

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

**Alternativas de configuración de esquemas de saneamiento para la parroquia
Quingeo**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Civil

Autores:

Pedro Andrés Andrade Orellana

Anthony José Loayza Aguilar

Director:

Diego Benjamín Idrovo Murillo

ORCID:  0009-0002-8796-3952

Tutor:

María Verónica Rodas Ochoa

ORCID:  0000-0002-1837-409X

Cuenca, Ecuador

2024-10-29

Resumen

El trabajo de titulación se desarrolla como una continuación de un estudio previo realizado en la parroquia rural de Quingeo, ubicada en Cuenca, Azuay. Su objetivo es evaluar la viabilidad de diversos enfoques para el tratamiento de aguas residuales en esta área, centrándose en proponer alternativas para redes de alcantarillado, conocidas como redes externas, que recolectan aguas residuales de diferentes conjuntos de viviendas, denominados núcleos de saneamiento. Se plantean 5 alternativas, con dos escenarios extremos: uno altamente centralizado y otro descentralizado, seguidos de tres opciones intermedias basadas en la cantidad de núcleos de saneamiento. Según investigaciones previas, la parroquia cuenta con 42 núcleos y 3131 predios, proyectando una población de 12,533 habitantes para 40 años desde el 2023, con 41 sistemas de alcantarillado que pueden cubrir uno o varios núcleos, denominados grupos (Balarezo & Serrano, 2023). La opción más centralizada implica la consolidación de la mayoría de los grupos existentes, con el trazado de alcantarillados dirigidos hacia menos puntos de tratamiento. Posteriormente, este proceso se replica para un mayor número de grupos, referidos como aglomeraciones, hasta alcanzar la opción más descentralizada, donde cada grupo tiene su propio sistema de tratamiento. El trabajo incluye el trazado y diseño a nivel de prefactibilidad de las redes externas por gravedad, la determinación de alturas de bombeo en situaciones específicas, la definición de puntos de vertido y la estimación de costos de inversión. La selección de la alternativa más adecuada será objeto de futuros estudios basados en análisis de costos e índices.

Palabras clave del autor: núcleos de saneamiento, sistema híbrido de saneamiento, alcantarillado centralizado, alcantarillado descentralizado



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The degree project is developed as a continuation of a previous study conducted in the rural parish of Quingeo, located in Cuenca, Azuay. Its objective is to assess the feasibility of various approaches for wastewater treatment in this area, focusing on proposing alternatives for sewer networks, known as external networks, which collect wastewater from different housing groups, referred to as sanitation cores. Five alternatives are proposed, with two extreme scenarios: one highly centralized and the other decentralized, followed by three intermediate options based on the number of sanitation cores. According to previous research, the parish has 42 cores and 3,131 properties, projecting a population of 12,533 inhabitants for 40 years from 2023, with 41 sewer systems that can serve one or more cores, referred to as clusters (Balarezo & Serrano, 2023). The most centralized option involves the consolidation of most existing clusters, with sewer lines directed towards fewer treatment points. This process is subsequently replicated for a greater number of clusters, referred to as agglomerations, until reaching the most decentralized option, where each cluster has its own treatment system. The project includes the routing and preliminary design of gravity-based external networks, the determination of pumping heights in specific situations, the definition of discharge points, and the estimation of investment costs. The selection of the most suitable alternative will be the subject of future studies based on cost and index analyses.

Author Keywords: sanitation cores, hybrid sanitation system, centralized sewerage, decentralized sewerage



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	14
1.1. Antecedentes	14
1.2. Problemática y justificación	15
1.3. Pregunta de investigación	15
1.4. Objetivos	15
1.4.1. Objetivo general	15
1.4.2. Objetivos específicos.....	16
1.5. Alcance y limitaciones	16
1.6. Zona de estudio	17
1.7. Periodo de diseño	17
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	18
2.1. Aguas residuales y sistemas de alcantarillado	18
2.1.1. Sistemas de alcantarillado sanitario centralizado y descentralizado	19
2.2. Identificación y generación de núcleos de saneamiento	20
2.3. Diseño de la red de interceptores.....	25
2.3.1. Cálculos hidráulicos.....	27
2.3.2. Aguas residuales domésticas	28
2.3.3. Aguas residuales industriales	29
2.3.4. Aguas de infiltración	29
2.3.5. Aguas ilícitas	29
2.6. Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR) y líneas de impulsión.....	30
2.7. Necesidad de EBARs.....	30
3. CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	32
3.1. Materiales y métodos	32

3.2. Desarrollo de las alternativas de saneamiento	33
3.3. Trazado de una red de alcantarillado en AutoCAD Civil 3D	35
3.4. Diseño de los interceptores	36
3.5. Proceso de diseño de la red interior	38
3.5.1. Revisión de la red existente	38
3.5.2. Trazado	38
3.5.3. Diseño	39
3.6. Proceso de diseño de las redes exteriores o interceptores	39
3.6.1. Trazado	39
3.6.2. Diseño	40
3.7. Cálculo del costo de inversión	40
3.7.1. Costo de las redes internas e interceptores	40
3.7.2. Estimación del costo de inversión de las líneas de impulsión	44
3.7.3. Estimación del costo de inversión de EBARS	46
3.7.4. Estimación del costo de inversión de PTARs	47
3.8. Cálculo del costo de operación de mantenimiento	48
3.8.1. Costo de operación de mantenimiento de colectores	48
3.8.1. Costo de operación de mantenimiento de EBARS	49
3.8.1. Costo de operación de mantenimiento de PTARs	49
4. CAPÍTULO 4: Resultados y Discusiones	50
4.2. Alternativa 1	50
4.3. Alternativa 1.5	53
4.4. Alternativa 2	58
4.5. Alternativa 2.5	62
4.6. Alternativa 3	65

4.7. Costos de inversión.....	70
4.7.1. Costos de inversión de colectores	70
4.7.2. Costos de inversión de EBARs.....	72
4.7.3. Costos de inversión de PTARs	73
4.7.4. Costos de inversión totales.....	73
4.8. Costos de operación y mantenimiento	74
4.8.1 Costos de operación y mantenimiento de colectores.....	74
4.8.2 Costos de operación y mantenimiento de EBARs	75
4.8.3 Costos de operación y mantenimiento de PTARs.....	75
4.8.3 Costos de operación y mantenimiento totales al final del periodo de diseño	76
4.9. Costos totales	76
5. CAPÍTULO 5: Conclusiones	78
Referencias	79

Índice de figuras

Figura 1. Elementos de un sistema de alcantarillado.....	19
Figura 2. Sistema de alcantarillado centralizado y sistema de alcantarillado descentralizado.	20
Figura 3. Mapa de Quingeo con sus domiciliarias.	22
Figura 4. Núcleos de 25 m de radio.....	23
Figura 5. Núcleos de 50m de radio.....	23
Figura 6. Núcleos de 100 m de radio.....	24
Figura 7. Red de alcantarillado perpendicular.	25
Figura 8. Red de alcantarillado en abanico.....	26
Figura 9. Red de alcantarillado tipo distrital o radial.	27
Figura 10. Aguas residuales provenientes de actividades humanas.....	28
Figura 11. Alternativas entre un alcantarillado a gravedad y una línea de impulsión para conectar una comunidad fuera de la cuenca de drenaje.....	31
Figura 12. Trazado de la red exterior para la aglomeración a_9 de la alternativa 2.....	39
Figura 13. Geometría de la zanja típica para la estimación del costo por metro lineal.....	45
Figura 14. Resultados de las aglomeraciones y núcleos autónomos para la Alternativa 1. .	51
Figura 15. Resultados de las aglomeraciones y núcleos autónomos para la Alternativa 1.5.	55
Figura 16. Resultados de las aglomeraciones y núcleos autónomos para la Alternativa 2. .	59
Figura 17. Resultados de las aglomeraciones y núcleos autónomos para la Alternativa 2.5.	62
Figura 18. Resultados de las aglomeraciones y núcleos autónomos para la Alternativa 3. .	66
Figura 19. Costos de inversión de colectores a gravedad y bombeo para redes interiores y exteriores y línea de impulsión.	71
Figura 20. Costos de inversión de colectores a gravedad y bombeo.....	71
Figura 21. Costos de inversión de EBARs para cada alternativa.....	73

Figura 22. Costos de inversión de EBARs para cada alternativa.....	73
Figura 23. Costos de inversión totales para cada alternativa.....	74
Figura 24. Costos de operación y mantenimiento acumulados para los colectores hasta el final del periodo de diseño.	74
Figura 25. Costos de operación y mantenimiento acumulados para las EBARs hasta el final del periodo de diseño..	75
Figura 26. Costos de operación y mantenimiento acumulados para las PTARs hasta el final del periodo de diseño..	75
Figura 27. Costos de operación y mantenimiento acumulados totales hasta el final del periodo de diseño.	76
Figura 28. Costos totales de inversión con operación y mantenimiento acumulados hasta el final del periodo de diseño.	77

Índice de tablas

Tabla 1. Número de polígonos finales.	24
Tabla 2. Valores iniciales para el diseño de la red de alcantarillado.	36
Tabla 3. Ingreso de datos iniciales para el diseño de la red exterior de la aglomeración a_2 alternativa 2.5.	37
Tabla 4. Ingreso de datos del identificador de los pozos de revisión, profundidad de fondo de zanja y cota de rasante para el diseño de la red exterior de la aglomeración a_2, alternativa 2.5.	37
Tabla 5. Ingreso de los diámetros de tubería para el diseño de la red exterior de la aglomeración a_2, alternativa 2.5.	38
Tabla 6. Rubros para la estimación del costo de inversión de redes internas y externas	41
Tabla 7. Rubros para la estimación del costo por metro lineal de tubería de alcantarillado.	44
Tabla 8. Parámetros de la ecuación 2 para estimar el costo de la EBAR.	47
Tabla 9. Parámetros de la ecuación 4 para estimar el costo de la EBAR.	48
Tabla 10. Composición de las aglomeraciones y núcleos de saneamiento autónomos para Alternativa 1.	51
Tabla 11. Longitud de conducciones a gravedad para Alternativa 1.	52
Tabla 12. Longitudes totales de conducciones a gravedad y bombeo para Alternativa 1.	52
Tabla 13. Longitud conducciones por gravedad, bombeo y zonas de trazado para red interior para Alternativa 1.	53
Tabla 14. Longitud conducciones por gravedad, bombeo y zonas de trazado para red exterior para Alternativa 1.	53
Tabla 15. Resultados de parámetros para EBARS de Alternativa 1.	53
Tabla 16. Composición de las aglomeraciones y núcleos de saneamiento autónomos para Alternativa 1.5.	55
Tabla 17. Longitud de conducciones a gravedad para Alternativa 1.5.	56
Tabla 18. Longitudes totales de conducciones a gravedad y bombeo para Alternativa 1.5.	56

Tabla 19. Longitud conducciones por gravedad, bombeo y zonas de trazado para red interior para Alternativa 1.5.....	57
Tabla 20. Longitud conducciones por gravedad, bombeo y zonas de trazado para red exterior para Alternativa 1.5.....	57
Tabla 21. Resultados de parámetros para EBARs de Alternativa 1.5.....	57
Tabla 22. Composición de las aglomeraciones y núcleos de saneamiento autónomos para Alternativa 2.....	59
Tabla 23. Longitud de conducciones a gravedad para Alternativa 2.....	60
Tabla 24. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red interior de la Alternativa 2.....	61
Tabla 25. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red exterior de la Alternativa 2.....	61
Tabla 26. Composición de las aglomeraciones y núcleos de saneamiento autónomos para Alternativa 2.5.....	63
Tabla 27. Longitud de conducciones a gravedad para Alternativa 2.5.....	63
Tabla 28. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red interior de la Alternativa 2.5.....	64
Tabla 29. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red externa de la Alternativa 2.5.....	65
Tabla 30. Composición de las aglomeraciones y núcleos de saneamiento autónomos para Alternativa 3.....	66
Tabla 31. Longitud de conducciones a gravedad para Alternativa 3.....	68
Tabla 32. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red interior de la Alternativa 3.....	68
Tabla 33. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red externa de la Alternativa 3.....	69
Tabla 34. Valor para los costos de inversión de colectores a gravedad y bombeo para redes interiores y exteriores y línea de impulsión.....	70
Tabla 35. Cálculo del costo de inversión para las EBARs de la Alternativa 1.....	72

Tabla 36. Cálculo del costo de inversión para las EBARs de la Alternativa 1.5.	72
Tabla 37. Costos de inversión para las PTARs de cada alternativa.....	73
Tabla 38. Costos totales de inversión: colectores + EBARs + PTARs.	73
Tabla 39. Costos de operación y mantenimiento para los colectores.	74
Tabla 40. Costos de operación y mantenimiento para las EBARs.	75
Tabla 41. Costos de operación y mantenimiento para las PTARs.	75
Tabla 42. Costos de operación y mantenimiento totales hasta el final del periodo de diseño.	76
Tabla 43. Costos totales de inversión con operación y mantenimiento hasta el final del periodo de diseño.	76

Dedicatoria

A mis padres, Vinicio y Janeth, por enseñarme el valor del trabajo y la responsabilidad, por su incansable esfuerzo y por brindarme la oportunidad de estudiar y desarrollarme tanto como ser humano y ahora como profesional. Les dedico todo mi cariño eterno, pues nunca han dejado de creer en mí.

A mis abuelos José, Blanca, Andrés y Julia, por inculcarme el valor de la humildad, y a mis hermanos Paola y Juan, quienes son mi fuente constante de inspiración. También a mi cuñado Israel, un miembro más de nuestra familia, por todos sus consejos y ser un gran referente profesional, y a mi sobrino Samuel, con todo mi afecto.

Pedro Andrés Andrade Orellana

Dedico mi trabajo de titulación a mis padres, hermanos y abuelos por su apoyo incondicional y por acompañarme en cada paso de mi vida. A mis padres, por su amor, paciencia y por ser mi mayor fuente de inspiración y fortaleza. A mis hermanos, por su constante ánimo y por compartir conmigo momentos de alegría y aprendizaje. A mis abuelos, por su sabiduría y cariño inagotables, que han sido una guía en mi camino. También quiero agradecer a mis amigos y profesores, quienes con su consejo y estímulo han contribuido a mi crecimiento personal y profesional. Este logro es tanto mío como de ustedes.

Anthony José Loayza Aguilar

Agradecimientos

Primero que nada, agradezco a Dios por darme la oportunidad de estudiar y de esforzarme día tras día para alcanzar mis metas. A mi familia y amigos, gracias por su apoyo incondicional, que no tiene precio. A mis directores de tesis por su confianza, y a mi persona por nunca desistir y creer siempre en el esfuerzo que he puesto para llegar hasta aquí.

A todos los docentes con los que he compartido dentro y fuera de las aulas, de los cuales me llevo gratas experiencias que me servirán tanto en mi vida profesional como en mi desarrollo como ser humano.

Por último, doy gracias a la vida por la oportunidad de obtener mi título profesional en una de las mejores universidades del país, y por permitirme trazar el inicio de un camino que aún falta por recorrer.

Pedro Andrés Andrade Orellana

Agradezco a la Ingeniera Verónica Rodas por brindarnos la oportunidad de participar en este estudio, así como por su valiosa guía y consejos. También quiero expresar mi gratitud al Ingeniero Diego Idrovo por su constante apoyo y sus acertadas recomendaciones. A ambos, por su dedicación y por compartir su conocimiento y experiencia, que han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

Anthony José Loayza Aguilar

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), un servicio de saneamiento mejorado implica no compartir la instalación con otros hogares y asegurar que las excretas se traten y eliminen in situ, se almacenen temporalmente y luego sean vaciadas y transportadas para tratamiento fuera del lugar de uso, o sean transportadas por una alcantarilla con las aguas residuales y luego tratadas fuera del lugar de uso (OMS, 2019). Aproximadamente dos tercios de la población mundial tienen acceso a servicios de saneamiento mejorados (UNICEF & OMS, 2015).

En los países industrializados, el tratamiento estándar de las aguas residuales se realiza mediante un sistema centralizado, donde las aguas residuales se recolectan a través de un sistema de alcantarillado y se tratan en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) (Jung et al., 2018). Las conexiones de alcantarillado a grandes sistemas centralizados de tratamiento son más comunes en los países de altos ingresos, en las áreas urbanas de China y en los países de ingresos medios de América Latina (Kjellén et al., 2012).

Sin embargo, en las zonas rurales, la situación es muy diferente debido a la topografía compleja, la dispersión de la población y los fondos insuficientes (Huang et al., 2021). Adoptar un sistema de saneamiento centralizado en estas áreas resulta muy complejo y costoso.

Este es el caso de la parroquia de Quingeo, que pertenece al cantón Cuenca, provincia del Azuay, en Ecuador. En la misma parroquia ya se han desarrollado diversas investigaciones en el ámbito del alcantarillado y saneamiento, enfocándose en el estudio de núcleos de saneamiento y la identificación de propuestas de diseño tanto para redes de tuberías para alcantarillado como para Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) (Balarezo & Serrano, 2023; Ortiz & Patiño, 2023). La principal problemática en parroquias como Quingeo es la topografía irregular y las viviendas altamente dispersas. El distanciamiento muy grande a la PTAR, las viviendas sin conexiones a la red principal y los costos elevados de excavación debido a la topografía generan desafíos significativos. La falta de saneamiento para viviendas extremadamente dispersas conlleva a la proliferación de microorganismos y condiciones de supervivencia para agentes patógenos en los cursos de agua, resultando en una fuente de enfermedades para niños y adultos (Balarezo & Serrano, 2023).

Ante la necesidad de saneamiento en la parroquia y una creciente urbanización en el sector rural, se requiere de un sistema de alcantarillado que pueda soportar tanto el diseño hidráulico como los nuevos requerimientos del siglo: sostenibilidad y economía. Es por ello que la

presente investigación tiene como objetivo definir las pautas necesarias para proponer diferentes alternativas de saneamiento que garanticen todas las condiciones respectivas y atiendan gran parte del bienestar humano y económico, para determinar la óptima.

1.2. Problemática y justificación

En Quingeo, como en muchas zonas rurales, la topografía irregular, la dispersión de residentes y los fondos limitados crean desafíos únicos. Implementar un sistema centralizado para tratar aguas residuales no funciona bien aquí porque resultaría demasiado costoso y complejo de construir. En cambio, se sugiere que un enfoque descentralizado es más adecuado y económico (Huang et al., 2021).

Sin embargo, las diferencias en la geografía, el ambiente y la cultura de las áreas rurales pueden significar que haya varias alternativas económicas óptimas para tratar las aguas residuales (Huang et al., 2021). En estas áreas, la falta de sistemas de alcantarillado es un problema. La dispersión de la población y la topografía complican y encarecen la instalación. La contaminación de los cursos de agua naturales también es un problema, afectando el medio ambiente y la salud de la población que depende de estas fuentes de agua.

