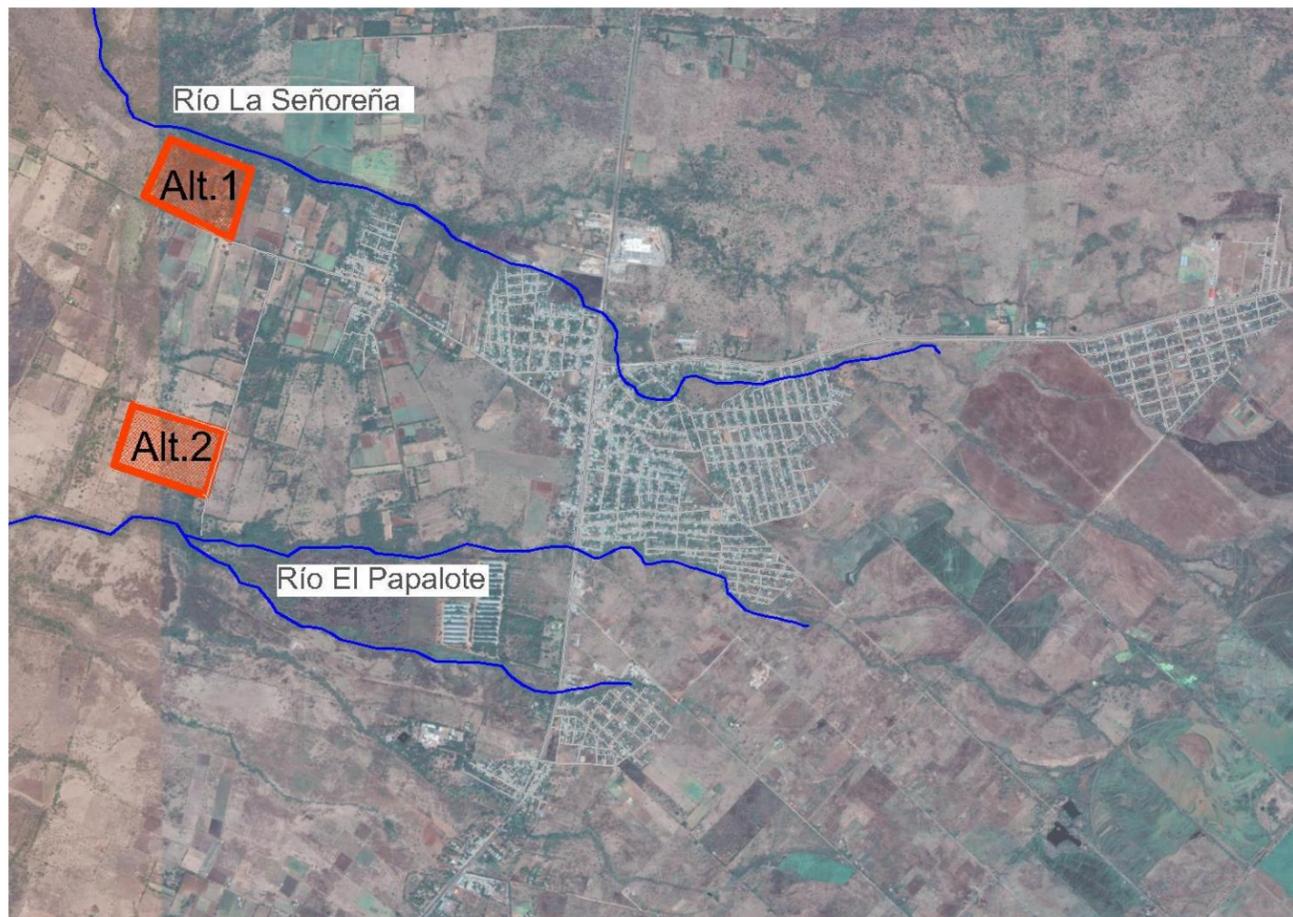


Figura 8. Alternativas para la ubicación de la planta depuradora. Fuente: Elaboración propia

### 11.1 Alternativa 1: Ubicación norte con vertido al río La Señoreña

La primera alternativa para la ubicación de la planta de depuradora se ubica al oeste del barrio San Benito Agrícola, con una cota de 60 m.s.n.m. Debido a la localización junto al camino que une la ciudad con el Lago Managua, cuenta con una elevada facilidad de acceso desde la ciudad y gracias a la proximidad con el cauce de recepción, el colector de reincorporación del agua tratada sería de escasa longitud.

El emplazamiento entre el cauce y el camino de acceso ofrece una franja de más de 300 metros de anchura y la posibilidad de extender la parcela hacia el oeste, de forma que se garantice la posibilidad de constituir cualquier tipología de tratamiento.

Por otro lado, la normativa de aplicación exige, para los sistemas de depuración más exigentes, una separación mínima de 500 metros respecto al núcleo de población más cercano, superándose esta separación con respecto al barrio comentado anteriormente.

Frente a las ventajas comentadas, esta ubicación presenta inconvenientes técnicos y ambientales. En primer lugar, el emplazamiento en el extremo noroeste de la ciudad supone una distancia aproximada de cuatro kilómetros con los barrios El Papalote y Colonia Roque. Con esta separación y considerando la diferencia de altura entre los dos puntos, no es posible plantear alternativas de la red que funcionen, únicamente, por gravedad.

La generación de polvo y ruido durante la construcción y de olores durante su funcionamiento supone importantes afecciones sociales, pero su localización al oeste de la población se ve favorecida por el régimen habitual de vientos que se producen de este a oeste.

En lo referente al aspecto ambiental, las parcelas planteadas para ubicar la depuradora se encuentran muy próximas al cauce de La Señoreña y suponen uno de los terrenos con mayor cantidad de vegetación. Por otro lado, la implantación de una infraestructura de gran superficie supone importantes barreras físicas para el paso de la fauna.

En la siguiente figura se observa como el volumen de vegetación del terreno sobre el que está ubicado la primera alternativa para el emplazamiento de la planta depuradora es mayor al existente en gran parte de las parcelas de esa zona.



Figura 9. Localización de la primera alternativa para la ubicación de la depuradora. Fuente: Elaboración propia

Por último, en el aspecto económico se incluye en la valoración del coste de situar la depuradora en el emplazamiento definido, excluyendo el coste de la implantación de los sistemas de tratamiento. Las parcelas sobre las que se presenta esta alternativa son propiedades privadas, y deberán ser adquiridas por la administración pública.

### **11.2 Alternativa 2: Ubicación oeste con vertido al río El Papalote**

La segunda alternativa para la ubicación de la planta depurada se localiza aproximadamente a 2.200 metros al oeste de la carretera Panamericana en la travesía de la ciudad, en las parcelas situadas al norte del río El Papalote. La altura de esta zona es similar a la primera alternativa, situándose alrededor de los 60 m.s.n.m.

La elevada separación con el núcleo de población principal permite garantizar la separación mínima de medio kilómetro con la zona de expansión oeste que se localiza entre esta ubicación y la carretera comentada anteriormente. El vertido del agua depurada desde este emplazamiento se produce al río El Papalote y debido a la proximidad del cauce, la tubería de vertido no requeriría gran longitud.

Respecto a la extensión de la parcela, la anchura aproximada es de 400 metros y la longitud supera los 550 metros, de esta forma, y junto a la posibilidad de extender la parcela hacia el oeste, sería posible emplear cualquier método de depuración, sin que el requerimiento de superficie supusiera ningún impedimento.

Como en la primera alternativa, la afección a la población producida por ruidos, olores y generación de polvo se ve reducida por la presencia, generalmente, de viento de dirección oeste.

La principal ventaja que presenta segunda ubicación es la mayor proximidad con los barrios El papalote y Colonia Roque, situándose aproximadamente a 2.500 metros, de forma que resulte posible plantear la red de saneamiento por gravedad.

Adicionalmente, la vegetación presente en estos terrenos es escasa y la construcción de la planta depuradora supondría una menor afección tanto a la flora como a la fauna del entorno de San Benito.

Frente a las ventajas que presenta esta alternativa, el principal inconveniente es la dificultad de acceso de estas parcelas, actualmente solo existe un camino de acceso que se extiende desde el oeste de barrio San Benito Agrícola hacia el sur, alcanzando el este del área definida para esta alternativa.

La siguiente imagen muestra la ubicación de la segunda alternativa, apreciándose la escasa vegetación existente y el camino de acceso comentado.