En el caso específico de Quingeo, un enfoque mixto para el sistema de saneamiento (entre sistemas centralizado y descentralizado) ofrece beneficios significativos en términos de costos y reducción del impacto ambiental. Estudios previos en Quingeo han definido los núcleos de saneamiento con un diseño de red de alcantarillado (Balarezo & Serrano, 2023). Al considerar un sistema mixto, es esencial variar el número de núcleos compartiendo una PTAR y conectar estos núcleos mediante otra red, la red externa de alcantarillado o interceptores. Los resultados de estos diseños permitirán realizar un análisis económico para seleccionar la configuración óptima para Quingeo, basándose en experiencias similares (Concello de Carral, 2023).

1.3. Pregunta de investigación

¿Cuál es la opción económicamente óptima en un sistema de saneamiento: centralizar el tratamiento en pocos puntos o utilizar varios sistemas de tratamiento descentralizados?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Proponer una metodología para la toma de decisiones en saneamiento tomando en cuenta la ordenación del territorio, el urbanismo, y el control ambiental.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Definir cinco alternativas desde la más centralizada a la más descentralizada variando el número de núcleos de saneamiento
2. Realizar el trazado de la red externa de alcantarillado sanitario entre los núcleos de saneamiento
3. Diseñar a nivel de prefactibilidad de la red externa de alcantarillado sanitario.
4. Obtener los costos de inversión y los de operación y mantenimiento de las cinco alternativas.
5. Seleccionar la mejor alternativa considerando los costos de inversión, operación y mantenimiento.

1.5. Alcance y limitaciones

El propósito del presente trabajo de titulación es realizar un estudio en fase de prefactibilidad para la implementación de un sistema de saneamiento en Quingeo. Este estudio aborda específicamente la formulación de alternativas mixtas de saneamiento, que van desde un sistema centralizado hasta varios sistemas cada vez más descentralizados, y el diseño de la red de alcantarillado externo. Sin embargo, se evidencia una carencia de investigaciones en la literatura consultada sobre el patrón óptimo y las características generales del saneamiento en zonas rurales. Aunque existen algunos estudios que tratan herramientas de toma de decisiones para la planificación a pequeña escala, la mayoría se centra en áreas urbanas y periurbanas. La falta de una herramienta científica de apoyo a las decisiones complica la planificación de proyectos de sistema de saneamiento rurales, generando dificultades para lograr los resultados esperados y asignar de manera efectiva los fondos limitados (Huang et al., 2021).

Adicionalmente, es crucial señalar que el proyecto de saneamiento en Quingeo no abarca al 100% de la población, excluyendo a los asentamientos que no forman parte de un núcleo de saneamiento. Estas limitaciones destacan la necesidad de abordar la falta de investigaciones en el saneamiento en zonas rurales y reconocen las restricciones específicas en la implementación del estudio de prefactibilidad para sistemas de saneamiento en Quingeo. De este modo, se proporciona una visión clara del alcance y las áreas de mejora en este contexto particular.

1.6. Zona de estudio

La zona de estudio se ubica en la parroquia de Quingeo, la cual forma parte del cantón Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador. Quingeo se sitúa al suroeste de la ciudad de Cuenca, a una distancia de 27.2 km por la vía a San Bartolomé, con un tiempo de aproximadamente 45 minutos desde el Centro Histórico de Cuenca (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural De Quingeo, 2020).

En cuanto a la geografía de la parroquia, esta abarca un área de 116.49 km² y, según los datos del Censo 2010, tiene una población de 7,450 habitantes distribuidos en 28 comunidades. La distribución de la población muestra que la cabecera parroquial alberga a 190 habitantes, equivalente al 2.55 % de la población total, mientras que el 97.45 % reside en el área periférica, de manera dispersa, con una población de 7,260 habitantes (Cruz & Hernández, 2021).

1.7. Periodo de diseño

Se adoptará un periodo de diseño para todas las redes externas, bombas y PTARs de 25 años.

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Aguas residuales y sistemas de alcantarillado

Las aguas residuales históricamente se han definido como “aguas que han sido utilizadas y contienen materiales de desecho disueltos o suspendidos” (US EPA, s.f.a) o “aguas cuya calidad ha sido afectada negativamente por actividades humanas” (Culp y Culp, 1971, p.614). El término aguas residuales sanitarias también se usa para referirse a aguas negras, lo cual implica que se refiere únicamente al agua proveniente de fuentes domésticas, industriales o institucionales que es transportada por el sistema de alcantarillado, sin tomar en cuenta las aguas pluviales (UNESCO, 2017).

Para prevenir la contaminación ambiental y proteger la salud pública, es indispensable implementar sistemas de alcantarillado eficientes que recojan y traten de manera segura los desechos sólidos y líquidos en instalaciones con altos estándares de salubridad. Una adecuada disposición de los desechos humanos es esencial para la protección y desarrollo de la salud pública y es un indicador del progreso de una civilización. La implementación de sistemas eficientes, asegura que los desechos no entren en contacto con personas, animales o insectos que puedan propagar enfermedades relacionadas con la falta de higiene, evitando así la contaminación de las fuentes de agua, los malos olores y otros aspectos desagradables.

Los tipos, tamaños y longitudes de las diferentes tuberías que conforman un sistema de alcantarillado dependen de las características de la población y la ubicación de la estación depuradora o planta de tratamiento de aguas residuales. En perspectiva general, los elementos que se encuentran son los siguientes: Las *acometidas* domiciliarias o domiciliarias conectan los desagües de las viviendas y edificios a las *alcantarillas secundarias*, que se encuentran en las calles o zonas de servidumbre y transportan el agua residual a las *alcantarillas principales*. Estas, a su vez, llevan el agua a los *colectores*, que son de gran tamaño y conducen el agua residual a la estación depuradora o a los *interceptores*. Los interceptores son alcantarillas que recogen el agua de varios colectores o alcantarillas principales y la llevan a la estación depuradora, tal como se observa en la figura 1.

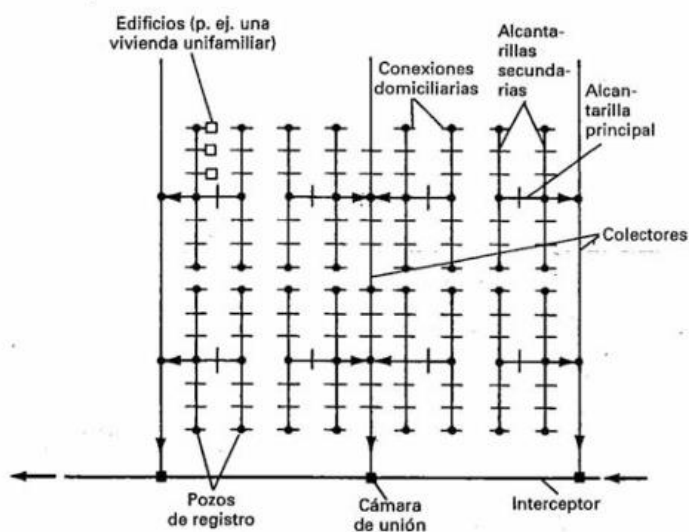


Figura 1. Elementos de un sistema de alcantarillado.

Fuente: (METCALF Y EDDY, *ingeniería de aguas residuales redes de alcantarillado y bombeo*, pág 129/480)

2.1.1. Sistemas de alcantarillado sanitario centralizado y descentralizado

Existen principalmente dos tipos de sistemas de alcantarillado sanitario para la recolección y tratamiento de aguas residuales: los sistemas ex situ y los in situ.

Los sistemas ex situ representan una opción centralizada para el tratamiento de aguas residuales. Utilizan interceptores que conectan con el sistema interno de la localidad, para transportar las aguas residuales a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) o directamente a un punto de eliminación, como ríos con capacidad natural de autodepuración. Estos sistemas se caracterizan por tener plantas de tratamiento de mayor capacidad y redes de interceptores más largas. Este enfoque ofrece la ventaja de una mayor capacidad de tratamiento y una supervisión más sencilla de la calidad del agua.

En contraste, los sistemas in situ constituyen una opción descentralizada y localizada para el tratamiento de aguas residuales. Estos sistemas acumulan los residuos en plantas de capacidad mucho menor como lo son las letrinas secas o fosas sépticas seguidas de estructuras que complementan la depuración como los filtros anaerobios y humedales, que pueden vaciarse regularmente o ser reemplazadas por nuevas. También pueden incluir pequeños sistemas de alcantarillado que transportan las aguas residuales a plantas de tratamiento cercanas a través de redes de interceptores con extensiones menores comparadas con las del sistema centralizado. (UNESCO, 2017, p. 58)

En la figura 2 se presenta un diagrama que ilustra un sistema centralizado y uno descentralizado de tratamiento de aguas residuales:

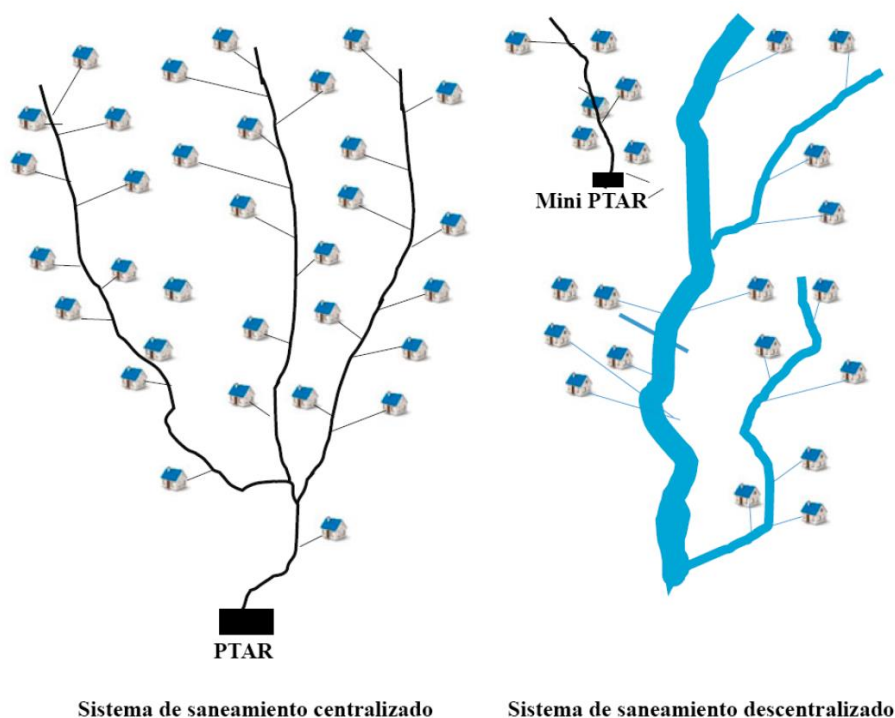


Figura 2. Sistema de alcantarillado centralizado y sistema de alcantarillado descentralizado.

Adaptado de: Athirah, A., Al-Gheethi, A. A. S., Noman, E. A., Radin Mohamed, R. M. S., & Mohd Kassim, A. H. (2018). Centralised and decentralised transport systems for greywater and the application of nanotechnology for treatment processes. In Management of Greywater in Developing Countries (pp. 227–244). Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-90269-2_12.

Independientemente del tipo de sistema utilizado, el objetivo final es asegurar que las aguas residuales sean recolectadas, tratadas y dispuestas de manera adecuada y segura para su reintegración al medio ambiente. De la misma manera, la gestión efectiva de todos los municipios y empresas públicas, es un componente clave para la protección del medio ambiente y el manejo efectivo de recursos económicos dedicados a la salud pública, por lo tanto es importante adoptar enfoques integrados y adaptados a las necesidades específicas de cada lugar, esto puede incluir la combinación de tecnologías centralizadas y descentralizadas, así como la implementación de prácticas de gestión sostenible del agua a nivel local y regional. (UNESCO, 2017, p. 58)

2.2. Identificación y generación de núcleos de saneamiento

La información recolectada para el presente trabajo de titulación se obtuvo de la investigación realizada por Balarezo y Serrano (2023) en la misma parroquia y enfocada a desarrollar una nueva metodología de diseño de redes de alcantarillado con la incorporación de un nuevo concepto denominado núcleo de saneamiento.

El presente capítulo se centra en la creación de áreas de influencia, conocidas como buffers, utilizando el software QGIS. Estos buffers son representaciones espaciales que rodean los predios con radios de 25, 50 y 100 metros respectivamente. En el contexto de la parroquia de Quingeo, estos buffers desempeñan un papel crucial como zonas que al interactuar con otras áreas de influencia forman agrupaciones conocidas como núcleos de saneamiento. Cada una de estas áreas de influencia será analizada detalladamente en capítulos posteriores dedicados específicamente a cada agrupación.

Un núcleo de saneamiento se define como el número de conexiones domiciliarias dentro de la parroquia de Quingeo. Esto puede incluir tanto viviendas aglomeradas en sectores específicos como viviendas individuales en zonas remotas.

Además, un núcleo de saneamiento debe cumplir con los siguientes criterios (Concello de Carral, 2023):

- Poseer un radio de influencia definido, que puede ser de 25, 50, 100 metros, entre otros.
- Contener al menos 10 viviendas.
- Puede contener menos de 10 viviendas siempre y cuando la población sea mayor a 50 habitantes.

Para la implementación de los estudios iniciales y como parte de la metodología en el proyecto de investigación previo, se decidió hallar un área de influencia, o buffer conocido en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), de radio óptimo que pueda abarcar varios núcleos de saneamiento, dicho buffer se podrá hallar mediante la estimación de su radio óptimo que tendrá que definirse en base a análisis que se detallarán a continuación, para este apartado se usaron tres opciones de núcleos de 25, 50 y 100 metros.

En la figura 3 se observan 3060 conexiones domiciliarias en la parroquia de Quingeo, lo que muestra una gran cantidad de núcleos muy dispersos entre sí, por lo que es necesario realizar una depuración para hallar el buffer de radio óptimo con núcleos de saneamiento incorporados. (Balarezo & Serrano, 2023)

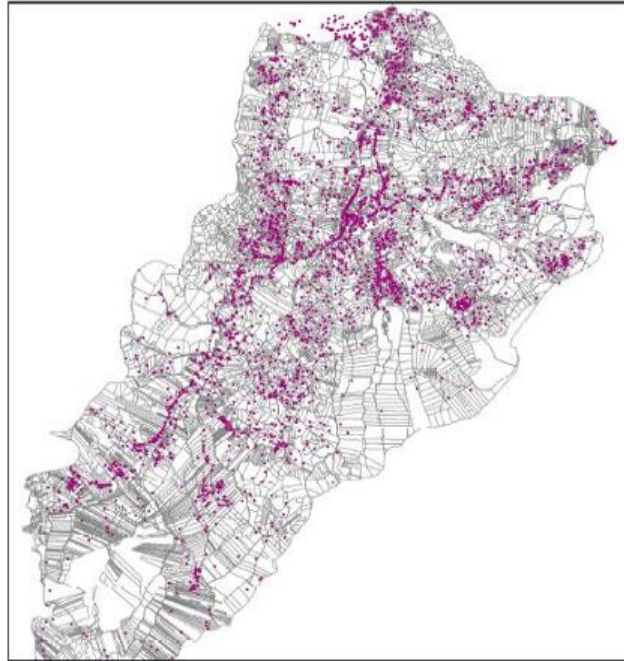


Figura 3. Mapa de Quingeo con sus domiciliarias.

*Fuente: Balarezo & Serrano, Núcleos de saneamiento en la parroquia
de Quingeo, Cuenca - Azuay*

Como primer paso se generaron buffers respectivos de 25, 50 y 100 metros que abarcaban diversos núcleos de saneamiento como se muestra en las figuras 4, 5 y 6 respectivamente. El criterio esencial para empezar la depuración y hallar el radio óptimo, se tuvo que basar en el análisis de las viviendas individuales ubicadas a largas distancias y con topografía irregular, dichas viviendas se descartaron debido a que la construcción de sus tuberías resultaban ser muy costosas y la mejor opción resultaba en la incorporación de plantas de tratamiento de aguas residuales independientes. (Balarezo & Serrano, 2023)

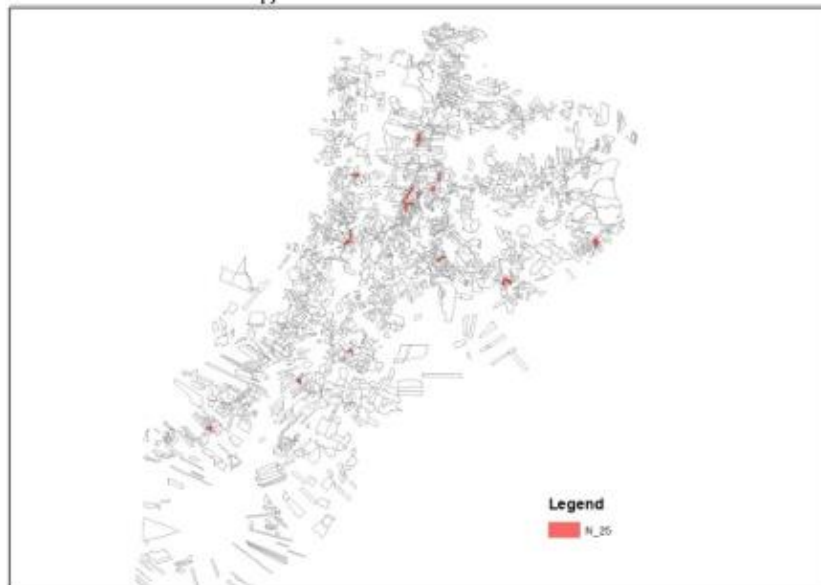


Figura 4. Núcleos de 25 m de radio.

Fuente: Balarezo & Serrano, Núcleos de saneamiento en la parroquia de Quíngeo, Cuenca - Azuay

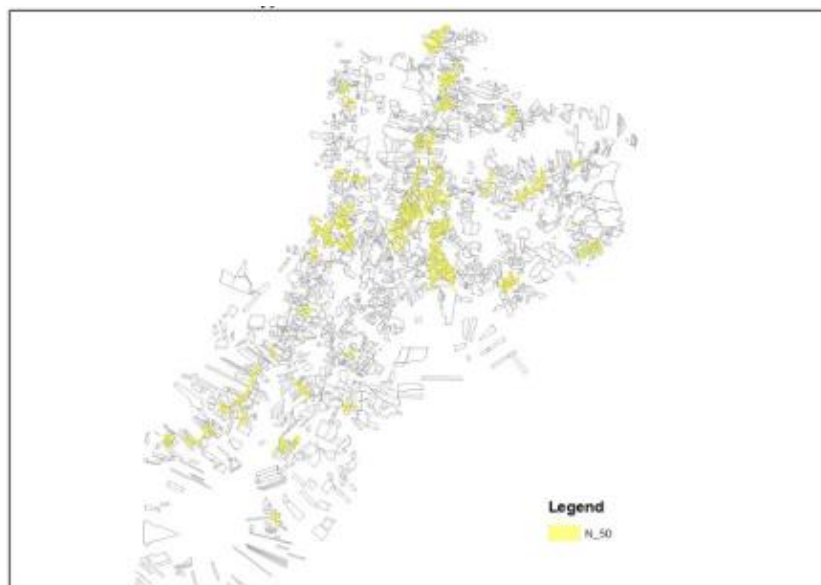


Figura 5. Núcleos de 50m de radio.

Fuente: Balarezo & Serrano, Núcleos de saneamiento en la parroquia de Quíngeo, Cuenca - Azuay

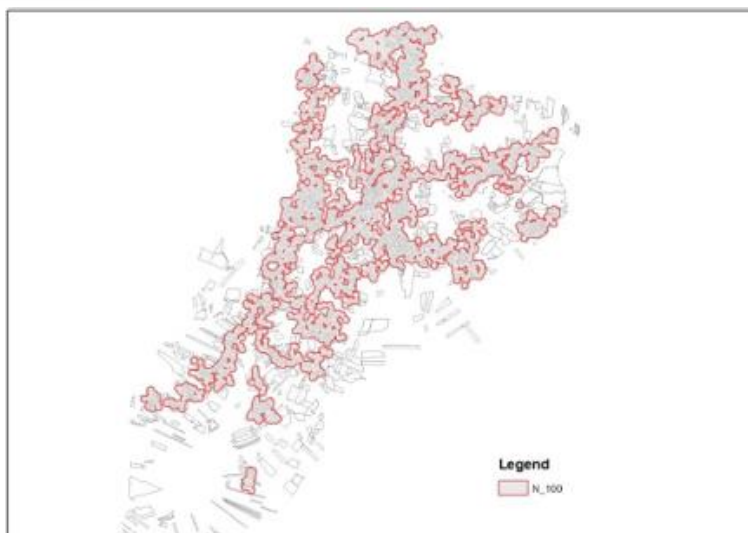


Figura 6. Núcleos de 100 m de radio.

Fuente: Balarezo & Serrano, Núcleos de saneamiento en la parroquia de Quingeo, Cuenca - Azuay

En el segundo paso de análisis, se llevó a cabo una comparación exhaustiva entre tres radios diferentes que podrían utilizarse para la red de alcantarillado. Tras esa comparación, se concluyó que el radio de 50 metros era la opción más adecuada, debido a que engloba la mayor cantidad de viviendas dentro de los núcleos colectivos y no encontraba el problema de tener residencias individuales tan dispersas, dicha solución se traducía en una reducción significativa de costos asociados al desarrollo e implementación de la red de alcantarillado al tener que trazarse de manera óptima para un determinado número de viviendas y no diseñarse solamente para viviendas individuales alejadas de la zona central. Además de optimizarse en temas de costos asociados, también se requeriría menos material y tiempo de construcción. (Balarezo & Serrano, 2023)

En la tabla 1 se presenta un resumen obtenido para todos los radios, con el número de viviendas total, y la depuración respectiva de los polígonos que no se tomaron en cuenta.

Tabla 1. Número de polígonos finales.

Fuente: Balarezo & Serrano, Núcleos de saneamiento en la parroquia de Quingeo, Cuenca - Azuay.

	Radio 25 m	Radio 50 m	Radio 100 m
Número de viviendas en total	3060	3060	3060
Número de polígonos	1949	966	210
Número de polígonos eliminados (viviendas individuales)	419	259	84
Número de polígonos (<10 viviendas o 40 habitantes)	15	42	15

Al final, el radio de 50 metros incluía un total de 42 núcleos con 3060 viviendas y una proyección poblacional estimada de 12533 habitantes. (Balarezo & Serrano, 2023)

2.3. Diseño de la red de interceptores

El diseño de la red de interceptores, que conectarán los núcleos de saneamiento y sus respectivas aglomeraciones, es crucial para el estudio de costos del presente trabajo de titulación. Este proyecto implica el trazado estratégico, la aplicación de diferentes consideraciones sujetas a normativas y teoría básica de cálculo hidráulico.

El trazado de la red de alcantarillado está íntimamente ligado a la topografía de la ciudad, ya que el flujo de agua fluye según la pendiente del terreno. El trazado de los interceptores depende de la disposición del sistema de alcantarillado interno (de cada núcleo), y según esto, se pueden distinguir tres tipos de trazado para redes de alcantarillado. (Tsutiya & Sobrinho, 2000)

La *red perpendicular* resulta idónea para zonas urbanas atravesadas o rodeadas por cursos de agua. Esta red se compone de múltiples colectores principales independientes, dispuestos en ángulo recto con respecto al flujo del agua, los cuales desembocan en un interceptor marginal encargado de transportar los efluentes al destino final. Para una mejor comprensión, se ilustra en la figura 7 un sistema vial primario de una urbe cercana a un río, donde las características topográficas posibilitan la presencia de múltiples conductos principales que se cruzan con el interceptor (Tsutiya & Sobrinho, 2000, p. 15)

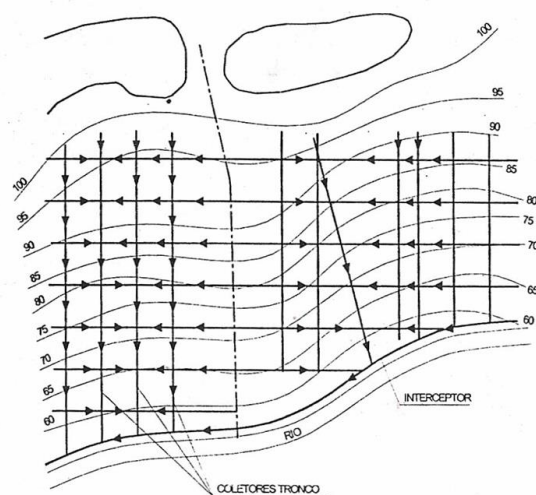


Figura 7. Red de alcantarillado perpendicular.

Fuente: Tsutiya, M. T., & Sobrinho, P. A. (2000). Coleta e transporte de esgoto sanitário.

La *red en abanico* es ideal para terrenos accidentados y de topografía variable, donde los colectores principales recorren los valles o las partes bajas de las cuencas, y los colectores secundarios se organizan en forma de abanico o espina de pescado. En la figura 8 se ilustra el sistema vial de una ciudad montañosa con varias subcuencas. (Tsutiya & Sobrinho, 2000, p. 15)



Figura 8. Red de alcantarillado en abanico.

Fuente: Tsutiya, M. T., & Sobrinho, P. A. (2000). *Coleta e transporte de esgoto sanitário*.

Finalmente, la red *radial o distrital* es característica de ciudades planas, divididas en distritos independientes con puntos bajos hacia los que fluyen las aguas residuales, que luego se bombean hacia el distrito vecino o el destino final. En la figura 9 se pueden visualizar las estaciones de bombeo (EE) ubicadas en los puntos más bajos de la urbe y que luego se conectan al interceptor respectivo. (Tsutiya & Sobrinho, 2000, p. 15)

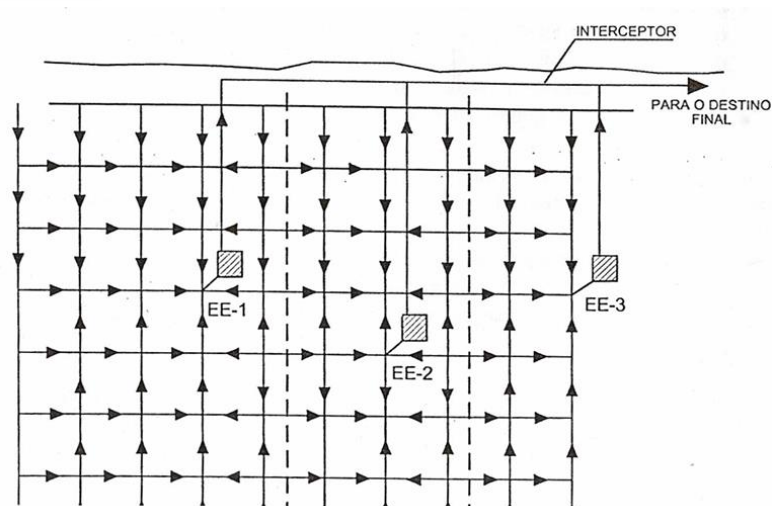


Figura 9. Red de alcantarillado tipo distrital o radial.

Fuente: Tsutiya, M. T., & Sobrinho, P. A. (2000). *Coleta e transporte de esgoto sanitário*.

Una vez trazados los colectores y definido el punto de lanzamiento, los interceptores son una consecuencia inmediata. En muchos casos, los fondos de valle por donde deben pasar los interceptores no están urbanizados, y pueden pasar por ahí, caso contrario las tuberías deben atravesar terrenos particulares. En estos casos, se deberá habilitar un carril y ponerlo a disposición del servicio de alcantarillado. (Tsutiya & Sobrinho, 2000, p. 15)

2.3.1. Cálculos hidráulicos

El sistema de alcantarillado sanitario incluirá un análisis detallado del dimensionamiento de las tuberías, considerando factores como la topografía del terreno (definido previamente por el trazado) y el caudal de diseño de aguas residuales proyectado. En este proyecto se prestará especial atención al correcto diseño según las vigentes normativas ecuatorianas con sus respectivos requerimientos.

El caudal de aguas residuales de una población está compuesto por varios aportes: aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales, comerciales e institucionales, aguas de infiltración y conexiones erradas. Estos componentes combinados determinan la cantidad total de aguas residuales que deben ser gestionadas y tratadas en el sistema de alcantarillado, lo cual es crucial para el diseño y la operación eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Cualla, 2003, p. 369). La figura 10 ilustra estos componentes:

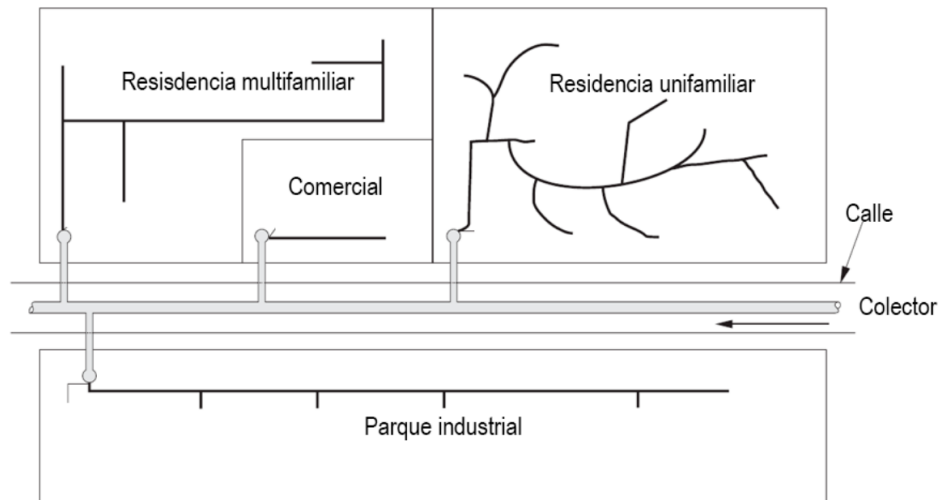


Figura 10. Aguas residuales provenientes de actividades humanas.

Adaptado de: Bentley Systems, Walski, T. M., Barnard, T. E., Harold, E., LaVere B. Merritt, L. B., Walker, N., & Whitman, B. E. (2004). Wastewater collection system modeling and design (1st ed.). Bentley Institute Press.

Para el diseño de los interceptores también es relevante tomar consideraciones generales que estén referidas a las normativas específicas, para el caso del presente trabajo se tomó en cuenta la norma ecuatoriana. Las velocidades máximas permitidas en tuberías o colectores están determinadas por el material de fabricación, en donde para materiales plásticos o PVC, la velocidad máxima es de 4.5 m/s, con un coeficiente de rugosidad de 0.011. En sistemas de alcantarillado sanitario, el diámetro mínimo requerido es de 200 mm. Además, la distancia máxima entre pozos de revisión es de 100 metros para diámetros menores a 350 mm, 150 metros para diámetros entre 400 y 800 mm, y 200 metros para diámetros superiores a 800 mm, según la norma ecuatoriana (SENAGUA, 1992)

2.3.2. Aguas residuales domésticas

Son aguas residuales que provienen de actividades cotidianas en los hogares como cocinar, lavar ropa, usar baños y limpiar. Su composición es esencialmente orgánica con restos de materiales de uso diario como jabones, papeles, etc. Su caudal básicamente se deriva del abastecimiento de agua potable con un determinado porcentaje que no llega al sistema de aguas residuales (el consumido por los usuarios en riego, lavado y demás actividades cotidianas), también presenta variabilidad según las costumbres de la población a determinadas escalas de tiempo (horario y diario) (D. B. Idrovo, personal communication, 2023)

La ecuación 1 es usada para el cálculo respectivo del caudal de aguas residuales domésticas es la siguiente:

$$q_{dom} = \frac{C * M * Dot * P}{86400} \quad (1)$$

donde: q_{dom} : caudal doméstico de aguas residuales (l/s)

C: Coeficiente de retorno (adimensional)

M: Coeficiente de mayoración (adimensional)

P: Población

Según la normativa ecuatoriana vigente, el caudal doméstico de aguas residuales debe ser mayor a 1.5 l/s. En caso contrario, se debe asumir dicho valor como el caudal doméstico mínimo de aguas residuales.

2.3.3. Aguas residuales industriales

Este aporte de aguas residuales debe evaluarse específicamente para cada caso, ya que varía según el tipo y tamaño de la industria, así como los procesos de tratamiento y reutilización del agua, y la tecnología utilizada para reducir el impacto ambiental. Por lo tanto, es necesario realizar una evaluación individual del consumo de agua en la industria mediante censos, encuestas y mediciones. (Cualla, 2003, p. 369)

2.3.4. Aguas de infiltración

El caudal de infiltración es generado por la entrada de agua proveniente del nivel freático subterráneo, a través de las uniones entre tramos de tuberías, fisuras en los tubos y conexiones con estructuras como los pozos de inspección. Este aporte adicional se estima en función de las características de permeabilidad del suelo donde se construirá el alcantarillado sanitario. Puede expresarse por metro lineal de tubería o por su equivalente en hectáreas de área drenada (Cualla, 2003, p. 369)

2.3.5. Aguas ilícitas

El flujo adicional generado por conexiones erróneas o aguas ilícitas en un sistema de alcantarillado sanitario proviene principalmente de conexiones clandestinas de aguas pluviales domiciliarias. Se utilizan diversos criterios para estimar este aporte por conexiones erróneas. La subestimación de este parámetro puede tener consecuencias sanitarias para la población, ya que durante precipitaciones extremas es posible que se supere la capacidad de transporte del colector y las aguas residuales diluidas salgan a la superficie a través de pozos de inspección o de las mismas conexiones domiciliarias y sus consecuencias en las plantas de depuración por la alta dilución. (Cualla, 2003, p. 369)

2.6. Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR) y líneas de impulsión

Las Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR) son estructuras utilizadas para elevar agua residual desde niveles bajos a elevados (Wikimedia, 2024b). Según Bentley Systems et al. (2004), el diseño de una EBAR implica abordar los siguientes aspectos clave:

- Dimensionamiento adecuado de la línea de impulsión.
- Selección del tipo de bombeo, que puede ser de velocidad constante o variable.
- Consideraciones sobre la eficiencia energética.
- Elección del tipo de estación, ya sea sumergible o de pozo húmedo/pozo seco.
- Determinación del número y tipo de bombas necesarias.
- Orientación preferida de la bomba, ya sea vertical u horizontal.
- Selección de la bomba basada en criterios de flujo, altura y potencia.
- Dimensionamiento adecuado del pozo húmedo.
- Gestión de los transitorios hidráulicos.
- Control eficaz de la energía consumida y la generación de olores.
- Consideraciones sobre la ubicación y accesibilidad de la estación de bombeo.

El diseño de la línea de impulsión implica seleccionar el diámetro de la tubería, influenciado por el número, tamaño y tipo de bombas en la EBAR, así como consideraciones de presiones internas y externas (Metcalf & Eddy, 1994). Múltiples EBARs complican este proceso (Bentley Systems et al., 2004). Las líneas de impulsión se complementan típicamente con pozos de revisión y válvulas para purgar y controlar el aire. Es crucial evitar puntos altos en las líneas de impulsión para prevenir obstrucciones en las válvulas de aire (Metcalf & Eddy, 1994).

2.7. Necesidad de EBARs

Según Metcalf y Eddy (1994), las Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR) son indispensables en las siguientes situaciones:

1. Cuando la elevación del terreno es demasiado baja para permitir el flujo por gravedad de las aguas residuales.
2. Para servir áreas ubicadas fuera de la cuenca natural de drenaje.
3. Cuando evitar el bombeo resultaría en costos excesivos debido a grandes excavaciones.

A pesar de los costos continuos de energía y mantenimiento asociados con las bombas, las líneas de impulsión de las EBARs ofrecen ventajas significativas en comparación con los

sistemas de alcantarillado por gravedad, como diámetros más reducidos y menores requerimientos de pendiente (Bentley Systems et al., 2004). Esto las hace más viables en áreas donde la topografía o la propiedad del terreno dificultan la instalación de alcantarillados convencionales.

En casos donde las poblaciones no comparten la misma cuenca de drenaje, instalar una EBAR puede ser la única solución práctica para proveer servicios de saneamiento o construir una nueva Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Además, las líneas de impulsión son preferibles en comparación con largos alcantarillados por gravedad que podrían enfrentar problemas de invasión de propiedades y excavaciones complicadas (Bentley Systems et al., 2004).

Bentley Systems et al. (2004) también destaca que, aunque en ciertos escenarios el flujo por gravedad entre cuencas puede ser más económico, las líneas de impulsión son preferidas debido a su menor tamaño, rutas más directas y menor impacto ambiental y constructivo (ver figura 11).

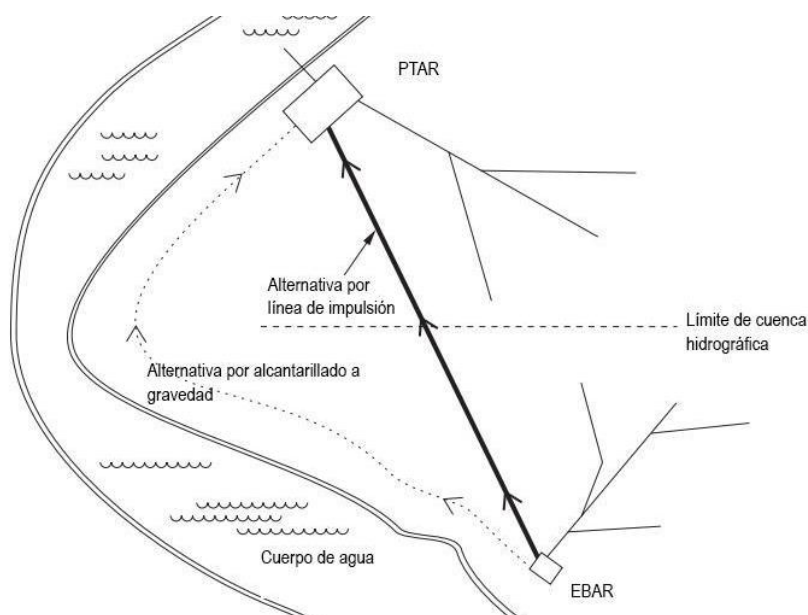


Figura 11. Alternativas entre un alcantarillado a gravedad y una línea de impulsión para conectar una comunidad fuera de la cuenca de drenaje.