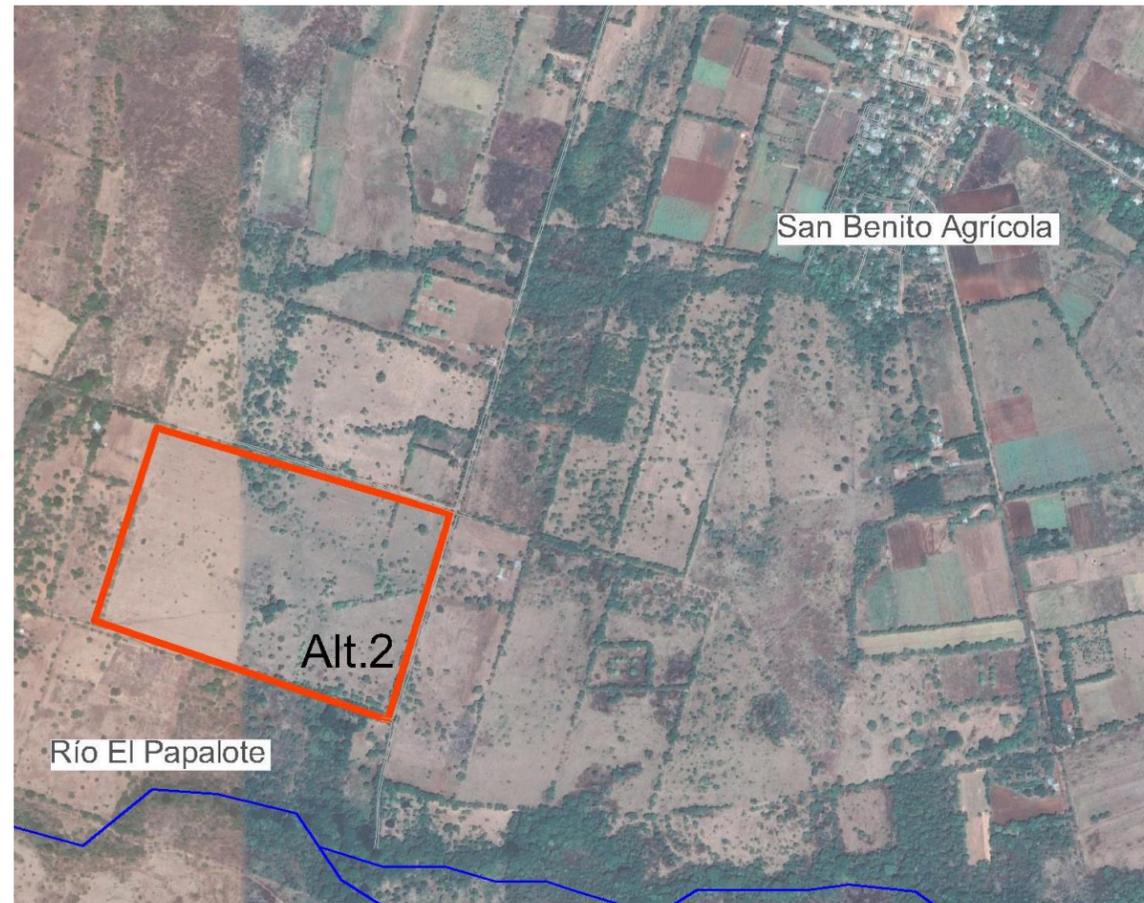


Figura 10. Localización de la segunda alternativa para la ubicación de la depuradora. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la expuesto en el apartado correspondiente a la otra ubicación, la localización al oeste de la población disminuye la afección producido por la generación de olores y emisión de ruido y polvo.

Por último, la valoración económica se determina, como en el caso anterior, por el coste de las parcelas en las que se extiende la planta depuradora. En el caso de esta alternativa los terrenos también son de propiedad privado, teniendo que ser adquiridos por la administración.

### 11.3 Criterios de valoración

De acuerdo con el contenido del *Anexo 7. Estudio de emplazamientos para la planta depuradora*, se establecen doce criterios para la valoración de las dos alternativas, dando a cada uno de ellos una ponderación en función de la importancia en el proceso de elección de la alternativa más adecuada. Además del criterio económico, se establecen cuatro criterios técnicos, cuatro sociales y tres ambientales.

Respecto a los criterios técnicos se valora que la **separación con los núcleos de población** permita implantar cualquier sistema de depuración, valorándose, además, **la disponibilidad de superficie** para ubicarlo. Por otro lado, se tiene en cuenta la **accesibilidad al emplazamiento**, y, por último, los **condicionantes para red de saneamiento**. Conociendo la altitud la que se encuentran las dos áreas y la separación con los diferentes barrios, este criterio valorará la posibilidad de ofrecer una red que funcione únicamente por gravedad.

La valoración de la afección a la población se valora mediante dos criterios de carácter temporal como son la **generación de polvo y ruidos durante la construcción** y la **ocupación temporal de parcelas** privadas. Por otro lado, se valora la afección permanente mediante la valoración de la **generación de olores** y la **adquisición de las parcelas** sobre las que se debe localizar la depuradora

Por último, la afección ambiental también se evalúa con criterios permanentes como la **eliminación temporal de vegetación** durante la construcción y criterios permanentes, como la **afección a la fauna** y la **desaparición de vegetación** en las parcelas ocupadas por la depuradora

Para finalizar con los criterios de valoración, se da un valor de **ceros o uno** en función de sí la alternativa presenta un grado alto o bajo de afección.

### 11.4 Resultados de la valoración

Tabla 3. Resultado de la valoración de las alternativas de emplazamiento para la planta depuradora. Fuente: Elaboración propia

Tipo de criterio	Criterio	Alternativa 1 Puntuación x Coef.	Alternativa 2 Puntuación x Coef.
Técnico	Separación a núcleos de población	0,5	0,5
	Disponibilidad de superficie	0,5	0,5
	Accesibilidad al emplazamiento	1	0
	Condicionantes para la red de saneamiento	0	1
Social	Generación de polvo y ruidos durante la construcción	0,5	0,5
	Generación de olores	0	0,5
	Ocupación temporal parcelas	0	0
	Ocupación permanente de parcelas	0	0
Ambiental	Eliminación de la vegetación	0	1
	Afección a la fauna	0	1
	Eliminación temporal de vegetación	0,5	0,5
Valoración económica		1	1
Valoración conjunta		4	6,5

Debido a la mejor valoración en los criterios ambientales y facilitando el planteamiento de trazados para la red de saneamiento que funcionen únicamente en gravedad, la segunda alternativa obtiene una mejor valoración, y supondrá el punto de tratamiento de las aguas residuales y el final de la red de saneamiento de la ciudad de San Benito.

### 11.5 Estudio de inundabilidad

Para determinar si existe riesgo de inundación en la ubicación de la depuradora se realiza un estudio de inundación del río El Papalote. A partir de los registros de precipitaciones se determinan las intensidades de lluvia de diferente periodo de retorno.

Respecto las características de la cuenca, el levantamiento topográfico junto con planos de relieve, facilitados por la alcaldía de San Benito para la realización de los “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)”, permiten delimitar su extensión, longitud y pendiente media.

A pesar de obtener un caudal de 131 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 100 años, la amplitud del cauce permite conducir el agua sin generar afección al área de la depuradora. La siguiente figura muestra la extensión del flujo de agua.