Adaptado de: Bentley Systems, Walski, T. M., Barnard, T. E., Harold, E., LaVere B. Merritt, L. B., Walker, N., & Whitman, B. E. (2004). Wastewater collection system modeling and design (1st ed.). Bentley Institute Press.

Para el caso de Quingeo se ha optado por considerar la posibilidad de instalar EBARs por las razones antes citadas las cuales se presentan al momento de realizar la metodología de este trabajo de titulación.

3. CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Materiales y métodos

El trabajo se realizó utilizando principalmente datos proporcionados por la empresa ETAPA EP y por los trabajos de Balarezo y Serrano (2023), los cuales se detallan a continuación:

1. Información topográfica y de relieve:
 - Curvas de nivel
 - Modelo digital de elevaciones
2. Información hidrográfica:
 - Correspondiente a quebradas y ríos
3. Áreas de conservación
4. Información demográfica:
 - Ubicación de las viviendas
 - Delimitación de predios
5. Núcleos de saneamiento:
 - Ya definidos por Balarezo y Serrano (2023).

Con toda esta información se siguió la metodología para todo el trabajo mediante los softwares:

- QGIS

"QGIS, conocido también como Quantum GIS, es un software de Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto que permite la gestión de formatos raster y vectoriales, así como bases de datos geoespaciales" (Wikimedia, 2024a). En el proyecto mencionado, todos los datos, excepto la información sobre la red de alcantarillado de los núcleos y la topografía, fueron almacenados en formato SHP y procesados utilizando QGIS.



- AutoCAD Civil 3D

Según Autodesk Journal (2020), AutoCAD Civil 3D es un software que permite llevar a cabo procesos de diseño y documentación para diferentes proyectos de ingeniería civil. En este caso, se utilizó para la generación de superficies y redes de alcantarillado.



- Microsoft Excel

Microsoft Excel es un programa que permite editar hojas de cálculo, así como realizar cálculos y gráficas.



3.2. Desarrollo de las alternativas de saneamiento

Con los resultados del diseño de la red de saneamiento interior para los grupos, según Balarezo & Serrano (2023), se ha generado la alternativa de saneamiento más descentralizada.

Dado que hay 41 grupos disponibles, se pueden crear una infinidad de alternativas. Se plantearán tres escenarios principales:

- Alternativa 1: centralizada
- Alternativa 2: intermedia entre centralizada y descentralizada
- Alternativa 3: descentralizada

Se comenzará generando los dos escenarios más extremos: la Alternativa 1, centralizada, que trata de unir todos los grupos en el menor número de aglomeraciones posibles, y la Alternativa 2, descentralizada, en la que cada grupo tiene su propia PTAR, es decir, los 41 grupos están individualizados.

La metodología adoptada del Concello de Carral (2023) busca encontrar la mejor alternativa de saneamiento, es decir, la configuración de los núcleos de manera que se logre el escenario más sostenible, maximizando aspectos ambientales, sociales y económicos. Este trabajo de titulación no pretende realizar un análisis ambiental y social, sino una estimación del costo de inversión más operación y mantenimiento. Se propone presentar alternativas y diseñar, a nivel de prefactibilidad, las redes externas para que puedan servir como referencia para dicho análisis en el futuro. Por esta razón, se considerarán tres alternativas intermedias entre el

extremo centralizado y el opuesto descentralizado. Los diseños finales constan de cinco alternativas: dos extremas y tres intermedias quedando:

- Alternativa 1: Alternativa centralizada
- Alternativa 1.5: Intermedia 1
- Alternativa 2: Intermedia 2
- Alternativa 2.5: Intermedia 3
- Alternativa 3: Alternativa descentralizada

a) Alternativa 1: Enfoque más centralizado

En este escenario se intenta agrupar los núcleos de saneamiento mediante una red que los conecte, conocida como la red externa o interceptores. Para el desarrollo de esta alternativa, se tomaron en cuenta algunas recomendaciones proporcionadas por Concello de Carral (2023):

- Las subcuencas hidrográficas ofrecen puntos de división para las aglomeraciones.
- Se conectarán los núcleos sin tener en cuenta la gravedad/bombeo, es decir, se instalarán bombes cuando sean necesarios para garantizar la agregación de los núcleos.
- Se considerarán los predios que puedan conectarse a los interceptores para que puedan acceder al servicio.
- La nomenclatura para las aglomeraciones será de a_1, a_2, etc., dependiendo del total que se encuentre.
- Las viviendas que queden fuera tendrán implementación de fosas sépticas más un tratamiento secundario como puede ser un humedal artificial. La solución para estas viviendas queda pendiente para futuros estudios.

b) Alternativa 1.5

Cerca de 11 entre aglomeraciones y núcleos autónomos.

c) Alternativa 2 (Alternativa intermedia)

Cerca de 21 entre aglomeraciones y núcleos autónomos.

d) Alternativa 2.5

Cerca de 31 entre aglomeraciones y núcleos autónomos

e) Alternativa 3: Enfoque más descentralizado

En esta alternativa, los 41 grupos cuentan con soluciones autónomas, ya que cada uno tiene su propia PTAR, conformando el enfoque más descentralizado. Para definir completamente esta alternativa, fue necesario ubicar la PTAR y trazar la "conducción hacia la PTAR", la cual se considerará una red externa. Además, se debe trazar una "conducción de vertido" desde la PTAR hasta el punto de vertido por gravedad, la cual también se considerará una red externa.

Como es de esperar el cambio a estas alternativas implica modificar la configuración de las aglomeraciones mediante la eliminación o cambio de los colectores exteriores. Esto se realiza desde la Alternativa 1 hasta llegar a la 2.5, ya que en la Alternativa 3 no se unen núcleos. El paso de una alternativa a otra tiene las siguientes implicaciones, basadas en Concello de Carral (2023):

- Aumenta el número de aglomeraciones y, por lo tanto, el número de PTAR y puntos de vertido.
- Reduce el tamaño de las PTAR.
- Facilita el tratamiento del agua residual, ya que se obtendrán menores caudales de infiltración.
- Disminuyen los costos de operación y mantenimiento de los colectores, ya que son más cortos.
- Se eliminan las EBAR, ya que no se abarcan tantos núcleos en las aglomeraciones, lo que también reduce los costos de inversión y mantenimiento.

3.3. Trazado de una red de alcantarillado en AutoCAD Civil 3D

Civil 3D permite crear objetos que representan pozos de revisión y tuberías. Para lograr esto se siguen los siguientes pasos:

- 1) Se crea una red de tuberías colocando un nombre, que para el trabajo corresponderá a cada una de las redes externas.
- 2) En la misma pestaña se eligen los pozos y grupos de tuberías que se usarán. Se elegirá un pozo común de cabeza cónica y todas las tuberías de PVC disponibles que ya contienen el diámetro interno con su espesor. Además de esto se tiene que colocar un estilo de etiqueta que se hará uno sencillo, que muestre en el caso de las tuberías la numeración, el diámetro, pendiente y longitud y para los pozos la cota de la tapa,

numeración y altura de fondo. Finalmente se elige la superficie que contiene la información topográfica de la zona.

- 3) Definida una red de alcantarillado se procede con el trazado.
- 4) Se exportan los datos a una hoja de cálculo del trazado para el diseño de la red.

3.4. Diseño de los interceptores

Para el diseño de los interceptores, se utilizó una hoja de cálculo de Microsoft Excel adaptada de (Balarezo & Serrano, 2023), con modificaciones para considerar los núcleos que abarca cada red externa. Los pasos seguidos son los siguientes:

- 1) **Ingreso de datos iniciales:** Se ingresan los datos correspondientes a la dotación, coeficiente de retorno, caudal de infiltración, caudal de aguas ilícitas y número de Manning, como se muestra en la figura tabla 2.

Tabla 2. Valores iniciales para el diseño de la red de alcantarillado.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad	Fórmula	Fuente
Dotación	Dot	110	l/hab*d		Senagua
Coeficiente de retorno	f	0.8			Etapa
Caudal de agua residual doméstico	Qa			$Dot * P / 86400$	
Coeficiente de simultaneidad	M			$2.228 / (Qa^{0.073325})$ $Qa < 4 \text{ l/s (M=4)}$ $1.5 \leq M \leq 4$	
Caudal sanitario	Qs			$f * Dot * P * M / 86400$	
Factor por longitud de tubería	finf	1	l/s/km		
Longitud tubería	L		km		
Caudal de infiltración	Qinf		l/s	$finf * L$	
Factor por conexiones ilícitas	fil	5	%	$Qs * M * fil$	Etapa
Caudal conexiones ilícitas	Qil		l/s	$fil * P / 86400$	
Caudal de diseño	Qd			$Qs + Qinf + Qil$	
Número de Manning	n	0.009			

2) Ingreso de datos específicos:

- Número de predios que abarca cada tubería: Se refiere a los predios que pueden conectarse a la red externa.
- Población de descarga para cada núcleo: Corresponde al número de habitantes de cada núcleo. Este valor es utilizado para calcular el caudal de agua residual.
- Longitud: Es la longitud en planta de la tubería. Se obtiene directamente del trazado en Civil 3D.

- Longitud de descarga: Corresponde a la longitud total de la red interna de cada núcleo y es utilizada para calcular el caudal de infiltración que llegará a la red externa.
- Circulación: Se refiere al tipo de superficie por la que está trazada la tubería. Se consideran tres tipos: carretera, campo y ribera.

Como ejemplo, en la tabla 3 se muestra el ingreso de información para la aglomeración 2 de la alternativa 2.5. Las celdas de color azul indican los valores ingresados. Los resultados de este diseño se detallarán más adelante en la sección de resultados.

Tabla 3. Ingreso de datos iniciales para el diseño de la red exterior de la aglomeración a_2 alternativa 2.5.

DATOS INICIALES						CIRCULACIÓN			
Tubería	Predios	Población	Población descarga	Longitud horizontal	Longitud acumulada descarga	Tipo	Campo	Ribera	Calle/Carretera
No.	#	hab	hab	m	m	cam/rib/call	m	m	m
1	0.00	0.00	48.00	26.05	376.64	cam	26.22		
2	0.00	0.00		91.36		cam	92.73		
3	0.00	0.00		43.07		cam	43.07		
4	0.00	0.00		37.87		cam	37.88		
5	0.00	0.00	328.00	26.02	2183.33	call			26.25
6	4.00	16.00		70.16		call			70.71
7	2.00	8.00		99.41		call			100.38
8	1.00	4.00		47.56		call			47.58
9	0.00	0.00		30.85		cam	30.87		
							230.77	0.00	244.92
							475.70		

- 3) **Ingreso de cotas de los pozos de revisión:** Esta es la parte más compleja del diseño, donde se deben cumplir valores específicos para pendientes y profundidades, y un rango para velocidades. En la tabla 4 se muestra el ingreso de esta información para la aglomeración a_2, alternativa 2.5. Si no se cumplen los requisitos, puede ser necesario modificar el trazado.

Tabla 4. Ingreso de datos del identificador de los pozos de revisión, profundidad de fondo de zanja y cota de rasante para el diseño de la red exterior de la aglomeración a_2, alternativa 2.5.

TOPOGRAFÍA										
Pendiente terreno	Inicial				Final				Longitud real	Pendiente tubería
		Altura inicial				Altura final				
Sn (%)	Nodo	hi (m)	Cota Rasante Inicial	Cota Fondo Inicial	Nodo	hf (m)	Cota Rasante Final	Cota Fondo Final	m	So (%)
11.54	PEL - 1	1.40	2968.63	2967.23	PEL - 2	1.40	2965.63	2964.23	26.22	11.5
17.42	PEL - 2	1.40	2965.63	2964.23	PEL - 3	1.40	2949.71	2948.31	92.73	17.4
1.51	PEL - 3	1.40	2949.71	2948.31	PEL - 4	1.40	2949.07	2947.67	43.07	1.5
2.03	PEL - 4	1.40	2949.07	2947.67	PEL - 5	1.40	2948.30	2946.90	37.88	2.0
13.35	PEL - 5	1.40	2948.30	2946.90	PEL - 6	1.40	2944.82	2943.42	26.25	13.4
12.53	PEL - 6	1.40	2944.82	2943.42	PEL - 7	1.40	2936.03	2934.63	70.71	12.5
14.02	PEL - 7	1.40	2936.03	2934.63	PEL - 8	1.40	2922.10	2920.70	100.38	14.0
2.95	PEL - 8	1.40	2922.10	2920.70	PEL - 9	1.40	2920.69	2919.29	47.58	3.0
3.58	PEL - 9	1.40	2920.69	2919.29	PEL - 10	1.40	2919.59	2918.19	30.87	3.6

- 4) **Selección del diámetro de la tubería:** En esta etapa, se debe elegir un diámetro interno. Para el caso de interceptores se usará el mínimo dado por el numeral 5.2.1.6 de la norma ecuatoriana (SENAGUA, 1992). Se debe verificar que se cumplan los parámetros descritos en la 2.3.1. En la tabla 5 se muestran los diámetros escogidos para la aglomeración a_2, alternativa 2.5.

Tabla 5. Ingreso de los diámetros de tubería para el diseño de la red exterior de la aglomeración a_2, alternativa 2.5.

COMPROBACIÓN PARÁMETROS							
Caudal de diseño	Diámetro	Sección llena		Sección parcialmente llena			
		Caudal	Velocidad	Relaciones		Velocidad	Calado
Qd (l/s)	D (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	q/Q	v/V	v (m/s)	y/D
1.97	200	51.23	5.12	0.0384	0.4761	2.44	0.13
2.06	200	62.94	6.29	0.0327	0.4561	2.87	0.12
2.10	200	18.51	1.85	0.1136	0.6576	1.22	0.22
2.14	200	21.47	2.15	0.0997	0.6388	1.37	0.21
4.82	200	55.10	5.51	0.0875	0.6134	3.38	0.20
4.98	200	53.38	5.34	0.0932	0.6261	3.34	0.21
5.12	200	56.47	5.65	0.0907	0.6198	3.50	0.20
5.19	200	25.92	2.59	0.2002	0.7770	2.01	0.30
5.22	250	51.75	3.31	0.1009	0.6388	2.12	0.21

3.5. Proceso de diseño de la red interior

Una vez establecidos todos los núcleos de saneamiento, se procede a dotar a cada uno de ellos con una red de alcantarillado que abarque todos los predios integrados en ellos. Esta parte fue realizada por (Balarezo & Serrano, 2023) y el proceso seguido es el siguiente:

3.5.1. Revisión de la red existente

Antes de comenzar con el trazado se debe identificar y representar las redes existentes para integrarlas en el proyecto y evitar problemas de cruces con la nueva red. En este caso, la empresa ETAPA EP proporcionó información sobre la zona de estudio de Quingeo, incluyendo detalles sobre las redes existentes. Se encontró que los grupos AO y AN existía redes de alcantarillado sanitario.

3.5.2. Trazado

Luego, se procede con el trazado preliminar sobre los núcleos, de manera que abarque todos los predios y además atraviese zonas públicas para evitar conflictos con propiedades privadas. Además, siempre que sea posible, se busca que el trazado sea a gravedad y siga el escurrimiento natural para un mejor diseño y evitar excesivas excavaciones.

3.5.3. Diseño

Conocido el trazado, se procede entonces con el diseño de un alcantarillado convencional, tomando en cuenta las consideraciones del apartado 2.3.1.

3.6. Proceso de diseño de las redes exteriores o interceptores

3.6.1. Trazado

Con los resultados de Balarezo y Serrano (2023), sobre los sistemas de alcantarillado para cada núcleo de saneamiento, se procede al trazado de los interceptores. Para cada alternativa de saneamiento (1, 1.5, 2, 2.5, 3), se realiza un trazado preliminar para cada aglomeración, considerando la descarga de los alcantarillados de cada núcleo.

El trazado se ejecuta preferiblemente a gravedad o mediante bombeo, basándose en los resultados del planteamiento de las alternativas del apartado 3.2. El objetivo es dirigir el caudal de descarga al punto más cercano de la red exterior.

Además, se considera la opción de llevar el caudal a un punto de la red interior. Para ello, se evalúa la incorporación de este caudal al recorrido hasta el final de la red interior. En caso necesario, se redimensiona o modifica el trazado de la red interior (debido a velocidades erosivas por el aumento del caudal) y esto se define como diseño final para esa red interior.

La Figura 12 muestra un ejemplo de trazado de la red externa entre los grupos Q y R. Se observa cómo se unen las descargas del alcantarillado de cada grupo (círculos naranjas) y se llevan hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), y de ahí al punto de vertido.

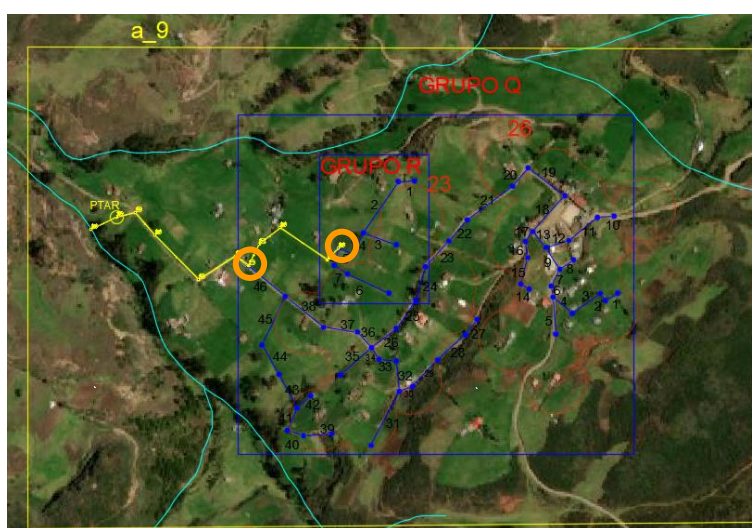


Figura 12. Trazado de la red exterior para la aglomeración a_9 de la alternativa 2.

El proceso a seguir para el trazado es el siguiente:

- I. En primer lugar, se carga la información correspondiente a los núcleos de saneamiento, topografía, hidrografía y redes interiores, las cuales fueron establecidas y diseñadas por Balarezo y Serrano (2023) en el software Civil 3D.
- II. Luego, se procede a trazar en Civil 3D con el objetivo de unir los puntos de descarga de los núcleos que conforman la aglomeración. Este trazado se realiza preferiblemente a gravedad y respetando el escurrimiento superficial natural para evitar excavaciones excesivas. Se evita, en la medida de lo posible, que el trazado cruce predios para prevenir conflictos, y se busca que sea cercano a lugares accesibles para la construcción y mantenimiento, como carreteras y caminos.
- III. En el caso de las EBARs, primeramente se deben ubicar. Luego, se traza la conducción de la descarga del núcleo hasta la EBAR. Posteriormente, se lleva a cabo el trazado de la línea de impulsión desde las EBAR hacia el punto más cercano para conectar con los otros núcleos, ya sea a través de un pozo en la red interior o exterior.
- IV. Una vez unidas todas las descargas de los grupos que conforman la aglomeración, se define una ubicación para la PTAR y se establece el trazado hasta la misma.
- V. Para llevar a cabo el trazado, se utiliza la herramienta de red de tuberías de Civil 3D. Esta herramienta no solo facilita el trazado en sí, sino que también permite establecer normativas y realizar comprobaciones durante el proceso, lo que contribuye a generar un diseño preliminar.
- VI. Finalmente, se exportan los datos de la red de tubería creada en Civil 3D, que incluyen cotas de inicio y final, así como la longitud de cada tramo de tubería.

3.6.2. Diseño

Una vez definido el trazado preliminar de la red exterior y ubicadas la PTAR y el punto de vertido, se procede con el diseño de los interceptores. Para esto, se diseña como un alcantarillado convencional, integrando el caudal de las descargas de cada núcleo que se unen y el caudal de infiltración de la red de cada núcleo, como se detalla en la sección 3.4.

3.7. Cálculo del costo de inversión

3.7.1. Costo de las redes internas e interceptores

Para la estimación del costo de las redes internas e interceptores de cada uno de los grupos respectivos e interceptores, se utilizó el software SANPLUC (Andrade, 2023). Este software permite calcular costos considerando diversos factores como la extensión de la red, el tipo de tubería y otras características relevantes. El proceso de estimación incluyó varios rubros generales para cada tipo de tubería. En primer lugar, se consideró el costo de los materiales, que varía según el tipo de tubería utilizada. Las tuberías pueden ser de PVC, concreto, acero,

entre otros materiales, cada uno con sus respectivas ventajas y desventajas en términos de costo y durabilidad.

En segundo lugar, se incluyó el costo de la instalación. Esto abarca la mano de obra necesaria para la excavación, colocación de tuberías, relleno y compactación del terreno. Además, se consideraron los costos asociados al equipo y maquinaria requerida para estas tareas, así como los costos de transporte de materiales y maquinaria al sitio de trabajo.

Otro rubro importante es el costo de los accesorios y componentes adicionales necesarios para la correcta operación de las redes de tuberías. Esto incluye válvulas, conectores, y cámaras de inspección, entre otros elementos.

Asimismo, se tomaron en cuenta los costos de gestión y supervisión del proyecto, que aseguran que el trabajo se realice según los estándares de calidad y dentro del tiempo estipulado. Esto incluye la planificación, monitoreo y control de la obra, así como la gestión de recursos y cumplimiento de normativas y regulaciones.

Finalmente, se consideraron contingencias y reservas para imprevistos, lo que garantiza que cualquier eventualidad o problema no afecte significativamente el presupuesto total del proyecto. Estos rubros generales permiten obtener una estimación detallada y precisa del costo total de las redes internas e interceptores, facilitando una planificación adecuada y una ejecución eficiente del proyecto. La estimación de costos se realizó mediante el programa del Ing. Vinicio Andrade Ochoa denominado SANPLUC (Andrade, 2023), empleado para el diseño y estimación de costos de redes de alcantarillado, los rubros que el programa automáticamente tomó en cuenta dependiendo del tipo de tuberías se muestran en la tabla 6:

Tabla 6. Rubros para la estimación del costo de inversión de redes internas y externas

ITEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO
RUBROS PRELIMINARES				
Replanteo				
4	520016	Replanteo y nivelación	m	0.92
Nivelación				
6	520018	Nivelación de 1 a 200 m	m	0.35
7	520019	Nivelación de 200 m a 500 m	m	0.32
8	520020	Nivelación de 500 m a 1000 m	m	0.25
9	520021	Nivelación de 1000 m a 5000 m	m	0.25
10	520022	Nivelación de 5000 m a 10000 m	m	0.22
11	520023	Nivelación mayor a 10000 m	m	0.18
12	520025	Nivelación	m	0.37
Limpieza y desbroce				
13	520002	Desbroce desbosque y limpieza, a máquina	m2	0.19
14	520010	Desbroce desbosque y limpieza, a mano	m2	1.64
15	540712	Limpieza de áreas	hombre/mes	918.04

MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Excavación a mano				
16	502002	Excavación a mano en suelo sin clasificar, profundidad entre 0 y 2 m	m3	13.23
17	502003	Excavación a mano en suelo sin clasificar, profundidad entre 2 y 4 m	m3	15.67
18	502004	Excavación a mano en suelo sin clasificar, profundidad entre 4 y 6 m	m3	18.31
19	502007	Excavación a mano en terreno conglomerado, profundidad entre 0 y 2 m	m3	16.35
20	502008	Excavación a mano en terreno conglomerado, profundidad entre 2 y 4 m	m3	23.51
21	502009	Excavación a mano en terreno conglomerado, profundidad entre 4 y 6 m	m3	28.40
Excavación mecánica				
22	503001	Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m de profundidad	m3	1.76
23	503016	Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 2 a 4 m de profundidad	m3	1.94
24	503004	Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 4 a 6 m de profundidad	m3	2.10
25	503002	Excavación mecánica en suelo conglomerado de 0 a 2 m de profundidad	m3	3.85
26	503014	Excavación mecánica en suelo conglomerado de 2 a 4 m de profundidad	m3	4.54
27	503006	Excavación mecánica en suelo conglomerado de 4 a 6 m de profundidad	m3	5.61
28	503010	Excavación mecánica en roca de 0 a 2 m de profundidad	m3	23.14
29	503011	Excavación mecánica en roca de 2 a 4 m de profundidad	m3	23.77
30	503013	Excavación mecánica en roca de 4 a 6 m de profundidad	m3	25.00
31	503003	Excavación mecánica en suelo de alta consolidación de 0 a 2 m de profundidad	m3	14.37
32	503015	Excavación mecánica en suelo de alta consolidación de 2 a 4 m de profundidad	m3	16.27
33	503008	Excavación mecánica en suelo de alta consolidación de 4 a 6 m de profundidad	m3	18.15
Preparación fondo zanja				
34	540056	Preparación fondo de zanja con material granular	m2	3.52
Relleno				
41	514004	Relleno compactado con equipo liviano	m3	5.30
42	514006	Relleno compactado a mano	m3	
43	514001	Tapado de zanjas con maquina	m3	1.86
44	540121	Tapado manual de zanjas	m3	5.02
Material de mejoramiento				
45	535200	Material de Reposición (Incluye esponjamiento)	m3	11.59
46	535569	Suministro y colocación de material granular (Grava)	m3	27.66
47	506048	Base - Cemento mezclada con concretera	m3	68.99
Cargado y transporte de material (desalojo)				
48	513001	Cargada de material a mano	m3	4.72
49	513003	Cargada de material a máquina	m3	1.17
50	513002	Transporte de material hasta 5 km	m3	1.48
51	513004	Transporte de materiales más de 5 km	m3 - km	0.26
52	513013	Servicio de disposición final de escombros	m3	0.74
Nivel freático				
53	522001	Abatimiento del nivel freático	hora	7.21
Entibado				
54	523001	Entibado Continuo	m2	13.75
55	523002	Entibado Discontinuo	m2	10.30
SUMINISTRO-COLOCACION TUBERIA PVC				
SUMINISTRO TUBERIA PVC TIPO B (ALCANTARILLADO)				
131	535775	Sum, Tubería PVC para Alcant, U/E DNE=110 mm (dimin= 97 mm) min. serie 5, Tipo B (Inc. Sello Elastomérico)	m	4.33

132	535776	Sum, Tubería PVC para Alcant, U/E DNE=160 mm (dimin= 135 mm) min. serie 5, Tipo B (Inc. Sello Elastomérico)	m	7.49
133	535777	Sum, Tubería PVC para Alcant, U/E DNE=200 mm (dimin= 172 mm) min. serie 5, Tipo B (Inc. Sello Elastomérico)	m	11.92
134	535778	Sum, Tubería PVC para Alcant, U/E DNE=250 mm (dimin= 216 mm) min. serie 5, Tipo B (Inc. Sello Elastomérico)	m	14.18
135	535779	Sum, Tubería PVC para Alcant, U/E DNE=315 mm (dimin= 270 mm) min. serie 5, Tipo B (Inc. Sello Elastomérico)	m	21.56
136	535780	Sum, Tubería PVC para Alcant, U/E DNE=400 mm (dimin= 340 mm) min. serie 5, Tipo B (Inc. Sello Elastomérico)	m	37.42
137	535100	Sum, Tubería PVC para Alcant, U/E DNE=440 mm (dimin= 374 mm) min. serie 5, Tipo B (Inc. Sello Elastomérico)	m	38.57
138	535250	Sum, Tubería PVC para Alcant, U/E DNE=540 mm (dimin= 465 mm) min. serie 5, Tipo B (Inc. Sello Elastomérico)	m	61.25
COLOCACION TUBERIA PVC				
153	509037	Colocacion Tubería PVC Alcant. D=200 mm	m	1.09
154	509052	Colocacion Tubería PVC Alcant. D=250 mm	m	1.18
155	509077	Colocacion Tubería PVC Alcant. D=315 mm	m	1.33
156	509034	Colocacion Tubería PVC Alcant. D=400 mm	m	1.65
157	509035	Colocacion Tubería PVC Alcant. D=440 mm	m	1.68
158	509078	Colocacion Tubería PVC Alcant. D=450 mm	m	1.68
159	509054	Colocacion Tubería PVC Alcant. D=500 mm	m	1.73
160	509060	Colocacion Tubería PVC Alcant. D=540 mm	m	1.88
POZOS DE REVISIÓN				
POZOS DE REVISIÓN TIPO A				
401	534007	Pozo de revisión de h=0 a 1,5 m, Tapa y Brocal tipo A	u	332.50
402	534006	Pozo de revisión de h=0 a 2,0 m, Tapa y Brocal tipo A	u	387.48
403	534001	Pozo de revisión de h=0 a 2,5 m, Tapa y Brocal tipo A	u	461.16
404	534002	Pozo de revisión de h=0 a 3,0 m, Tapa y Brocal tipo A	u	530.59
405	534003	Pozo de revisión de h=0 a 3,5 m, Tapa y Brocal tipo A	u	606.35
406	534004	Pozo de revisión de h=0 a 4,0 m, Tapa y Brocal tipo A	u	690.83
407	534005	Pozo de revisión de h=0 a 4,5 m, Tapa y Brocal tipo A	u	785.68
408	534008	Pozo de revisión de h=0 a 5,0 m, Tapa y Brocal tipo A	u	893.08
409	534009	Pozo de revisión de h=0 a 5,5 m, Tapa y Brocal tipo A	u	1009.12
410	534010	Pozo de revisión de h=0 a 6,0 m, Tapa y Brocal tipo A	u	1140.34
CATASTRO				
470	519005	Catastro de alcantarillado	Km	257.68
472	519003	Catastro de pozos de alcantarillado	u	9.96
PLAN DE MANEJO SOCIOAMBIENTAL				
PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS				
544	525017	Suministro de plástico	m2	1.24
545	525218	Instalación de plástico	m2	0.50
PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL				
546	525064	Suministro de Paso peatonal	m	61.09
547	525264	Instalación de Paso peatonal	m	4.28
548	525021	Bermas de contención y control de sedimentos	m	10.40
549	525008	Trampa de sedimentos	u	103.21
IMPLEMENTACIÓN DE SEÑALES PAR CONSTRUCCIÓN EN VÍAS				
550	525061	Suministro de Señales A-0001 a A-0003; A-0005 a A-0009	u	147.03
551	525038	Suministro de Señales A-0010	u	117.53
552	525039	Suministro de Señales A-0019	u	229.63
553	525225	Instalación de Señales A-0001 a A-0023	u	19.34
IMPLEMENTACIÓN DE LETREROS INFORMATIVOS				
554	525001	Suministro de Letrero Informativo Tipo 1 (2.40x1.20 m)	u	508.75
555	525201	Instalación de Letrero Informativo Tipo 1 (2.40x1.20 m)	u	62.10
556	525054	Suministro de Letreros Informativos 2.00x1.50m en tool	u	637.20
557	525255	Instalación de Letreros Informativos 2.00x1.50m en tool	u	209.26
IMPLEMENTACION DE SEÑALIZACION VIAL PARA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES				
558	525031	Suministro de Malla de seguridad	m	2.44
559	525234	Instalación de Malla de seguridad	m	0.19
560	525045	Suministro de Poste Delineador D-0001	u	17.75
561	525245	Instalación de Poste Delineador D-0001	u	0.99
562	525040	Suministro de Conos F-0004	u	26.21

563	525240	Instalación de Conos F-0004	u	0.99
564	525030	Suministro de Cintas B-0001 a B-0005	m	0.06
565	525233	Instalación de Cintas B-0001 a B-0005	m	0.05
RECUPERACION DE AREAS INTERVENIDAS				
566	550028	Suministro y Siembra de especie arbórea 2.5 - 3m alto	u	14.38
567	550029	Suministro y Siembra de especie arbustiva 1.5 - 2m alto	u	12.02
568	525091	Revegetación con especies arbustivas	ha	2059.57
569	525090	Revegetación con especies herbáceas	ha	14943.05
570	525292	Siembra de especie arbórea 0.60 - 0.80 m de alto	u	5.05
571	540226	Encesgado (con tepe de sitio)	m2	4.48

3.7.2. Estimación del costo de inversión de las líneas de impulsión

En este estudio, la estimación del costo de las tuberías de impulsión se basa en la metodología adoptada por el Concello de Carral (2023) para las redes de alcantarillado. Esta metodología utiliza un costo por metro lineal (\$/m), determinado a partir de condiciones estándar de zanja, tipo de terreno y espaciado entre pozos.

Inicialmente, se calcula un costo por metro lineal utilizando los rubros detallados en la Tabla 7 del software SANPLUC (Andrade, 2023). Se establece una geometría estándar para la zanja, cuyas especificaciones se muestran en la Figura 13. Además, se considera la instalación de pozos de revisión cada 100 metros, con una profundidad estándar de 1.5 metros.

Tabla 7. Rubros para la estimación del costo por metro lineal de tubería de alcantarillado.

ITEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Replanteo						
4	520016	Replanteo y nivelación	m	1	0.92	0.92
Excavación mecánica						
22	503001	Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m de profundidad,	a	1.82	1.76	3.21
Preparación fondo zanja						
34	540056	Preparación fondo de zanja con material granular	m2	1.2	3.52	4.22
Relleno						
41	514004	Relleno compactado con equipo liviano	m3	1.76	5.3	9.32
43	514001	Tapado de zanjas con maquina	m3	1.76	1.86	3.27
Material de mejoramiento						
45	535200	Material de Reposición (Incluye esponjamiento)	m3	1.76	11.59	20.39
46	535569	Suministro y colocación de material granular (Grava)	m3	1.76	27.66	48.66
Cargado y transporte de material (desalojo)						
49	513003	Cargada de Material a máquina	m3	1.76	1.17	2.06
50	513002	Transporte de material hasta 5km	m3	1.76	1.48	2.60
52	513013	Servicio de disposición final de escombros	m3	1.76	0.74	1.30
Entibado						
54	523001	Entibado Continuo	m2	1.2	13.75	16.50
Suministro tubería pvc tipo b (alcantarillado)						
135	535779	Sum, Tubería PVC para Alcant, U/E DNE=315 mm (dimin= 270 mm) min. serie 5, Tipo B (Inc. Sello Elastomérico)	m	1	21.56	21.56
Colocacion tubería pvc						

155	509077	Colocacion Tuberia PVC Alcant. D=315 mm	m	1	1.33	1.33
Pozos de revisión tipo A						
401	534007	Pozo de revisión de h=0 a 1,5 m, Tapa y Brocal tipo A	u	0.02	332.5	6.65
Catastro						
470	519005	Catastro de alcantarillado	Km	0.01	257.68	2.5768
472	519003	Catastro de pozos de alcantarillado	u	0.02	9.96	0.1992
Plan de manejo socioambiental						
544	525017	Suministro de plástico	m2	1.2	1.24	1.488
545	525218	Instalación de plástico	m2	1.2	0.5	0.6
						146.87

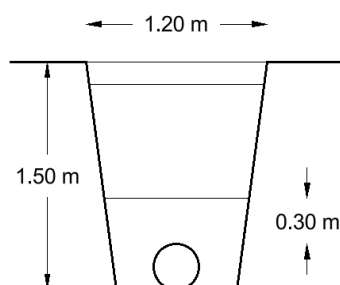


Figura 13. Geometría de la zanja típica para la estimación del costo por metro lineal.

El costo por metro lineal calculado es de 146.87 \$/m. Si se tratara de un alcantarillado que cumpliera únicamente con estas condiciones estándar, el costo total de inversión se obtendría multiplicando este costo por metro lineal por la longitud total de la red.

Es importante destacar que las condiciones para calcular el costo por metro no son uniformes para todas las redes debido a las variaciones en las condiciones de excavación según la ubicación. Por ejemplo, excavar en una carretera, calle, campo o cerca de riberas implica diferentes tipos de suelos, pendientes y accesibilidad. Estas diferencias afectan el transporte y uso de equipos de excavación. Por lo tanto, se han establecido factores específicos para cada tipo de terreno, según el estudio del Concello de Carral (2023):

- Factor de longitud para campo = 1.25
- Factor de longitud para calle o carretera = 1.0
- Factor de longitud para ribera = 1.5

Además, la instalación de tuberías de impulsión difiere de las de alcantarillado porque operan bajo presión, requiriendo materiales más robustos como acero, hierro dúctil o PVC. Estos materiales deben ser capaces de soportar presiones internas, lo que reduce los esfuerzos de relleno y cargas vivas adicionales. También se requiere el uso de juntas que minimicen fugas. Para incorporar estos aspectos, se aplica un factor adicional, también derivado del estudio del Concello de Carral (2023):

- Factor por impulsión = 2.0

Estos factores convierten la longitud de la línea de impulsión en una longitud equivalente a un sistema de alcantarillado con las condiciones estándar. Para obtener el costo final, simplemente se multiplica esa longitud equivalente por el costo por metro lineal (\$/m).

Para aplicar estos factores, es necesario primero trazar la línea de impulsión y luego clasificarla según el tipo de terreno (campo, calle o carretera, ribera), determinando la longitud de tubería correspondiente a cada categoría.