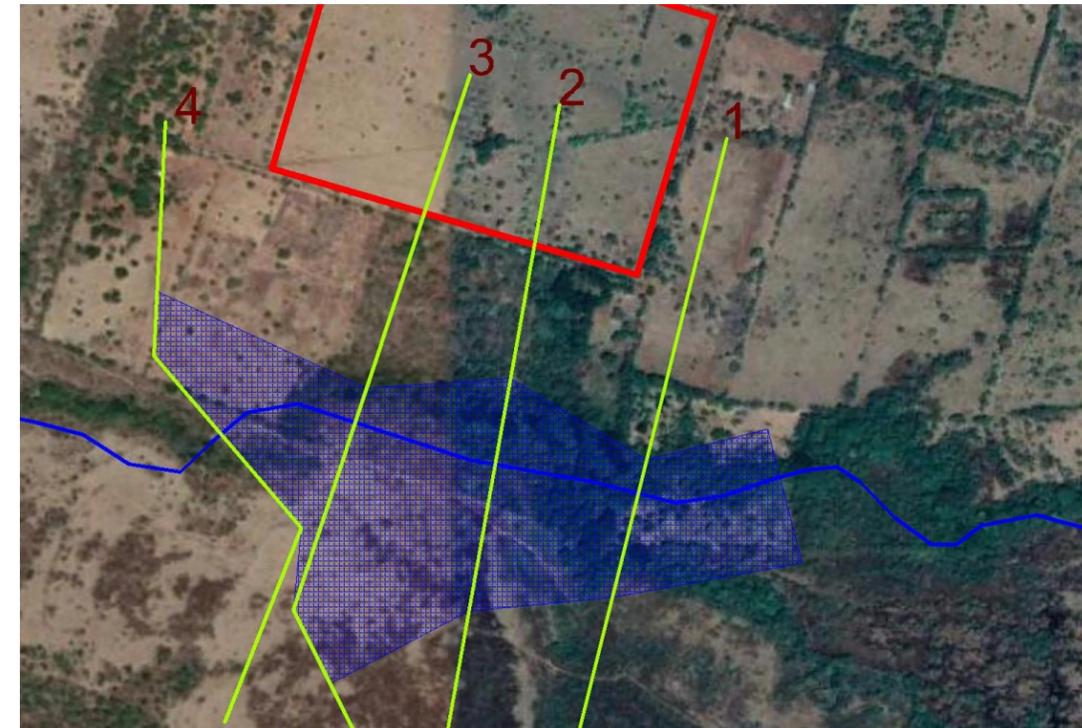


Figura 11. Alcance de la crecida para el periodo de retorno T=100 años. Fuente: Elaboración propia

## **12 Alternativas de la red de saneamiento**

Conociendo el punto de recogida de las aguas residuales de San Benito, que supone la elección de la segunda alternativa para el emplazamiento de la planta depurada, se procede a plantear y valorar las dos alternativas de la red de saneamiento.

- Alternativa 1: Red de saneamiento por gravedad con estación de bombeo
- Alternativa 2: Red de saneamiento por gravedad sin estación de bombeo

En los siguientes apartados se presenta la descripción y características de cada alternativa.

### **12.1 Alternativa 1: Red de saneamiento por gravedad con estación de bombeo**

La primera alternativa a plantear para la red de saneamiento de San Benito está constituida por un único colector de entrada a la depuradora, que se extiende con dirección este, a lo largo de 1.200 metros, hasta la confluencia de los dos trazados principales y de los caudales procedentes del área de expansión oeste.

El primero de los dos colectores principales tiene su inicio al noreste del barrio Los Novios, junto a la salida norte de la carretera Panamericana, desde este punto el trazado se sitúa paralelo al río La Señoreña hasta llegar al extremo noreste de San Benito Agrícola. En este punto, después de recoger las aguas residuales de gran parte de Los Novios y Fidel Castro, el agua se eleva mediante una estación de bombeo situada en las coordenadas UTM X: 601711,47; Y: 1361832,82.

El escaso caudal recogido en esta zona junto a la escasa pérdida de cota del terreno supone zanjas de elevada profundidad, de esta forma, la estación de bombeo eleva las aguas para que continúen fluyendo en gravedad con dirección sur. Aguas abajo del bombeo, el colector recorre el este de San Benito Agrícola hasta producirse, en el punto comentado anteriormente, la confluencia con el segundo colector principal.

La longitud total de este trazado es de 2.900 metros y se producen cuatro confluencias con tuberías secundarias, tres de ellas aguas arriba del bombeo y la cuarta aguas abajo, desde el interior de San Benito Agrícola.

El segundo colector principal alcanza el punto de confluencia después de recorrer, aproximadamente, 4.900 metros desde su inicio al oeste del barrio San Emilio. El área a la que da servicio este trazado es significativamente mayor a la del primer colector, y el caudal de diseño antes de la confluencia es diez veces mayor.

Desde el inicio, este colector se extiende hacia el oeste con una trayectoria paralela a la carretera NIC-7 y posteriormente recorre el sur del río La Señoreña hasta el cruce de la carretera anterior con la Panamericana. El caudal transportado hasta este punto procede, mediante seis redes secundarias, de los barrios San Emilio, La Esperanza, El Paraíso, gran parte de Empalme San Benito y el área de expansión este, constituyendo entorno a la mitad del área de estudio.

Al sur de al cruce de las carreteras, las aguas residuales de este colector se unen con los caudales procedentes del sur de Los Novios y Fidel Castro que fluyen en dirección oeste desde esta zona. A partir de esta confluencia el trazado gira hacia el sur paralelamente a la carretera Panamericana.

Aproximadamente 700 metros al sur de este cambio de dirección y después de recoger los caudales del interior de Empalme San Benito, se produce la unión con el colector procedente del sur de la ciudad. Esta confluencia se produce al oeste del barrio Marvin Salazar, y además de las aguas de los barrios Colonia Roque y El Papalote con un colector procedente del sur, también se captan las aguas residuales del interior de Marvin Salazar mediante una red secundaria.

El trazado procedente del sur, se localiza paralela a la carretera Panamericana se extiende más de 800 metros hasta la confluencia comentada anteriormente. Desde este punto, el trazado se prolonga hacia el oeste más de 1.00 metros, hasta producirse la unión con el primer colector principal.

La siguiente figura muestra el trazado en planta de la primera alternativa para la red de saneamiento de la ciudad de San Benito.

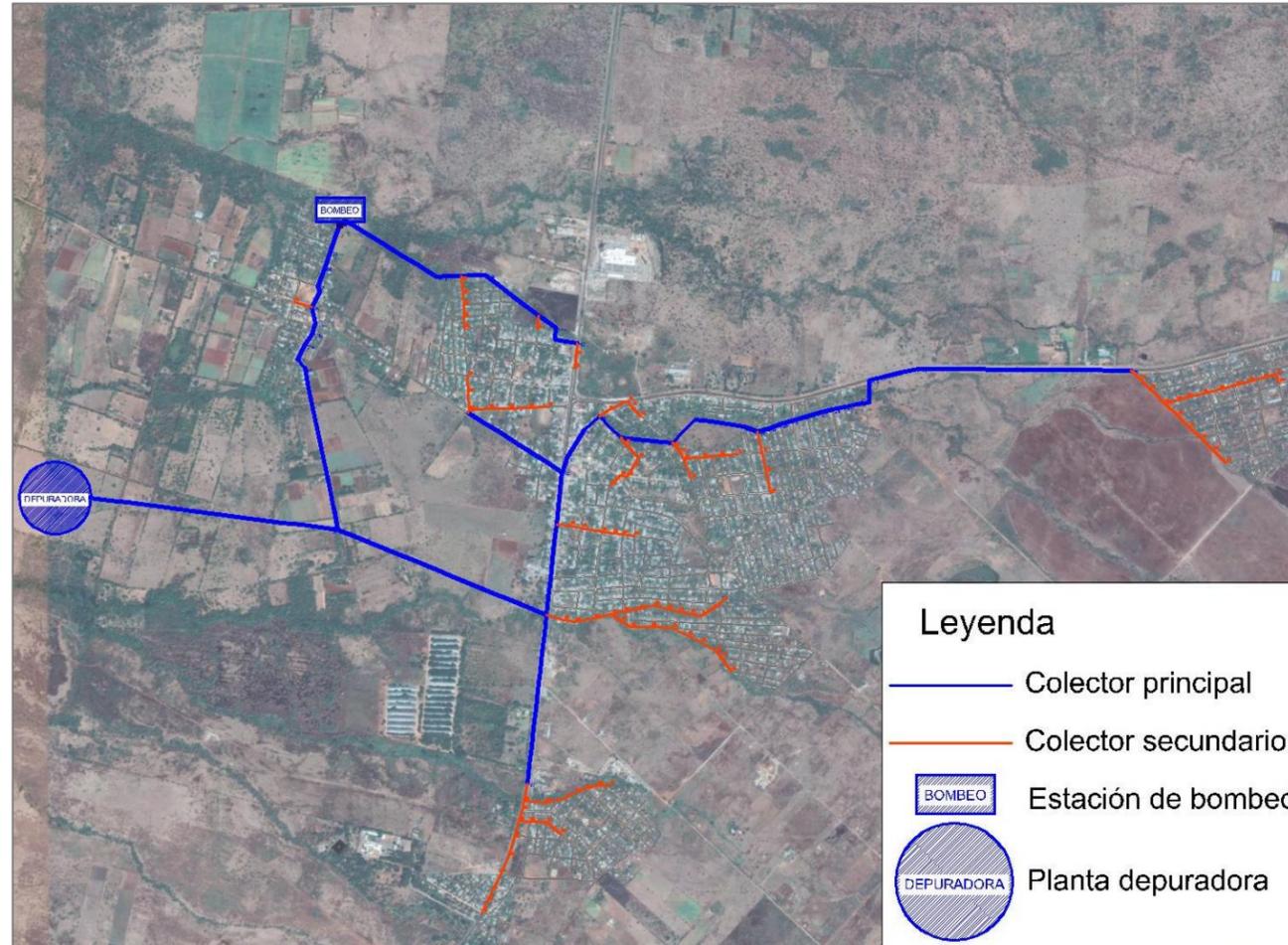


Figura 12. Trazado en planta de la primera alternativa para la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el predimensionamiento de la primera alternativa se han definido un total de 225 tramos de tuberías con una longitud máxima, según la normativa de aplicación en Nicaragua, de 100 metros, conformando una longitud total de 17.289 metros. Los diámetros de los colectores varían entre 150 mm en los puntos altos de la red y las tuberías secundarias, y los 700 mm, en los tramos de entrada a la planta depuradora.

La red de esta alternativa requiere una estación de bombeo con capacidad para elevar un caudal máximo de 2,5 litros por segundo a una altura de 7 metros. Con esta infraestructura, se consiguen las pendientes suficientes para que el flujo de agua cumpla con los criterios de arrastre establecidos en por las Guías

Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales del INAA.

Otros elementos requeridos para configurar la red son los 226 pozos de visita que definen el inicio y fin de cada uno de los tramos de la red. Además, once de estos puntos constituyen estructuras de caída en confluencias en las que los de colectores están situados a diferentes cotas.

Como resultado del predimensionamiento se obtienen algunas características globales de la red, de acuerdo a las normas de aplicación toda la red debe garantizar un valor de la tensión de arrastre superior a 1 Pa. La primera alternativa cumple con esta condición, pero presenta aproximadamente 13,5 kilómetros de red con una tensión de arrastre inferior a 1,2 Pa, a pesar de que este valor es suficientemente alto para asegurar el correcto funcionamiento, constituye, de acuerdo con el Anexo 9.- *Estudio de alternativas de la red de saneamiento* uno de los aspectos a valorar.

Por otro lado, la totalidad de la red cumple con el criterio de velocidad máxima, establecida en 3 m/s, obteniéndose valores bastante alejados de este límite.

Respecto a las consideraciones socioambientales a tener en cuenta, el trazado de la primera alternativa será susceptible de generar una afección importante por ruido y polvo durante la construcción, debido a que recorre el este del barrio San Benito Agrícola y el régimen de vientos conducirá, especialmente el polvo, hacia el oeste.

La presencia de estación de bombeo, a pesar de situarse al noreste de este barrio, no supondrá una afección por emisión de olores importante, debido al reducido tamaño que requiere.

Observando el recorrido de los colectores principales, la primera alternativa plantea una importante afección a la carretera Panamericana, debido a que esa vía es recorrida prácticamente en la totalidad de su travesía por San Benito. De la misma forma, presenta una gran longitud de colector que requiere la ocupación de terrenos privados, especialmente en el tramo de entrada a la estación depuradora.

Por último, el primer trazado presenta una reducida longitud de colectores junto a los cauces existentes en el entorno de la ciudad, y, por tanto, una afección escasa a la flora y la fauna del municipio.

## **12.2 Alternativa 2: Red de alcantarillado sanitario por gravedad sin estación de bombeo**

La segunda alternativa para la red de saneamiento de San Benito está compuesta por cuatro colectores principales, dos de ellos constituye la entrada a la planta depuradora por el norte y los dos restantes conducen al agua desde el sur de la población. Considerando los colectores principales y los secundarios, la longitud total de tubería es de 21.113 metros

La entrada norte de la depuradora se extiende, hacia el norte y hasta alcanzar el extremo este del barrio San Benito Agrícola, más de 1.500 metros con un diámetro de 600 mm. En este punto se produce la confluencia de los dos primeros colectores principales, además, también se incorporan los caudales de la red secundaria que da servicio a la zona sur del barrio comentado y a gran parte del área de expansión oeste.

El primer trazado principal presenta una longitud de 5.150 metros con inicio en el extremo oeste del barrio San Emili, desde este punto se extiende la red secundaria de este barrio de forma similar a la primera alternativa. Este trazado también recoge el agua residual del área de expansión este, El paraíso, La Esperanza, gran parte de empalme San Benito y la zona norte de Los Novios, Fidel Castro y San Benito Agrícola, recogiendo más del 40% del agua residual producida en la ciudad.

El recorrido de este colector se inicia, como uno de los trazados de la alternativa anterior, paralelo a la carretera NIC-7 y posteriormente atraviesa el interior del núcleo de población principal junto al cauce de La Señoreña. A lo largo de este tramo, recoge los caudales de cinco redes secundarias, que a excepción de los aportes del barrio La Esperanza, proceden del sur.

Junto al cruce de la carretera panamericana con la NIC-7 se desplaza hacia el norte conforme al trazado del río comentado, y bordeando el norte de la ciudad alcanza el punto de confluencia con el segundo colector después de captar el agua de tres redes secundarias de esta zona.

En el interior de Empalme San Benito se inicia otro de los colectores principales, que se desplaza hacia el norte junto a la carretera Panamericana para girar conforme al camino que da acceso al barrio San Benito Agrícola.

La longitud total de este colector es de 2.070 metros, esto, junto con el hecho de que solo recoge las aguas residuales de dos redes secundarias, genera que el caudal de este ramal sea significativamente menor al del primer colector definido, aproximadamente el 20%.

Por otro lado, la entrada sur de la planta depuradora también cuenta con dos colectores principales, que confluyen al sureste de esta instalación. Entre el punto de unión de los dos trazados hasta la depuradora se el agua recorre 500 metros por un colector de 375 mm de diámetro.

A diferencia de los trazados anteriores, que recorren zonas pobladas, los dos trazados restantes presentan recorridos paralelos a los dos cauces existente al sur de San Benito. El primero de ellos recorre el río El Papalote, y se inicia al oeste del barrio Marvín Salazar, desde el punto en el que vierte el agua la red secundaria de esta área. La longitud total de esta tubería supera los 2.100 metros con un único aporte intermedio, constituido por la segunda conexión del área de expansión oeste, que se produce, aproximadamente en el centro del recorrido.

El último colector principal de esta alternativa discurre paralelo a un de los afluentes del río nombrado anteriormente. La extensión total de este trazado es, aproximadamente, de 2.200 metros, y se inicia al norte de los barrios El Papalote y Colonia Roque. Como el anterior colector, después de la red secundaria que da servicio a estos barrios, el único aporte existente procede del área de expansión oeste.

La siguiente figura muestra el trazado en planta de la segunda alternativa para la red de saneamiento de la ciudad de San Benito.