3.7.3. Estimación del costo de inversión de EBARs

El cálculo del costo de inversión de las EBARs se basa en los análisis del Concello de Carral (2023). Utilizando la ecuación de una recta, se determina el costo a partir de la potencia necesaria de cada estación. Sin embargo, este cálculo no incluye el costo de la electricidad.

Se presentan tres rangos que dependen de los niveles de costos basados en la elección de equipos, tecnología, y eficiencia de la EBAR. Los tres rangos mencionados son:

Rango alto: Incluye las soluciones más costosas con equipos y tecnología de mayor calidad o capacidad. Esto puede significar una mayor eficiencia, durabilidad, o capacidades adicionales.

Rango medio: Representa una opción intermedia en términos de costos. Incluye soluciones que balancean la eficiencia y el costo, utilizando equipos y tecnología de buena calidad.

Rango bajo: Soluciones menos costosas. Utiliza equipos y tecnología más básicos o menos avanzados, lo cual reduce los costos de inversión pero puede afectar la eficiencia o capacidad de la EBAR.

La Tabla 8 presenta los parámetros para la ecuación del costo de la EBAR, la cual se calcula utilizando la ecuación 2:

$$C = C_o + m * P \quad (2)$$

donde: C : costo de inversión de la EBAR (dólares).

C_o : costo inicial de la EBAR tomado de la tabla 8.

m : costo por cada kW de potencia (\$/kW) tomado de la tabla 8.

P : potencia de la EBAR (kW).

Tabla 8. Parámetros de la ecuación 2 para estimar el costo de la EBAR.

Adaptado de: Concello de Carral. (2023). Estudio para el análisis de alternativas de configuración de esquemas de saneamiento en el ayuntamiento de Carral.

Parámetro	Rango Alto	Rango Medio	Rango Bajo
Co (\$)	16323	18053	27205
m (\$/kW)	5441	7030	7617

Para el cálculo del costo de inversión, se utilizarán los parámetros correspondientes al rango medio. La ecuación 3 es utilizada para este cálculo:

$$C = 18053 + 7030 * P \quad (3)$$

donde: C: costo de inversión de la EBAR (dólares).

P: Potencia de la EBAR (kW).

3.7.4. Estimación del costo de inversión de PTARs

Para estimar el costo de inversión de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs), se emplearán las ecuaciones proporcionadas por el Concello de Carral (2023). Al igual que con las EBARs, se distinguen tres rangos según la tecnología de tratamiento:

Rango 1: Incluye soluciones tecnológicas avanzadas que emplean equipos y maquinaria sofisticados, lo cual las hace más costosas pero potencialmente más eficientes y rápidas, como los tratamientos por lodos activados o los reactores UASB.

Rango 2: Representa una solución intermedia entre tecnología avanzada y métodos naturales de depuración. Ejemplos incluyen filtros biológicos y lagunas aireadas.

Rango 3: Se refiere a soluciones basadas en procesos naturales para la depuración, como humedales y lagunas de estabilización. Estas opciones son menos costosas al requerir menos equipos y maquinaria avanzada, aunque suelen necesitar más espacio y tiempo para completar el proceso de tratamiento.

El cálculo del costo de inversión se basa en la población a ser servida, utilizando la ecuación 4 y los parámetros específicos de la Tabla 9:

$$C = a * P_{ob}^{1+b} \quad (4)$$

donde: C: costo de inversión de la PTAR (dólares).

a y b: Parámetros de la ecuación tomados de la tabla 9.

Pob: Población (hab).

Tabla 9. Parámetros de la ecuación 4 para estimar el costo de la EBAR.

Parámetro	Rango Alto	Rango Medio	Rango Bajo
a	17,629	6,051	1,324
b	-0.483	-0.375	-0.237

Para este caso, se usarán los parámetros correspondientes al rango bajo, que es la tecnología de las PTARs de la zona. Por lo tanto, la ecuación 5 se usará para el cálculo de los costos de inversión de las PTARs:

$$C = 1324 * Pob^{1-0.237} \quad (5)$$

donde: C: costo de inversión de la PTAR (dólares).

Pob: Población (hab).

3.8. Cálculo del costo de operación de mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento corresponden a aquellos que demandará el proyecto para su eficiente funcionamiento. Para su estimación se considerarán los sueldos de todo el personal a cargo, viabilidad económica de los sueldos por año de operación y mantenimiento, fondos de reserva, IESS patronal, y demás cuestiones sujetas a la ley. También se tomará en cuenta los insumos requeridos, suministros de oficina y varios.

3.8.1. Costo de operación de mantenimiento de colectores

Los colectores correspondientes a las tuberías de las redes internas, externas e impulsión, tomaron en cuenta los siguientes costos de operación y mantenimiento durante el periodo de diseño:

- Mano de obra calificada (MOC). Es el personal especializado que ha recibido cierto grado de instrucción para desempeñar sus funciones respectivas: Ingeniero Director, Ingeniero Sanitario y Secretaria.
- Mano de obra no calificada (MONC). Es el personal que labora en actividades que no requieren de mayor especialización, para el caso de colectores se toman en cuenta los Plomeros - Gasfiteros, Operadores, Jornaleros y Guardianes.
- Costos de materiales e insumos (% de obra civil). Materiales requeridos para el mantenimiento (tuberías de repuesto, materiales extra , etc)

- Suministros de oficina y equipo. Arriendo de oficina, suministros de oficina y sistema de computación.
- Varios. Ropa de trabajo y herramientas menores

3.8.1. Costo de operación de mantenimiento de EBARs

Para el caso de Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales (EBARs), se toman en cuenta los siguientes costos:

- Mano de obra calificada (MOC). Ingeniero Mecánico, Ayudante de Ingeniero.
- Mano de obra no calificada (MONC). Plomeros - Gasfiteros y Ayudante de Plomero
- Costos de materiales e insumos (% de obra civil). Materiales requeridos para el mantenimiento (repuestos mecánicos, piezas eléctricas, etc)
- Consumo eléctrico. En KW de la bomba en funcionamiento
- Suministros de oficina y equipo.
- Varios. Ropa de trabajo y herramientas menores

3.8.1. Costo de operación de mantenimiento de PTARs

De la misma manera, se tiene para las PTARs los siguientes costes de operación y mantenimiento durante el periodo de diseño:

- Mano de obra calificada (MOC). Es el personal especializado que ha recibido cierto grado de instrucción para desempeñar sus funciones respectivas: Ingeniero Director, Ingeniero Sanitario y Secretaria.
- Mano de obra no calificada (MONC). Es el personal que labora en actividades que no requieren de mayor especialización, para el caso de colectores se toman en cuenta los Plomeros - Gasfiteros, Operadores, Jornaleros y Guardianes.
- Costos de materiales e insumos (% de obra civil). Materiales requeridos para el mantenimiento (tuberías de repuesto, materiales extra , etc)
- Suministros de oficina y equipo. Arriendo de oficina, suministros de oficina y sistema de computación.
- Varios. Ropa de trabajo y herramientas menores

4. CAPÍTULO 4: Resultados y Discusiones

4.2. Alternativa 1

La presente alternativa cuenta con un total de 6 aglomeraciones de diferentes núcleos, como se puede observar en la figura 14. Las PTARs localizadas en cada una de las aglomeraciones están señaladas dentro de un rectángulo de borde negro. Lo más importante de analizar son los núcleos que se conectan entre sí. Empezando desde el sur de la parroquia, se observa que hay un solo grupo, D, con solución autónoma y su respectiva PTAR, que conforma una aglomeración. Esto se debe a que dicho lugar se encuentra alejado del resto a una distancia significativamente extensa (alrededor de unos 2 kilómetros de los grupos más cercanos, J y W). También se encuentra solo el grupo “AN” ubicado más al norte de D y además ya existe una PTAR, la PTAR Monjas. Ningún grupo se puede unir a AN, a menos que se utilice bombeo, pero aún sigue siendo un tramo largo (alrededor de 1.4 km del grupo más cercano AF). Por otro lado, se presenta la siguiente aglomeración a_1, conformada por los grupos G, W, X, M, K, L, C, J y B, dentro de la cual se presentan tramos de bombeo y a gravedad, cumpliendo con todos los requisitos ya mencionados de cercanía, puntos de desfogue, tamaño y topografía. Siguiendo hacia el norte, se encuentra otra aglomeración a_2 de los grupos E, F, AH, AK y AM también con tramos a gravedad y bombeo. En la parte central de la parroquia, se encuentra la aglomeración a_6, la más grande y con los interceptores más extensos que también utiliza una PTAR existente. En esta concentración se encuentran los grupos AG, AE, AO, AA, AJ, Z, U, V, H e I, que cuentan con propuestas de interceptores a bombeo y gravedad. Al este de la parroquia, se puede encontrar otra aglomeración a_5 que cuenta con los grupos AF, AC, AB, AK, Y, P y A. En la parte sureste de la parroquia, se encuentran aglomerados los grupos AN, R y Q, que de igual forma concentran el flujo de aguas residuales en una PTAR existente. Por último, al norte de Quingeo, se encuentra la última aglomeración de los grupos O, N, AI, T y S.

Cada aglomeración se determinó según los criterios ya mencionados, y a partir de esta alternativa, que identifica a la opción más centralizada, se pueden subdividir en opciones cada vez más descentralizadas, obteniendo las siguientes alternativas hasta llegar a la opción más descentralizada que corresponde a la Alternativa 3. En las tablas 10, 11, 12, 13, 14 y 15 se presenta la composición de cada aglomeración, la longitud de las conducciones a gravedad, las conducciones a gravedad y bombeo, el tipo de terreno por el que pasa la red interna, el tipo de terreno por el que pasa la red externa, y los datos de altura y longitud de las líneas de impulsión para el caso de las EBARs.

En resumen, de esta alternativa:

- Aglomeraciones: 6
- Núcleos autónomos: 2
- PTARs existentes: 3
- PTARs nuevas: 5
- EBARs: 9

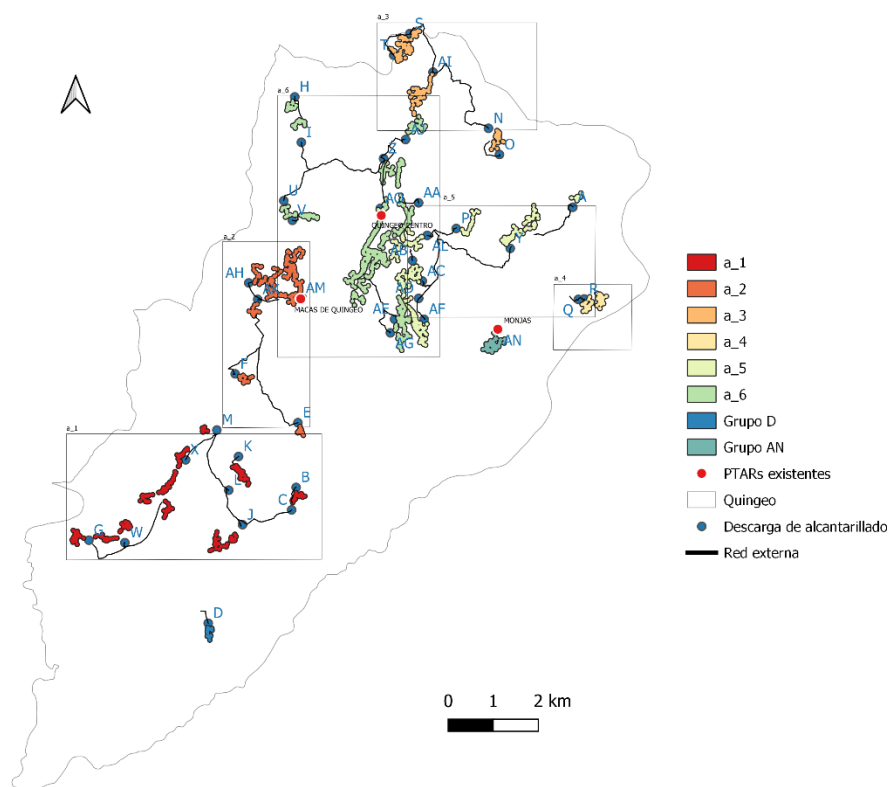


Figura 14. Resultados de las aglomeraciones y núcleos autónomos para la Alternativa 1.

Tabla 10. Composición de las aglomeraciones y núcleos de saneamiento autónomos para Alternativa 1.

Aglomeración	Grupos	Núcleos
Grupo D	D	5
Grupo AN	AN	35
a_1	B	17
	C	24
	G	2
	J	33
	K	31
	L	1
	M	10
	W	21
	X	12
		16
		20

		28
a_2	E	3
	F	13
	AH	41
	AK	11
	AM	41
a_3	N	30
	O	
	S	38
	T	
	AI	37
a_4	Q	23
		26
	R	23
a_5	A	4
	Y	25
		36
	P	29
	AC	42
	AD	42
	AF	42
	AB	42
a_6	AL	39
	Z	22
		32
	AE	42
	AG	42
	AJ	34
	AO	6
		9
		15
		18
		40
	I	7
	H	8
	U	14
		19
	V	19
	AA	39

Tabla 11. Longitud de conducciones a gravedad para Alternativa 1.

Aglomeración	Suma de Longitud Int/Ext		Total general (m)
	Interior (m)	Exterior (m)	
Grupo D	752.60	378.82	1131.42
Grupo AN	3342.88	0.00	3342.88
a_1	17128.51	7510.46	24638.96
a_2	14075.27	4047.31	18122.58
a_3	9500.79	5528.88	15029.67
a_4	2560.01	475.70	3035.70
a_5	18600.26	8887.28	27487.54
a_6	30782.59	3478.04	34260.63
Total general	96742.91	30306.48	127049.39
	76.15	23.85	

Tabla 12. Longitudes totales de conducciones a gravedad y bombeo para Alternativa 1.

Aglomeración	Suma de Longitud Int/Ext		Total general (m)
	Bombeo (m)	Gravedad (m)	
Grupo D	0	1131.42	1131.42
Grupo AN	0	3342.88	3342.88
a_1	557.22	24638.96	25196.18

a_2	1061.611	18122.58	19184.19
a_3	663.8472	15029.67	15693.51
a_4	0	3035.70	3035.70
a_5	0	27487.54	27487.54
a_6	1920.2845	34260.63	36180.92
Total General	4202.96	127049.39	131252.35
	3.20%	96.80%	

Tabla 13. Longitud conducciones por gravedad, bombeo y zonas de trazado para red interior para Alternativa 1.

Aglomeración	Interior (m)		Circulación (m)			Circulación (%)			Total Interior (m)
	Bombeo	Gravedad	Campo	Ribera	Calle/Carretera	Campo	Ribera	Calle/Carretera	
Grupo D		752.60	59.44	0.00	693.16	7.90%	0.00%	92.10%	752.60
Grupo AN		3342.88	1437.72	0.00	1905.16	43.01%	0.00%	56.99%	3342.88
a_1		17128.51	9716.60	1284.02	6127.88	56.73%	7.50%	35.78%	17128.51
a_2		14075.27	8611.68	1394.64	4068.95	61.18%	9.91%	28.91%	14075.27
a_3		9500.79	6369.94	986.20	2144.65	67.05%	10.38%	22.57%	9500.79
a_4		2560.01	1331.41	0.00	1228.59	52.01%	0.00%	47.99%	2560.01
a_5		18600.26	9840.54	1587.95	7171.77	52.91%	8.54%	38.56%	18600.26
a_6		30782.59	23676.38	818.48	6287.73	76.91%	2.66%	20.43%	30782.59
Total General	0	96742.91	61043.71	6071.30	29627.89	63.10%	6.28%	30.63%	96742.91

Tabla 14. Longitud conducciones por gravedad, bombeo y zonas de trazado para red exterior para Alternativa 1.

Aglomeración	Exterior (m)		Circulación (m)			Circulación (%)			Total Exterior (m)
	Bombeo	Gravedad	Campo	Ribera	Calle/Carretera	Campo	Ribera	Calle/Carretera	
Grupo D		378.82	378.82	0.00	0.00	100.00%	0.00%	0.00%	378.82
Grupo AN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00
a_1	557.22	7510.46	4534.37	1953.30	1022.79	60.37%	26.01%	13.62%	8067.68
a_2	1061.61	4047.31	3500.52	349.65	197.14	86.49%	8.64%	4.87%	5108.92
a_3	663.85	5528.88	3360.93	1924.40	243.55	60.79%	34.81%	4.40%	6192.73
a_4		475.70	230.77	0.00	244.92	48.51%	0.00%	51.49%	475.70
a_5		8887.28	8887.28	0.00	0.00	100.00%	0.00%	0.00%	8887.28
a_6	1920.28	3478.04	3478.04	0.00	0.00	100.00%	0.00%	0.00%	5398.32
Total General	4202.96	30306.48	24370.73	4227.35	1708.40	80.41%	13.95%	5.64%	34509.45

Tabla 15. Resultados de parámetros para EBARS de Alternativa 1.

Aglomeración	Nombre	Longitud [m]	Altura [m]
a_1	BA11	359.63	-28.43
	BA12	197.59	-41.68
a_2	BA21	462.00	-80.41
	BA22	599.61	-85.82
a_3	BA31	663.85	-42.35
a_6	BA61	1413.52	-22.42
	BA62	506.77	-41.28
	BA63	601.08	-121.51
	BA64	228.08	-2.79

4.3. Alternativa 1.5

La alternativa 1.5 cuenta con un total de 11 aglomeraciones de diferentes núcleos y 4 núcleos autónomos (véase la figura 15). Para esta alternativa, los núcleos que se aglomeran lo hacen de la siguiente manera: empezando desde el sur de la parroquia, se ha conservado el grupo

D como independiente y con solución autónoma. A continuación, se encuentra la aglomeración “a_1”, que agrupa a los grupos G y W, X, M, K, L, C, J y B. De igual manera, la aglomeración “a_2” contiene a los grupos E y F. La aglomeración “a_3” agrupa los grupos AH, AM y AK. Al este de la parroquia, se encuentra la aglomeración “a_4”, que contiene los grupos Q y R, y la aglomeración “a_5”, que incluye los grupos O y N. La aglomeración “a_6” reúne a los grupos T, S y AI, mientras que la aglomeración “a_7” agrupa los grupos U y V. Finalmente, en el centro se encuentran las aglomeraciones “a_8”, “a_9”, “a_10” y “a_11”. De esta manera, la alternativa 1.5 es una opción más descentralizada que la primera alternativa, ya que cuenta con un mayor número de PTARs, lo que permite una mayor descentralización del saneamiento en la parroquia de Quingeo. Esta distribución favorece una mejor gestión de los recursos y una atención más específica a las necesidades de cada núcleo, mejorando así la eficiencia del sistema de saneamiento en general. Además, al considerar las características geográficas y demográficas de cada núcleo, se logra una planificación más equitativa y sostenible. En las tablas 16, 17, 18, 19, 20 y 21 se presenta la composición de cada aglomeración, la longitud de las conducciones a gravedad, las conducciones a gravedad y bombeo, el tipo de terreno por el que pasa la red interna, el tipo de terreno por el que pasa la red externa, y los datos de altura y longitud de las líneas de impulsión para el caso de las EBARs.

En resumen, de esta alternativa:

- Aglomeraciones: 11
- Núcleos autónomos: 4
- PTARs existentes: 3
- PTARs nuevas: 12
- EBARs: 7

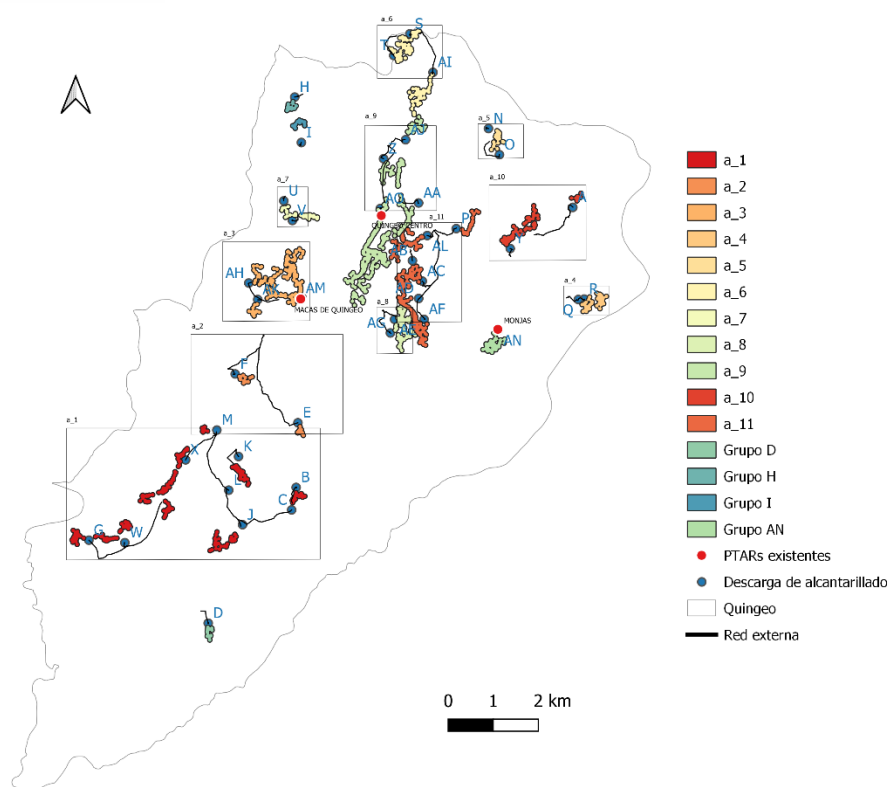


Figura 15. Resultados de las aglomeraciones y núcleos autónomos para la Alternativa 1.5.

Tabla 16. Composición de las aglomeraciones y núcleos de saneamiento autónomos para Alternativa 1.5.

Aglomeración	Grupos	Núcleos
Grupo D	D	5
Grupo H	H	8
Grupo I	I	7
Grupo AN	AN	35
a_1	B	17
	C	24
	G	2
	J	33
	K	31
	L	1
	M	10
	W	21
	X	12
		16
		20
		28
a_2	E	3
	F	13
a_3	AH	41
	AK	11
	AM	41
a_4	Q	23
	R	26
		23
a_5	N	30
	O	

a_6	S	38
	T	
	AI	37
a_7	U	14
		19
	V	19
a_8	AE	42
	AG	42
a_9	Z	22
		32
	AJ	34
	AO	6
		9
		15
		18
		40
a_10	AA	39
	A	4
	Y	25
		36
a_11	P	29
	AC	42
	AD	42
	AF	42
	AB	42
	AL	39

Tabla 17. Longitud de conducciones a gravedad para Alternativa 1.5.

Aglomeración	Suma de Longitud Int/Ext		Total general (m)
	Interior (m)	Exterior (m)	
Grupo D	752.60	378.82	1131.42
Grupo H	990.60	193.23	1183.83
Grupo I	1540.81	75.79	1616.60
Grupo AN	3342.88		3342.88
a_1	17128.51	7510.46	24638.96
a_2	1781.41	4295.02	6076.42
a_3	12293.86	1040.64	13334.50
a_4	2560.01	475.70	3035.70
a_5	2383.82	71.89	2455.71
a_6	7117.45	1764.18	8881.63
a_7	2823.44	106.57	2930.00
a_8	6023.87	609.12	6632.99
a_9	19403.87	914.83	20318.70
a_10	5860.29	1661.47	7521.75
a_11	12739.36	3889.87	16629.23
Total general	96742.77	22987.58	119730.35
	80.80	19.20	%

Tabla 18. Longitudes totales de conducciones a gravedad y bombeo para Alternativa 1.5.

Aglomeración	Suma de Longitud Int/Ext		Total general (m)
	Bombeo (m)	Gravedad (m)	
Grupo D		1131.42	1131.42
Grupo H		1183.83	1183.83
Grupo I		1616.60	1616.60
Grupo AN		3342.88	3342.88
a_1	890.38	24638.96	25529.34
a_2	462.00	6076.42	6538.42
a_3		13334.50	13334.50
a_4		3035.70	3035.70
a_5	645.74	2455.71	3101.46

a_6		8881.63	8881.63
a_7	228.08	2930.00	3158.08
a_8		6632.99	6632.99
a_9	1904.15	20318.70	22222.85
a_10		7521.75	7521.75
a_11		16629.23	16629.23
Total General	4130.35	119730.35	123860.70
	3.33	96.67	

Tabla 19. Longitud conducciones por gravedad, bombeo y zonas de trazado para red interior para Alternativa 1.5.

Aglomeración	Interior (m)		Circulación (m)			Circulación (%)			Total Interior (m)
	Bombeo	Gravedad	Campo	Ribera	Calle/Cartera	Campo	Ribera	Calle/Cartera	
Grupo D		752.60	59.44		693.16	7.90%		92.10%	752.60
Grupo H		990.60	578.56		412.04	58.41%		41.59%	990.60
Grupo I		1540.81	487.39	204.53	848.89	31.63%	13.27%	55.09%	1540.81
Grupo AN		3342.88	1437.72		1905.16	43.01%		56.99%	3342.88
a_1		17128.51	9716.60	1284.02	6127.88	56.73%	7.50%	35.78%	17128.51
a_2		1781.41	1293.11	40.08	448.22	72.59%	2.25%	25.16%	1781.41
a_3		12293.86	7318.57	1354.56	3620.73	59.53%	11.02%	29.45%	12293.86
a_4		2560.01	1331.41		1228.59	52.01%		47.99%	2560.01
a_5		2383.82	1824.43		559.39	76.53%		23.47%	2383.82
a_6		7117.45	4545.99	986.20	1585.26	63.87%	13.86%	22.27%	7117.45
a_7		2823.44	1596.80	84.33	1142.31	56.56%	2.99%	40.46%	2823.44
a_8		6023.87	4311.50	529.63	1182.75	71.57%	8.79%	19.63%	6023.87
a_9		19403.87	16702.13		2701.74	86.08%		13.92%	19403.87
a_10		5860.29	3702.50	438.21	1719.57	63.18%	7.48%	29.34%	5860.29
a_11		12739.36	6137.77	1149.40	5452.19	48.18%	9.02%	42.80%	12739.36
Total General		96742.77	61043.92	6070.97	29627.89	63.10%	6.28%	30.63%	96742.77

Tabla 20. Longitud conducciones por gravedad, bombeo y zonas de trazado para red exterior para Alternativa 1.5.

Aglomeración	Exterior (m)		Circulación (m)			Circulación (%)			Total Exterior (m)
	Bombeo	Gravedad	Campo	Ribera	Calle/Cartera	Campo	Ribera	Calle/Cartera	
Grupo D		378.82	378.82			100.00%			378.82
Grupo H		193.23	193.23			100.00%			193.23
Grupo I		75.79	75.79			100.00%			75.79
Grupo AN									0.00
a_1	890.38	7510.46	4534.37	1953.30	1022.79	60.37%	26.01%	13.62%	8400.84
a_2	462.00	4295.02	3635.60	304.54	354.87	84.65%	7.09%	8.26%	4757.02
a_3		1040.64	1040.64			100.00%			1040.64
a_4		475.70	230.77		244.92	48.51%		51.49%	475.70
a_5	645.74	71.89	71.89			100.00%			717.64
a_6		1764.18	689.36	900.71	174.11	39.08%	51.06%	9.87%	1764.18
a_7	228.08	106.57	106.57			100.00%			334.65
a_8		609.12	359.99	235.34	13.79	59.10%	38.64%	2.26%	609.12
a_9	1904.15	914.83	344.60	498.43	71.81	37.67%	54.48%	7.85%	2818.98
a_10		1661.47	1524.52	121.70	15.25	91.76%	7.32%	0.92%	1661.47
a_11		3889.87	2904.19	646.06	339.62	74.66%	16.61%	8.73%	3889.87
Total General	4130.35	22987.58	16090.34	4660.08	2237.16	70.00%	20.27%	9.73%	27117.93

Tabla 21. Resultados de parámetros para EBARS de Alternativa 1.5.

Aglomeración	Nombre	Longitud [m]	Altura [m]
a_1	BA11	426.51	-28.32
	BA12	463.87	-44.06
a_2	BA21	462.00	-80.41

a_5	BA51	645.74	-42.35
a_7	BA71	228.08	-2.79
a_9	BA91	490.63	-41.28
	BA92	1413.52	-22.42

4.4. Alternativa 2

Esta es la alternativa intermedia, que agrupa los núcleos a la mitad. A partir de esta alternativa ya no existirán EBARS en el resto de alternativas, por lo que serán netamente a gravedad mediante interceptores. Cuenta con un total de 7 aglomeraciones y 17 grupos con solución autónoma, como se muestra en la figura 16. En las tablas 22, 23, 24 y 25 se presenta la composición de cada aglomeración, la longitud de las conducciones a gravedad, el tipo de terreno por el que pasa la red interna y el tipo de terreno por el que pasa la red externa respectivamente. Los núcleos que tendrán su PTAR corresponden a los grupos A, B, C, D, E, F, H, I, K, N, O, U, V, Y, AA, AO y AN, por estar muy alejados del resto de los núcleos.

En resumen, de esta alternativa:

- Aglomeraciones: 7
- Núcleos autónomos: 17
- PTARs existentes: 3
- PTARs nuevas: 21
- EBARS: 0

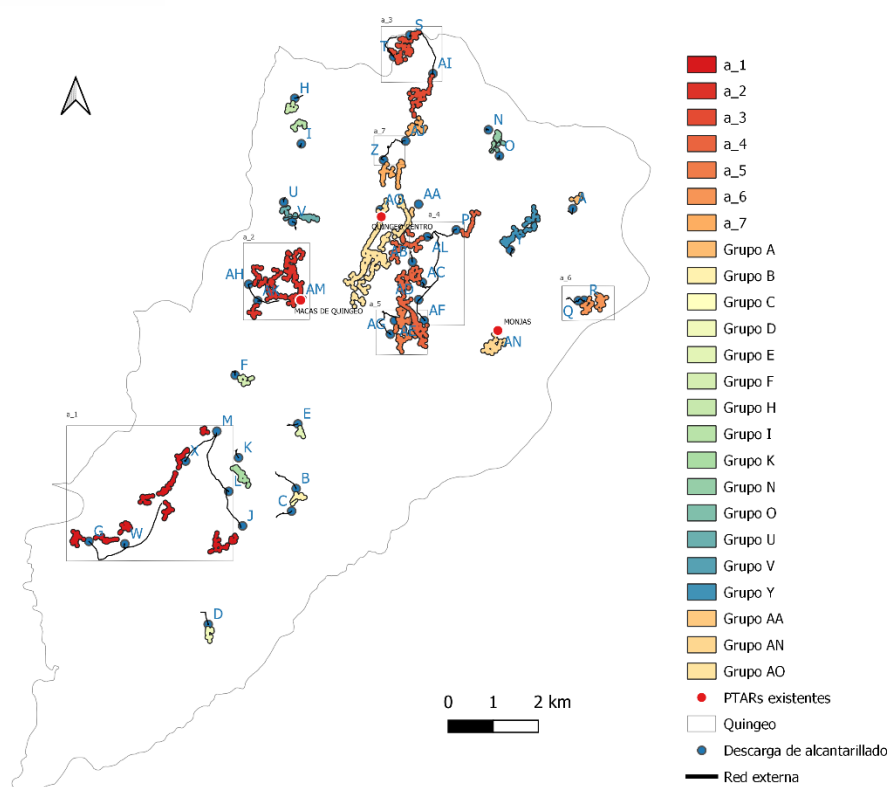


Figura 16. Resultados de las aglomeraciones y núcleos autónomos para la Alternativa 2.

Tabla 22. Composición de las aglomeraciones y núcleos de saneamiento autónomos para Alternativa 2.

Aglomeración	Grupos	Núcleos
Grupo A	A	4
Grupo B	B	17
Grupo C	C	17
Grupo D	D	5
Grupo E	E	3
Grupo F	F	13
Grupo H	H	8
Grupo I	I	7
Grupo K	K	31
Grupo N	N	30
Grupo O	O	30
Grupo U	U	14
Grupo V	V	19
Grupo Y	Y	25
Grupo AA	AA	36
Grupo AN	AN	39
Grupo AO	AO	6
		9
		15
		18
		40
a_1	G	24

	W	10
		21
	J	2
		33
	M	1
	L	31
	X	12
		16
		20
		28
a_2	AH	41
	AK	11
	AM	41
a_3	S	38
	T	38
	AI	37
a_4	P	29
	AB	42
	AL	39
	AC	42
	AD	42
	AF	42
a_5	AE	42
	AG	42
a_6	Q	23
		26
a_7	R	23
	Z	22
		32
	AJ	34

Tabla 23. Longitud de conducciones a gravedad para Alternativa 2.

Aglomeración	Suma de Longitud Int/Ext		Total general (m)
	Interior (m)	Exterior (m)	
Grupo A	1197.58	125.05	1322.62
Grupo B	970.84	632.24	1603.08
Grupo C	179.28	386.78	566.06
Grupo D	752.60	378.82	1131.42
Grupo E	875.58	247.64	1123.22
Grupo F	905.82	132.54	1038.36
Grupo H	990.60	193.23	1183.83
Grupo I	1540.81	75.79	1616.60
Grupo K	744.45	206.33	950.78
Grupo N	1479.87	71.89	1551.76
Grupo O	903.95	77.17	981.13
Grupo U	2492.92	106.57	2599.49
Grupo V	330.52	229.53	560.05
Grupo Y	4663.32	241.81	4905.13
Grupo AA	536.04	21.99	558.03
Grupo AN	3342.88	0.00	3342.88
Grupo AO	13361.78	0.00	13361.78
a_1	15233.93	6148.64	21382.58
a_2	12293.86	1040.64	13334.50
a_3	7117.45	2439.85	9557.30
a_4	12739.36	3889.87	16629.23
a_5	6023.87	609.12	6632.99
a_6	2560.01	475.70	3035.70
a_7	5506.05	914.83	6420.89
Total general	96743.39	18646.02	115389.41
21.00	83.84%	16.16%	

Tabla 24. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red interior de la Alternativa 2.

Aglomeración	Interior (m)	Circulación (m)			Circulación (%)		
	Gravedad	Campo	Ribera	Calle/Carretera	Campo	Ribera	Calle/Carretera
Grupo A	1197.58	822.29	5.84	369.44	68.66%	0.49%	30.85%
Grupo B	970.84	365.16	80.53	525.16	37.61%	8.29%	54.09%
Grupo C	179.28	179.28			100.00%		
Grupo D	752.60	59.44		693.16	7.90%		92.10%
Grupo E	875.58	617.13	40.08	218.37	70.48%	4.58%	24.94%
Grupo F	905.82	675.98		229.85	74.63%		25.37%
Grupo H	990.60	578.56		412.04	58.41%		41.59%
Grupo I	1540.81	487.39	204.53	848.89	31.63%	13.27%	55.09%
Grupo K	744.45	228.20		516.25	30.65%		69.35%
Grupo N	1479.87	1289.59		190.28	87.14%		12.86%
Grupo O	903.95	534.84		369.11	59.17%		40.83%
Grupo U	2492.92	1266.28	84.33	1142.31	50.80%	3.38%	45.82%
Grupo V	330.52	330.52			100.00%		
Grupo Y	4663.32	2880.48	432.71	1350.13	61.77%	9.28%	28.95%
Grupo AA	536.04	536.04			100.00%		
Grupo AN	3342.88	13361.78			399.71%		
Grupo AO	13361.78	1437.72		1905.16	10.76%		14.26%
a_1	15233.93	8943.96	1203.50	5086.47	58.71%	7.90%	33.39%
a_2	12293.86	7318.57	1354.56	3620.73	59.53%	11.02%	29.45%
a_3	7117.45	4545.99	986.20	1585.26	63.87%	13.86%	22.27%
a_4	12739.36	6137.77	1149.40	5452.19	48.18%	9.02%	42.80%
a_5	6023.87	4311.50	529.63	1182.75	71.57%	8.79%	19.63%
a_6	2560.01	1331.41		1228.59	52.01%		47.99%
a_7	5506.05	2804.31		2701.74	50.93%		49.07%
Total General	96743.39	61044.19	6071.30	29627.89	63.10%	6.28%	30.63%

Tabla 25. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red exterior de la Alternativa 2.

Aglomeración	Exterior (m)	Circulación (m)			Circulación (%)		
	Gravedad	Campo	Ribera	Calle/Carretera	Campo	Ribera	Calle/Carretera
Grupo A	125.05	125.05			100.00%		
Grupo B	632.24	632.24			100.00%		
Grupo C	386.78	172.45	214.33		44.59%	55.41%	
Grupo D	378.82	378.82			100.00%		
Grupo E	247.64	247.64			100.00%		
Grupo F	132.54	132.54			100.00%		
Grupo H	193.23	193.23			100.00%		
Grupo I	75.79	75.79			100.00%		
Grupo K	206.33	106.38		99.95	51.56%		48.44%
Grupo N	71.89	71.89			100.00%		
Grupo O	77.17	77.17			100.00%		
Grupo U	106.57	106.57			100.00%		
Grupo V	229.53	229.53			100.00%		
Grupo Y	241.81	241.81			100.00%		
Grupo AA	21.99	21.99			100.00%		
Grupo AN							
Grupo AO							
a_1	6148.64	3821.33	1304.52	1022.79	62.15%	21.22%	16.63%
a_2	1040.64	1040.64			100.00%		
a_3	2439.85	1357.68	1032.78	49.39	55.65%	42.33%	2.02%
a_4	3889.87	2904.19	646.06	339.62	74.66%	16.61%	8.73%
a_5	609.12	359.99	235.34	13.79	59.10%	38.64%	2.26%
a_6	475.70	230.77		244.92	48.51%		51.49%

a_7	914.83	344.60	498.43	71.81	37.67%	54.48%	7.85%
Total General	18646.02	12872.29	3931.46	1842.27	69.04%	21.08%	9.88%

4.5. Alternativa 2.5

Esta es la última alternativa intermedia cercana a la descentralizada. Se tiene un total de 8 aglomeraciones (véase figura 17). El resto corresponde grupos con soluciones autónomas, que son 23 y corresponden a los núcleos A, B, C, D, E, F, H, I, J, K, L, N, O, U, V, W, Y, Z, AI, AJ, AM, AN, AO. En las tablas 26, 27, 28 y 29 se presenta la composición de cada aglomeración, la longitud de las conducciones a gravedad, el tipo de terreno por el que pasa la red interna y el tipo de terreno por el que pasa la red externa respectivamente.