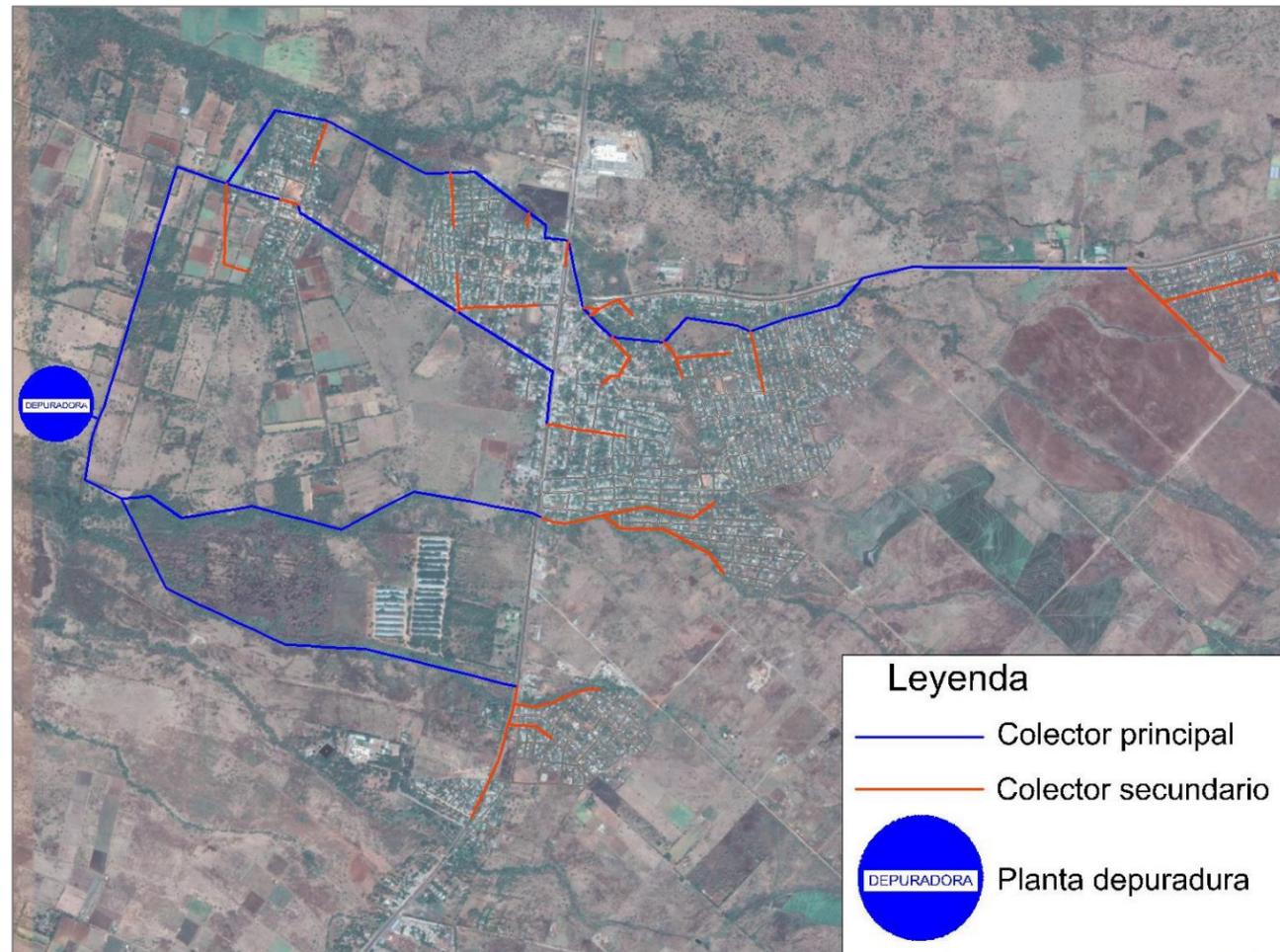


Figura 13. Trazado en planta de la segunda alternativa para la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia.

La red presentada para la segunda alternativa se han definido un total de 266 tramos de tuberías, con diámetros que varían desde los 600 mm, en el primer colector principal y el trazado de entrada norte, y los 150 m en los tramos iniciales y gran parte de las redes secundarias.

Para definir estos tramos se establecen 267 pozos de visita, que suponen puntos de aporte, cambios de dirección o pendiente, o la división de la tubería en tramos de 100 metros. En esta alternativa, ocho de estos pozos de visita conforman estructuras de caída, en punto en los que la confluencia de colectores se produce a diferentes alturas.

Como en la alternativa anterior, el predimensionamiento de la red, además de exigir el cumplimiento de los requerimientos de la normativa, permite evaluar el funcionamiento de la red analizando la proximidad con los límites exigidos para la tensión de arrastre y la velocidad máxima.

Pese a cumplirse el requerimiento del valor de la tensión de arrastre, la segunda alternativa presenta más de 14,5 kilómetros de red con un valor de este parámetro inferior a 1,2 Pa. Por otro lado, en ninguno de los tramos se supera la velocidad máxima, definida en 3 m/s, ni se alcanzan valores cercanos a este límite.

Respecto a los aspectos socioambientales a considerar, a pesar de presentar una longitud muy elevada de colectores, gran parte de estos trazados se ubican al oeste de las zonas pobladas, y considerando los vientos de dirección oeste, la afección por polvo y ruido será reducida.

Otra de las consecuencias de la mayor extensión de la red puede ser la afección a las vías principales de la ciudad o la necesidad de ocupación de terrenos privados, pero, de acuerdo con la definición realizada anteriormente, gran parte de los trazados se localizan paralelos a los cauces y la longitud de tuberías sobre las carreteras que cruzan San Benito son más reducidas que en la alternativa anterior.

Como consecuencia de lo anterior, la afección a la flora y la fauna del entorno de la ciudad, localizada en los cauces, resultará más importante.

### 12.3 Valoración técnica de las alternativas

#### 12.3.2 Resultados de la valoración técnica

##### 12.3.1 Criterios de valoración técnica

Para realizar la valoración técnica de las alternativas planteadas se establecen los siguientes criterios: En primer lugar, la necesidad de una **estación de bombeo** a lo largo de los trazados supondrá dificultades técnicas destacables tanto en fase de construcción como de operación, siendo este uno de los criterios de mayor importancia

Por otro lado, existen diferentes características de la red que pueden suponer dificultades técnicas durante la construcción, uno de estos criterios es el **máximo diámetro** que requiere la red para funcionar adecuadamente. Los colectores de mayor tamaño presentarán mayores dificultades de transporte y colocación, especialmente si se tiene en cuenta que la parte final de la red cuenta con dificultades de acceso.

Del mismo modo, la mayor **extensión de la red** será susceptible de producir mayores retrasos o errores en la colocación de los colectores o excavación de zanjas. Respecto a los pozos de visita, las profundidades elevadas serán susceptibles de generar complicaciones técnicas durante la colocación de los colectores o los PVS, por tanto, se valorará la **profundidad máxima de los pozos de visita**.

Considerando el funcionamiento de la red, la normativa exige cumplir requerimientos de **tensión de arrastre mínima y velocidad máxima**. Debido a que son criterios de obligado cumplimiento, no son aceptables redes que no los cumplan, valorándose en este caso, la cantidad de tramos que se encuentran en valores cercanos a los límites exigidos.

Respecto a la valoración, cada una de las alternativas recibirá una puntuación entre 1 y 3 para cada uno de los criterios expuesto anteriormente, de esta forma se obtendrá la valoración técnica de cada uno de los trazados.

Tabla 4. Resultados de la valoración técnica de las dos alternativas. Fuente: Elaboración propia

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2
	Puntuación x Coef.	Puntuación x Coef.
Estación de bombeo	1,5	4,5
Diámetro máximo	0,5	1
Longitud total de la red	3	2
Profundidad máxima PVS	1	2
Tensión tractiva baja	4,5	3
Velocidad máxima	3	3
Valoración conjunta	13,5	15,5

De acuerdo con la tabla anterior, la primera alternativa presenta una mejor valoración en algunos criterios como la longitud total de la red o la presencia de menos tramos de colectores con tensiones de arrastre cercanas a las limitaciones de la normativa, pero la presencia de la estación de bombeo tiene un peso negativo de gran importancia y de acuerdo con los criterios técnicos la segunda alternativa es la mejor valorada.

## 12.4 Valoración económica

La valoración económica de las alternativas se define como un único criterio en la valoración de las mismas, ponderándose para adquirir la relevancia requerida de acuerdo a la valoración general. Para la estimación de los costes se consideran por un lado los costes de construcción, y en segundo lugar los costes de operación y mantenimiento.

### 12.4.1 Costes de construcción

La valoración de los costes de construcción se realiza definiendo los siguientes siete grupos de unidades de obra.

1. Excavación general por rangos de profundidad, incluyen sobreexcavación o entibado
2. Excavación clasificada, en cantera.
3. Material de relleno.
4. Suministro e instalación de tubería.
5. Pozos de visita
6. Estructura de caída para pozos de visita.
7. Rotura y reposición de superficie.

El precio establecido para cada una de las unidades que conforman estos grupos se obtiene de los "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)"

Adicionalmente, la estación de bombeo que presenta la primera alternativa requiere una valoración adicional en la que se incluye, la obra civil, las instalaciones electromecánicas, la instalación eléctrica, los elementos auxiliares, como compuertas o rejas de limpieza, y, obras conexas como el vallado perimetral o la caseta de operación.

Los costes obtenidos en los diferentes grupos muestran que la primera alternativa supone mayores gastos en excavación en cantera, pozos de visita y estructuras de caída, siendo la diferencia en este último grupo la menos relevante. Por otro lado, la segunda alternativa presenta más costes en excavación en suelo, suministro e instalación de tubería y rotura y reposición de superficie, debido a la mayor longitud de la red. Las diferencias de la inversión destinada al relleno de las zanjas no presentan diferencias entre las alternativas.

Con los gastos de la red, las diferencias de los costes son muy reducidas siendo superior la inversión de la segunda red propuesta. El gasto de la estación de bombeo resulta el factor determinante, suponiendo un incremento superior al 10% del coste de la primera red, resultando esta significativamente más costosa.

Tabla 5. Coste de construcción de las alternativas de la red de aguas residuales. Fuente: Elaboración propia

	Construcción (€)
Alternativa 1	3.401.898,05
Alternativa 2	3.184.331,22

### 12.4.2 Costes de operación y mantenimiento

La valoración de los costes de operación se determina en base a los siguientes aspectos.

1. Salarios del personal asignado a la operación y vigilancia de la red de saneamiento.
2. Los medios de protección personal y uniforme.
3. Reposición de herramientas y adquisición de material.
4. Los costes de movilización.
5. Retirada de los residuos extraído de los PVS.

La valoración del coste de mantenimiento se calcula como un 5% anual del coste de inversión de los elementos sobre los que se realizan estas actividades.

Como en el cálculo de los costes de construcción, la estación de bombeo requerirá la una evaluación adicional. El coste de operación se determina mediante los sueldos de los operarios más el coste del kWh. Para el coste de mantenimiento se aplica un 1% del coste de construcción, a excepción de los elementos electromecánicos, a los que, debido a su relevancia y mayor desgaste, se les aplica el 2%.

Tabla 6. Coste de operación y mantenimiento de las alternativas de la red de aguas residuales en el periodo 2021-2041. Fuente: Elaboración propia

	Operación y mantenimiento (€)
Alternativa 1	1.601.521,10
Alternativa 2	943.119,00

### 12.4.3 Resultados de la valoración económica

Para realizar la valoración económica de las dos alternativas se suman los costes de construcción, operación y mantenimiento, la siguiente tabla muestra estos costes.

Tabla 7. Coste total de las alternativas de la red de aguas residuales. Fuente: Elaboración propia

	Construcción (€)	Operación y mantenimiento (€)	Total (€)
Alternativa 1	3.401.898,05	1.601.521,10	5.003.419,15
Alternativa 2	3.184.331,22	943.119,00	4.127.450,22

La segunda alternativa obtiene una mejor valoración económica, suponiendo una reducción del 17,5 % del coste de la primera red planteada.

## 12.5 Valoración socioambiental

### 12.5.1 Criterios de valoración socioambiental

Para realizar la valoración socioambiental de las alternativas presentadas para la red de saneamiento, se establecen seis criterios para puntuar cada alternativa. Respecto a los aspectos sociales, la **generación de ruido y polvo** será una de las principales afecciones producidas sobre la población. El grado de importancia de este, dependerá de la posición de los colectores respecto a los núcleos de población y la dirección predominante del viento, además, se considera como una afección temporal, durante la ejecución de las obras.

Por otro lado, la alternativa de la red que presenta la estación de bombeo también será susceptible de generar malestar social por la **emisión de ruidos y olores** durante el funcionamiento de la instalación.

La **ocupación de propiedades privadas** constituirá otro de los aspectos de importancia en lo referente a la afección a la población. La longitud de colectores que supongan ocupación de parcelas privadas será otro de los criterios a considerar.

El último criterio social lo constituirá la **afección a las instalaciones existentes**, la localización de los colectores junto a las vías más importantes de San Benito supondrá una alteración a la circulación de los habitantes de la ciudad, así como de los trayectos a través de estas carreteras.

Respecto a los criterios ambientales, se valorará en primer lugar la **afección a la flora**, considerando la concentración de vegetación actual en los cauces de la zona. La **afección a la fauna** tendrá una relación directa con el deterioro de la vegetación.

Cada una de las alternativas recibirá una puntuación entre 1 y 3 para cada uno de los criterios expuesto anteriormente, de esta forma se obtendrá la valoración socioambiental de cada uno de los trazados.

**12.5.2 Resultados de la valoración socioambiental**

Tabla 8. Resultados de la valoración socioambiental de las dos alternativas. Fuente: Elaboración propia

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2
	Puntuación x Coef.	Puntuación x Coef.
Generación temporal de polvo y ruido	1	1
Ruidos y olores	1	1,5
Ocupación parcelas privadas	1	2
Afección a instalaciones existentes	1	2
Afección a la flora	4	2
Afección a la fauna	3	1,5
Valoración conjunta	11	10

**12.6 Resultados de la valoración de las alternativas para la red de saneamiento**

Considerando la totalidad de las valoraciones, se observa que la segunda obtiene una puntuación más elevada, definiéndose como la mejora alternativa para la red de aguas residuales de la ciudad de San Benito. En los siguientes apartados se establecen las características y detalles a modificar para el diseño final de la red.

Tabla 9. Resultados de la valoración conjunta de las dos alternativas. Fuente: Elaboración propia

Tipo de criterio	Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2
		Puntuación x Coef.	Puntuación x Coef.
Técnica	Estación de bombeo	2	6
	Diámetro máximo	0,5	1
	Longitud total de la red	3	2
	Profundidad máxima PVS	1	2
	Tensión tractiva baja	3	2
	Velocidad máxima	3	3
Económica		10,30	12,00
Social	Generación temporal de polvo y ruido	1	1
	Ruidos y olores	1	1,5
	Ocupación parcelas privadas	1	2
	Afección a instalaciones existentes	1	2
Ambiental	Afección a la flora	4	2
	Afección a la fauna	3	1,5
Valoración conjunta		33,8	38,0

### 13 Definición de la solución adoptada

En el presente apartado se incluyen las modificaciones realizadas para el cumplimiento de los criterios de diseño, la definición de las secciones tipo y las comprobaciones del funcionamiento de la red ante el deterioro de los elementos que la conforman.

#### 13.1 Detalles del trazado de la red de saneamiento

El nivel de descripción desarrollado en el planteamiento de las alternativas no incluye el cumplimiento del criterio de diseño establecido en las “Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales” del INAA, que exige un máximo giro de 90° entre los colectores de entrada y salida de un pozo de visita.

Los cambios a realizar en la red incluyen un total de cuatro nuevos tramos de colector que configuran cuatro cambios en los deferentes giros de tuberías. De esta forma la red de aguas residuales queda conformada por 270 tramos de tubería. Frente al incremento del número de tramos, y, por tanto, de pozos de visita, la longitud total se reduce en 20 metros, hasta un total de 21.093 metros.

La primera de las cuatro modificaciones en plante para configurar los giros compuestos se sitúa en el cambio de dirección que experimenta el colector norte de entrada a la depuradora, después de la confluencia de los dos primeros trazados principales.

Los tres cambios restantes realizados en la planta de la red se localizan en ramales secundarias. Aguas arriba del comentado anteriormente, junto al primer colector principal, la red secundaria que recoge las aguas residuales del norte de San Benito Agrícola también requiere un giro compuesto antes de incorporar se caudal a la red principal.

La siguiente figura muestra los dos primeros giros compuestos de la red de saneamiento de San Benito:



Figura 14. Modificación en planta de los giros de la red se aguas residuales (1). Fuente: Elaboración propia

Los dos giros restantes se encuentran en la red secundaria que capta las aguas residuales de los barrios El Papatote y Colonia Agrícola, y de la misma forma se requiere la colocación de un pozo de visita adicional en cada uno.



Figura 15. Modificación en planta de los giros de la red se aguas residuales (2). Fuente: Elaboración propia

### 13.2 Secciones tipo

Para la definición de las secciones transversales se establecen unas series de criterios o consideraciones a seguir. En primer lugar, la tipología y disposición de materiales del suelo de San Benito, mostrada en el Anexo 3. Estudio geotécnico, da profundidades no mayores a 2,5 metros en las que aparece un estrato rocoso sedimentario bajo la superficie limosa, se establece una excavación en talud de 45° para el estrato limoso y vertical en la roca.

Por otro lado, la anchura del fondo de la zanja se define con criterios relacionados con la profundidad total de excavación y el diámetro de la tubería a colocar.

El último criterio lo constituye la disposición de los materiales de relleno de la zanja se utilizarán. En primer lugar, se establece una cama de apoyo con un espesor mínimo bajo la tubería de 15 centímetro, este material se extiende por los laterales de colector hasta cubrir un ángulo de 90°, esto es, el espesor total en los laterales se incrementará proporcionalmente (15%) al diámetro de la tubería. Sobre este material que conforma la cama de apoyo se coloca un relleno seleccionado hasta cubrir en 15 cm la clave de la tubería. El resto del relleno se completa con material procedente de la excavación.

Las siguientes figuras muestran la sección transversal tipo en función de la profundidad del estrato rocoso. La excavación en zanjas en las que los taludes alcanzan anchuras elevadas y requieran entibación, adoptará una sección transversal similar a la de la Figura 16.

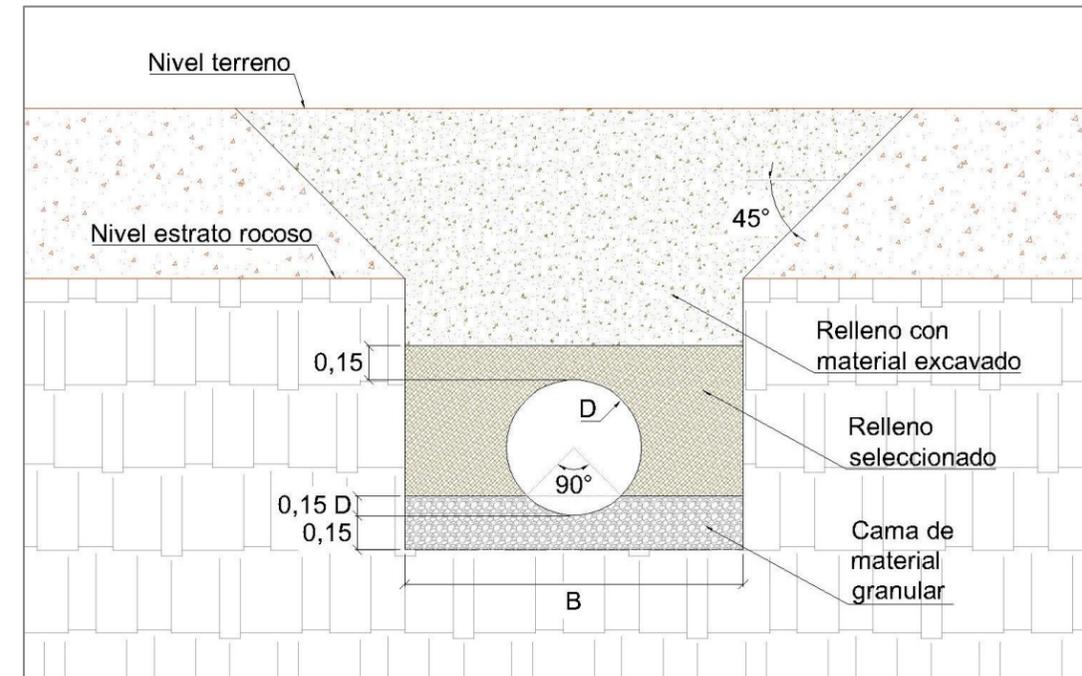


Figura 16. Sección transversal tipo en zona con estrato rocoso. Fuente: Elaboración propia

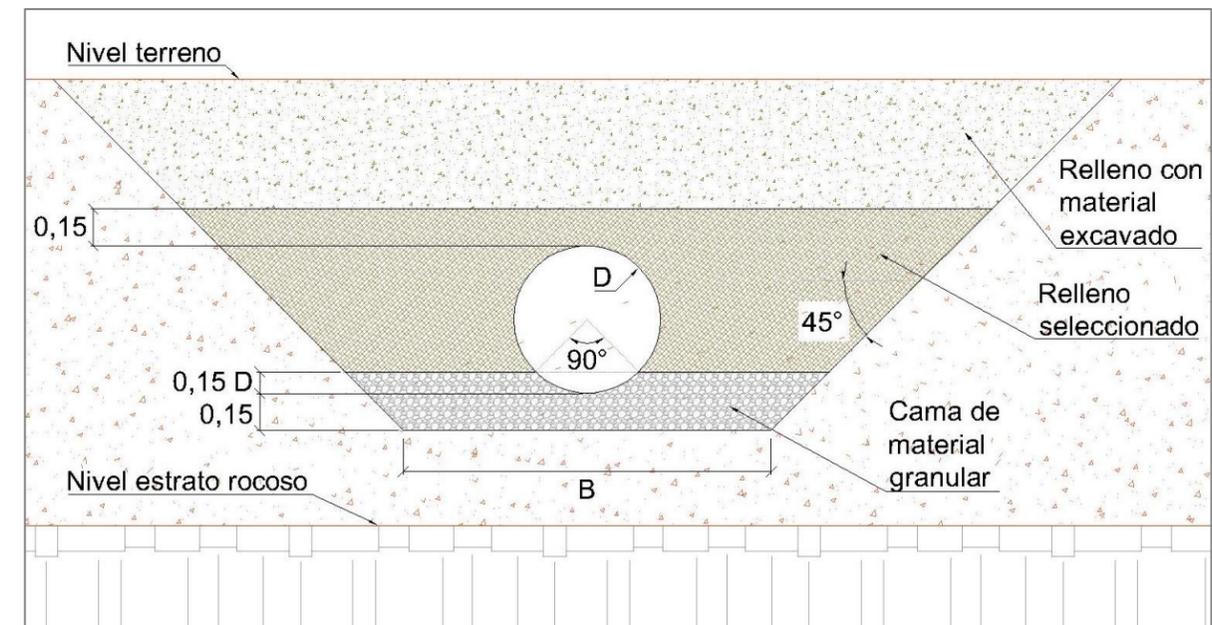


Figura 17. Sección transversal tipo en zona sin aparición del estrato rocoso. Fuente: Elaboración propia

### 13.3 Comprobación

A continuación, se muestran el resumen de los elementos más importantes que componen la red y las comprobaciones de los cálculos de la red de saneamiento, debido a que las modificaciones adoptadas para la plata de la red pueden suponer cambios en las características de la red, como variaciones en las pendientes de algunos tramos, en las cotas de fondo de los pozos de visita próximos las modificaciones realizadas o, incluso en los diámetros de algunos tramos.

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos respecto a la longitud total de cada diámetro y la profundidad de los pozos de visita.

Tabla 10. Longitud necesaria y número de tramos para cada uno de los diámetros de la red primaria y secundaria de la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia

Diámetro (m)	Longitud (m)	nº tramos
0,150	3.214	51
0,200	2.068	30
0,250	2.244	29
0,300	453	5
0,375	7.505	85
0,450	1.556	20
0,600	4.053	50
<b>Total</b>	<b>21.093</b>	<b>270</b>

Tabla 11. Profundidades de los PVS de la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia

Profundidad PVS	nº PVS
< 1.5 m	139
1,5 a 2,5 m	68
2,5 a 3,5 m	51
3,5 a 4,5 m	12
4,5 a 5,5 m	1
<b>Total</b>	<b>271</b>

Otro de los elementos de importancia en la red son las estructuras de caída, que de acuerdo con la normativa serán necesarias en los pozos de visita en los que la diferencia de cota entre la entrada y la salida de los colectores sea mayor de 60 centímetros.

En la red de San Benito existen ocho estructuras de caída, siete de ellas se localizan en puntos de conexión de dos tuberías, mientras que la restante (P01) supone la confluencia de tres colectores.

Tabla 12. Resumen de las características de las estructuras de caída de la red de aguas residuales. Fuente: Elaboración propia

	Tramos entrada	Cota final	Caída (m)	Diámetro (m)
P01	P01_P01a	60,48	0,80	0,600
	P01_P01h	62,00	2,32	0,375
	<b>P01_S01.01</b>	<b>59,68</b>	-	0,375
P02	<b>P02_P02a</b>	<b>61,35</b>	-	0,600
	P02_S02.00	63,00	1,65	0,150
P03	<b>P03_P03a</b>	<b>62,17</b>	-	0,600
	P03_S03.01	63,98	1,81	0,150
P21	P21_P21a	69,95	0,91	0,300
	<b>P21_S21.01</b>	<b>69,04</b>	-	0,200
S117.02	S17.02_S17.02a	80,49	1,93	0,250
	<b>S17.02_S17.07</b>	<b>78,56</b>	-	0,250
S26.02	S26.02_S26.03	67,52	1,30	0,200
	<b>S26.02_S26.02a</b>	<b>66,22</b>	-	0,250
S28.01	<b>S28.01_S28.01a</b>	<b>68,69</b>	-	0,200
	S28.01_S28.05	70,53	1,84	0,250
S28.06	<b>S28.06_S28.06a</b>	<b>70,78</b>	-	0,150
	S28.06_S28.06b	72,00	1,22	0,250

Con la finalidad verificar los resultados obtenidas de la hoja de cálculo, y conforme al procedimiento seguido en el diseño de las alternativas, se genera un modelo hidráulico en el que se incluyen cada uno de los tramos de la red primaria y secundaria que permita verificar si los calados y velocidades con los que circulan las aguas residuales son correctos.

La siguiente tabla muestra la comparación de los resultados de los calados y velocidades de algunos tramos, en el *Apéndice II. Resultados del diseño de la red de saneamiento*, se incluyen todos los resultados.

Tabla 13. Comparación de los resultados de calado y velocidad de la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia

Nombre del tramo	Diámetro (m)	Calado (m)		Velocidad (m/s)	
		Modelo	Hoja cálculo	Modelo	Hoja cálculo
P00_P00a	0,600	0,29	0,277	1,06	1,062
P02_P02a	0,600	0,20	0,203	0,92	0,918
P13_P14	0,450	0,17	0,169	1,00	1,001
P21b_P21c	0,250	0,07	0,068	0,73	0,730
P24af_P24ag	0,375	0,13	0,131	0,84	0,839
P27_P27a	0,375	0,08	0,085	0,70	0,702
S01.01d_S01.01e	0,200	0,04	0,038	0,61	0,610
S06.03_S06.04	0,150	0,02	0,018	0,54	0,539
S17.03b_S17.04	0,250	0,07	0,069	0,68	0,678
S26.05b_S26.05c	0,150	0,03	0,032	0,59	0,594
S28.03a_S28.04	0,150	0,02	0,021	0,81	0,807

### 13.4 Deterioro de los colectores

Después de comprobar el buen funcionamiento de la red de saneamiento con las modificaciones realizadas, se evalúa si el deterioro del material que componen las tuberías supone cambios significativos en este funcionamiento.

Para evaluar el deterioro del material, se modifica el valor número de Manning de los colectores. El material escogido para las tuberías (PVC) puede presentar variaciones del coeficiente de Manning entre 0,009 y 0,011 en función del estado del material como principal efecto.

Para asegurar que no aparecen problemas de funcionamiento de la red se debe considerar, por un lado, que la capacidad máxima de las tuberías no se supera, y, por otro, que se garantiza la fuerza de arrastre establecida en la normativa.

La siguiente tabla muestra el incremento del tirante de máximo de los colectores, de acuerdo con las “Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales” del INAA, debe ser menor de 0.50 para diámetros menores a 375 mm y de 0,75 en colectores de diámetros mayores.

Tabla 14. Variación de la relación calado/diámetro con el cambio del valor del número de Manning. Fuente: Elaboración propia

Nº Manning	0,011	0,009
k <sub>máx.</sub> (D > 375 mm)	0,55	0,49
k <sub>máx.</sub> (D ≤ 375 mm)	0,44	0,39

De acuerdo con la tabla, el incremento del tirante no supone el incumplimiento de la normativa, y, por tanto, la capacidad de los colectores es suficiente.

Por otro lado, los cálculos de la tensión de arrastre con el nuevo coeficiente de Manning dan un valor mínimo de 1,12 Pa, superior al mínimo definido por la normativa. En el *Apéndice II. Resultados del diseño de la red de saneamiento*, se incluyen los resultados de estos cálculos.

## 14 Presupuesto

Grupo 1	Excavación de zanjas	187.171,73
Grupo 2	Excavación adicional en cantera	459.061,10
Grupo 3	Relleno de zanjas	788.299,65
Grupo 4	Suministro e instalación de tubería	1.061.499,65
Grupo 5	Pozos de visita	263.379,30
Grupo 6	Estructuras de caída	4.870,48
Grupo 7	Rotura y reposición de superficie	538.390,52
<b>Presupuesto total</b>		<b>3.302.672,43</b>

TRES MILLONES TRESCIENTOS DOS MIL SEISCIENTOS SETENTA Y DOS EUROS  
con CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS

## 15 Bibliografía

BANCO CENTRAL DE NICARAGUA (2017). *Cartografía Digital y Censo de Edificaciones*. Recuperado de: <https://www.bcn.gob.ni/publicaciones/cartografia/documentos/Managua.pdf>

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES (INETER), LA AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA), LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA (UNI) Y LA DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (2014). *Delimitación de Cuencas Hidrográficas en Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter*. Recuperado de: [https://cira.unan.edu.ni/wp-content/uploads/2016/07/Album-Cuencas-Nic-Revisado\\_ANA.pdf](https://cira.unan.edu.ni/wp-content/uploads/2016/07/Album-Cuencas-Nic-Revisado_ANA.pdf)

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS (2000). *Normas Técnicas para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización del Agua*. NTON 09 003-99. Nicaragua: La Gaceta No. 105

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS. *Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES (2006). *Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para regular los Sistemas de Tratamientos de Aguas Residuales y su reuso*. NTON 05 027-05. Nicaragua: La Gaceta No. 90

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (2017). *Plan Maestro Geotérmico de Energía, Volumen IX Evaluación del Área de Tipitapa: Vol. IX*. Recuperado de: <http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2017/03/vol-IX-Tipitapa.pdf>

ROMERO, J. J. *et. al.* (2001). *Informe de Estado del Ambiente de Nicaragua* (1a ed.). Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales.

INSTITUTO NACIONAL DE INFORMACIÓN DE DESARROLLO (2008). *Tipitapa en Cifras*. Recuperado de: <https://www.inide.gob.ni/censos2005/cifrasmun/Managua/Tipitapa.pdf>

SÁNCHEZ ESPINOZA, G.M. y LÓPEZ MORAGA, F.E. (2017). *Esquema de Desarrollo Urbano de la Comunidad de San Benito, Municipio de Tipitapa*. Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de: <http://ribuni.uni.edu.ni/1584/1/91293.pdf>

MEJIA CANO, B. (2015). *Diagnóstico Infraestructura Escolar e Institucional de Tipitapa*. Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de: <http://ribuni.uni.edu.ni/415/1/Tipitapa.pdf>

UGARTE SOLÍS, A. (2008). *Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres*. SECRETARÍA EJECUTIVA, REPÚBLICA DE NICARAGUA.  
[https://www.preventionweb.net/files/15491\\_planacionalresp.pdf](https://www.preventionweb.net/files/15491_planacionalresp.pdf)

EMPRESA NICARAGUENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS SANITARIOS (2008). *Evaluación Ambiental Rápida de la Ciudad de Tipitapa, Anexo al documento de evaluación Ambiental*. Recuperado de:  
<http://documents.worldbank.org/curated/en/996891468297894819/pdf/E19900v10EvaluacionAmbientaITipitapa.pdf>

BANCO INTERNACIONAL DE DESARROLLO (2016). *Informe Valoración Ambiental-Social final tramo I: la Zona Franca - Tipitapa*. Recuperado de:  
<http://documents.albankaldawli.org/curated/ar/597961483070545316/pdf/SFG2810-V3-EA-SPANISH-P160359-Box396343B-PUBLIC-Disclosed-12-28-2016.pdf>

EMPRESA NICARAGUENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS SANITARIOS (2018). *Términos de Referencia de los “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)”*. Vol. VI.

PYG ESTRUCTURAS AMBIENTALES (2019). *Informe del área de estudio y metodología cartográfica de la ciudad de San Benito – “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)”*. Vol. I.

PYG ESTRUCTURAS AMBIENTALES (2019). *Informe de población y viviendas e informe topográfico de la ciudad de San Benito – “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)”*. Vol. II.

PYG ESTRUCTURAS AMBIENTALES (2019). *Informe de diagnóstico de la ciudad de San Benito – “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)”*. Vol. III.

PYG ESTRUCTURAS AMBIENTALES (2020). *Informe de conceptual de alternativas de la ciudad de San Benito – “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)”*. Vol. IV.

YEPES, V. (10 de diciembre de 2018). *Apertura de zanja en la instalación de tuberías [Entrada en blog]*. Recuperado de: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/12/10/apertura-de-zanja-en-la-instalacion-de-tuberias/>

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). <https://www.ineter.gob.ni/>

Instituto Nicaragüense de Información de Desarrollo (INIDE). <https://www.inide.gob.ni/>

Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA). <http://www.inaa.gob.ni/>

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA). <https://www.mag.gob.ni/index.php/marena>

Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL). <https://www.enacal.com.ni/mapa/index.html>

Municipios de Nicaragua – Información sobre pueblos ciudades. <https://www.municipio.co.ni/municipio-tipitapa.html#administrator>