En resumen, de esta alternativa:

- Aglomeraciones: 8
- Núcleos autónomos: 23
- PTARs existentes: 3
- PTARs nuevas: 28
- EBARs: 0

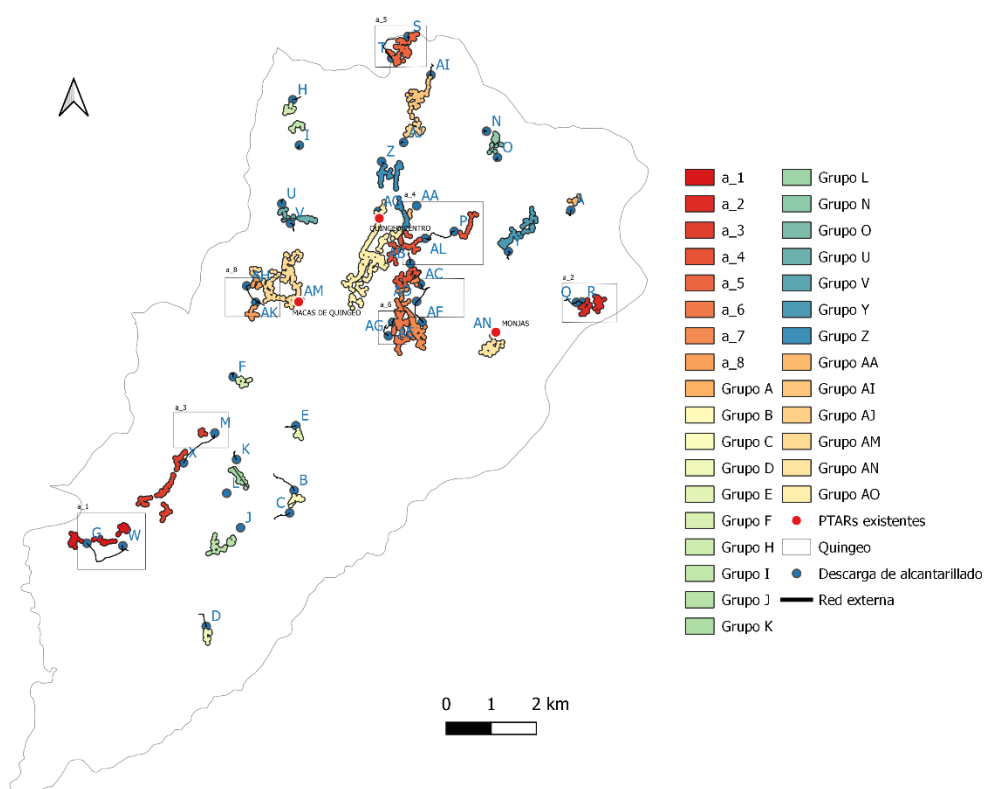


Figura 17. Resultados de las aglomeraciones y núcleos autónomos para la Alternativa 2.5.

Tabla 26. Composición de las aglomeraciones y núcleos de saneamiento autónomos para Alternativa 2.5.

Aglomeración	Grupos	Núcleos
A	A	4
B	B	17
C	C	17
D	D	5
E	E	3
F	F	13
H	H	8
I	I	7
J	J	2
		33
K	K	31
L	L	31
N	N	30
O	O	30
U	U	14
		19
V	V	19
Y	Y	25
		36
Z	Z	22
		32
AA	AA	39
AI	AI	37
AJ	AJ	34
AM	AM	41
AN	AN	35
		6
		9
AO	AO	15
		18
		40
	G	24
a_1	W	10
		21
	Q	23
a_2	R	26
		23
	M	1
		12
a_3	X	16
		20
		28
	P	29
a_4	AB	42
	AL	39
	T	38
a_5	S	38
	AE	42
a_6	AG	42
	AC	42
a_7	AD	42
	AF	42
	AH	41
a_8	AK	11

Tabla 27. Longitud de conducciones a gravedad para Alternativa 2.5.

Aglomeración	Suma de Longitud Int/Ext	Total general (m)
--------------	--------------------------	-------------------

	Interior (m)	Exterior (m)	
A	1197.58	125.05	1322.62
B	970.84	632.24	1603.08
C	179.28	386.78	566.06
D	752.60	378.82	1131.42
E	875.58	247.64	1123.22
F	905.82	132.54	1038.36
H	1766.81	675.49	2442.29
I	990.60	193.23	1183.83
J	1540.81	75.79	1616.60
K	2819.62	110.80	2930.42
L	744.45	206.33	950.78
N	1702.44	627.33	2329.77
O	903.95	77.17	981.13
U	2492.92	106.57	2599.49
V	330.52	229.53	560.05
Y	4663.32	241.81	4905.13
Z	4068.55	62.75	4131.29
AA	536.04	21.99	558.03
AI	3344.13	282.22	3626.35
AJ	1437.50	63.41	1500.92
AM	10599.76	0.00	10599.76
AN	3342.88	0.00	3342.88
AO	13361.78	0.00	13361.78
a_1	4676.01	1419.42	6095.43
a_2	2560.01	524.28	3084.29
a_3	6035.87	1036.90	7072.77
a_4	7572.33	1185.82	8758.15
a_5	3773.32	685.84	4459.16
a_6	6023.87	1027.37	7051.24
a_7	5166.67	1300.74	6467.41
a_8	1694.10	755.25	2449.35
Total general	99403.13	12998.20	112401.33
	88.44%	11.56%	

Tabla 28. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red interior de la Alternativa 2.5.

Aglomeración	Interior (m)	Circulación (m)			Circulación (%)		
	Gravedad	Campo	Ribera	Calle/Carretera	Campo	Ribera	Calle/Carretera
A	1197.58	822.29	5.84	369.44	68.66%	0.49%	30.85%
B	970.84	365.16	80.53	525.16	37.61%	8.29%	54.09%
C	179.28	179.28			100.00%		
D	752.60	59.44		693.16	7.90%		92.10%
E	875.58	617.13	40.08	218.37	70.48%	4.58%	24.94%
F	905.82	675.98		229.85	74.63%		25.37%
H	1766.81	1169.88	94.81	502.12	66.21%	5.37%	28.42%
I	990.60	578.56		412.04	58.41%		41.59%
J	1540.81	487.39	204.53	848.89	31.63%	13.27%	55.09%
K	2819.62	1891.47		928.14	67.08%		32.92%
L	744.45	228.20		516.25	30.65%		69.35%
N	1702.44	1007.67		694.77	59.19%		40.81%
O	903.95	534.84		369.11	59.17%		40.83%
U	2492.92	1266.28	84.33	1142.31	50.80%	3.38%	45.82%
V	330.52	330.52			100.00%		
Y	4663.32	2880.48	432.71	1350.13	61.77%	9.28%	28.95%
Z	4068.55	1950.61		2117.94	47.94%		52.06%
AA	536.04	536.04			100.00%		
AI	3344.13	1736.93	769.27	837.94	51.94%	23.00%	25.06%
AJ	1437.50	853.70		583.80	59.39%		40.61%
AM	10599.76	6015.26	1158.59	3425.91	56.75%	10.93%	32.32%
AN	3342.88	1437.72		1905.16	43.01%		56.99%

AO	13361.78	13361.78			100.00%		
a 1	4676.01	2686.51	94.81	1894.69	57.45%	2.03%	40.52%
a 2	2560.01	1331.41		1228.59	52.01%		47.99%
a 3	6035.87	3358.30	1108.69	1568.87	55.64%	18.37%	25.99%
a 4	7572.33	3200.84	850.48	3521.00	42.27%	11.23%	46.50%
a 5	3773.32	2809.06	216.94	747.32	74.45%	5.75%	19.81%
a 6	6023.87	4311.50	529.63	1182.75	71.57%	8.79%	19.63%
a 7	5166.67	2936.56	298.92	1931.19	56.84%	5.79%	37.38%
a 8	1694.10	1303.31	195.97	194.83	76.93%	11.57%	11.50%
Total General	99403.13	61904.71	6166.11	31332.30	62.28%	6.20%	31.52%

Tabla 29. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red externa de la Alternativa 2.5.

Aglomeración	Exterior (m)	Circulación (m)			Circulación (%)		
	Gravedad	Campo	Ribera	Calle/Carretera	Campo	Ribera	Calle/Carretera
A	125.05	125.05			100.00%		
B	632.24	632.24			100.00%		
C	386.78	172.45	214.33		44.59%	55.41%	
D	378.82	378.82			100.00%		
E	247.64	247.64			100.00%		
F	132.54	132.54			100.00%		
H	675.49	58.58	585.41	31.50	8.67%	86.66%	4.66%
I	193.23	193.23			100.00%		
J	75.79	75.79			100.00%		
K	110.80	110.80			100.00%		
L	206.33	106.38		99.95	51.56%		48.44%
N	627.33	490.72		136.61	78.22%		21.78%
O	77.17	77.17			100.00%		
U	106.57	106.57			100.00%		
V	229.53	229.53			100.00%		
Y	241.81	241.81			100.00%		
Z	62.75	62.75			100.00%		
AA	21.99	21.99			100.00%		
AI	282.22	282.22			100.00%		
AJ	63.41	63.41			100.00%		
AM	0.00						
AN	0.00						
AO	0.00						
a 1	1419.42	627.63	585.41	206.38	44.22%	41.24%	14.54%
a 2	524.28	281.08		243.20	53.61%		46.39%
a 3	1036.90	1036.90			100.00%		
a 4	1185.82	551.57	392.19	242.06	46.51%	33.07%	20.41%
a 5	685.84	301.01	384.83		43.89%	56.11%	
a 6	1027.37	333.03		694.34	32.42%		67.58%
a 7	1300.74	494.11	806.63		37.99%	62.01%	
a 8	755.25	590.41	164.84		78.17%	21.83%	
Total General	12998.20	8199.50	3133.64	1665.06	63.08%	24.11%	12.81%

4.6. Alternativa 3

Esta es la opción más descentralizada, ya que cada grupo tiene su propia PTAR. En este caso, se ubicaron las PTAR y se trazaron y diseñaron las conducciones. Por lo tanto, existen un total de 41 grupos con solución autónoma (véase figura 18).

En resumen, esta alternativa destaca por su descentralización y autonomía en cada grupo. En las tablas 30, 31, 32 y 33 se presenta la composición de núcleos de cada grupo, la longitud de las conducciones a gravedad, el tipo de terreno por el que pasa la red interna y el tipo de terreno por el que pasa la red externa respectivamente.

En resumen, de esta alternativa:

- Aglomeraciones: 0
- Núcleos autónomos: 41
- PTARs existentes: 3
- PTARs nuevas: 38
- EBARs: 0

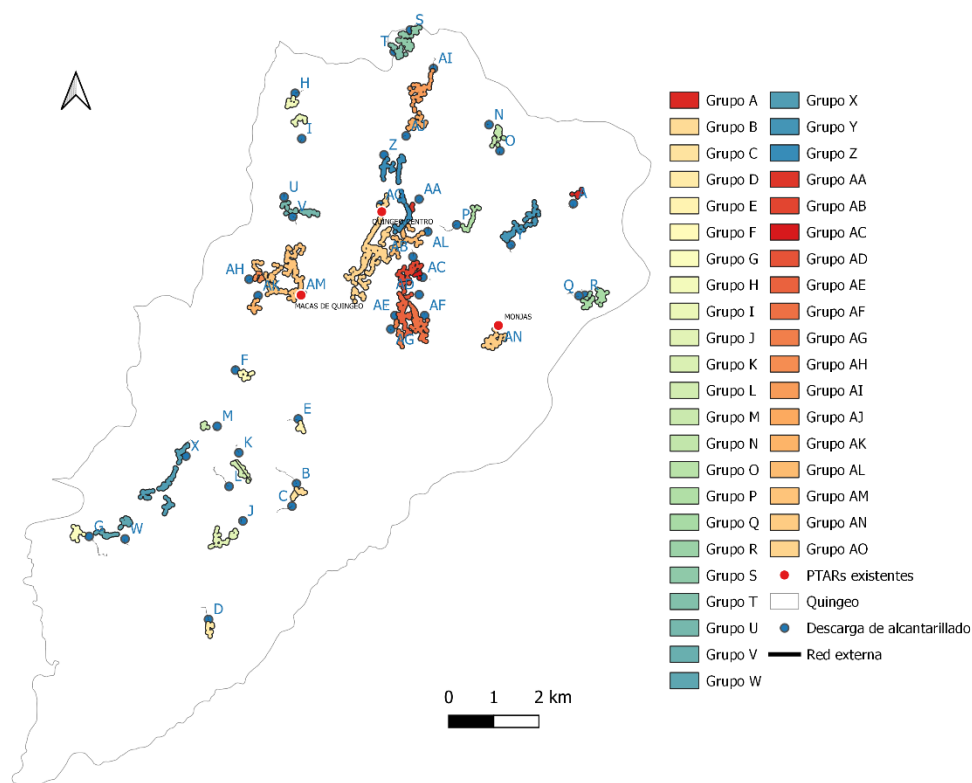


Figura 18. Resultados de las aglomeraciones y núcleos autónomos para la Alternativa 3.

Tabla 30. Composición de las aglomeraciones y núcleos de saneamiento autónomos para Alternativa 3.

Aglomeración	Grupos	Núcleos
A	A	4
B	B	17
C	C	17
D	D	5

E	E	3
F	F	13
G	G	24
H	H	8
I	I	7
J	J	2
		33
K	K	31
L	L	31
M	M	1
N	N	30
O	O	30
P	P	29
Q	Q	23
		26
R	R	23
S	S	38
T	T	38
U	U	14
		19
V	V	19
W	W	10
		21
		12
X	X	16
		20
		28
Y	Y	25
		36
Z	Z	22
		32
AA	AA	39
AB	AB	42
AC	AC	42
AD	AD	42
AE	AE	42
AF	AF	42
AG	AG	42
AH	AH	41
AI	AI	37
AJ	AJ	34
AK	AK	11
AL	AL	39
AM	AM	41
AN	AN	35
		6
AO	AO	9
		15
		18
		40

Tabla 31. Longitud de conducciones a gravedad para Alternativa 3.

Aglomeración	Suma de Longitud Int/Ext		Total general (m)
	Interior (m)	Exterior (m)	
A	1197.58	125.05	1322.62
B	970.84	632.24	1603.08
C	179.28	386.78	566.06
D	752.60	378.82	1131.42
E	875.58	247.64	1123.22
F	905.82	132.54	1038.36
G	1766.81	675.49	2442.29
H	990.60	193.23	1183.83
I	1540.81	75.79	1616.60
J	2819.62	110.80	2930.42
K	744.45	206.33	950.78
L	1702.44	627.33	2329.77
M	873.53	80.20	953.73
N	1479.87	71.89	1551.76
O	903.95	77.17	981.13
P	1698.97	506.49	2205.45
Q	2183.37	321.17	2504.54
R	376.64	234.96	611.60
S	2546.42	19.98	2566.39
T	1226.90	697.32	1924.22
U	2492.92	106.57	2599.49
V	330.52	229.53	560.05
W	2909.20	207.09	3116.29
X	5162.34	306.10	5468.44
Y	4663.32	241.81	4905.13
Z	4068.55	62.75	4131.29
AA	536.04	21.99	558.03
AB	2287.96	175.32	2463.29
AC	859.01	249.38	1108.39
AD	1670.50	162.30	1832.80
AE	3821.49	348.14	4169.64
AF	2637.52	187.33	2824.86
AG	2202.38	48.14	2250.51
AH	734.33	139.24	873.57
AI	3344.13	282.22	3626.35
AJ	1437.50	63.41	1500.92
AK	959.77	138.39	1098.16
AL	3585.40	123.99	3709.38
AM	10599.76	0.00	10599.76
AN	3342.88	0.00	3342.88
AO	13361.78	0.00	13361.78
Total general	96743.39	8894.90	105638.29
	91.58%	8.42%	

Tabla 32. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red interior de la Alternativa 3.

Aglomeración	Interior (m)	Circulación (m)			Circulación (%)		
	Gravedad	Campo	Ribera	Calle/Carretera	Campo	Ribera	Calle/Carretera
A	1197.58	822.29	5.84	369.44	68.66%	0.49%	30.85%
B	970.84	365.16	80.53	525.16	37.61%	8.29%	54.09%
C	179.28	179.28			100.00%		
D	752.60	59.44		693.16	7.90%		92.10%
E	875.58	617.13	40.08	218.37	70.48%	4.58%	24.94%
F	905.82	675.98		229.85	74.63%		25.37%
G	1766.81	1169.88	94.81	502.12	66.21%	5.37%	28.42%
H	990.60	578.56		412.04	58.41%		41.59%

I	1540.81	487.39	204.53	848.89	31.63%	13.27%	55.09%
J	2819.62	1891.47		928.14	67.08%		32.92%
K	744.45	228.20		516.25	30.65%		69.35%
L	1702.44	1007.67		694.77	59.19%		40.81%
M	873.53	644.35		229.18	73.76%		26.24%
N	1479.87	1289.59		190.28	87.14%		12.86%
O	903.95	534.84		369.11	59.17%		40.83%
P	1698.97	482.29	46.70	1169.97	28.39%	2.75%	68.86%
Q	2183.37	954.77		1228.59	43.73%		56.27%
R	376.64	376.64			100.00%		
S	2546.42	1799.10		747.32	70.65%		29.35%
T	1226.90	1009.96	216.94		82.32%	17.68%	
U	2492.92	1266.28	84.33	1142.31	50.80%	3.38%	45.82%
V	330.52	330.52			100.00%		
W	2909.20	1516.63		1392.57	52.13%		47.87%
X	5162.34	2713.96	1108.69	1339.69	52.57%	21.48%	25.95%
Y	4663.32	2880.48	432.71	1350.13	61.77%	9.28%	28.95%
Z	4068.55	1950.61		2117.94	47.94%		52.06%
AA	536.04	536.04			100.00%		
AB	2287.96	577.40	516.73	1193.84	25.24%	22.58%	52.18%
AC	859.01	632.28		226.72	73.61%		26.39%
AD	1670.50	1307.71		362.79	78.28%		21.72%
AE	3821.49	2323.99	430.54	1066.96	60.81%	11.27%	27.92%
AF	2637.52	996.93	298.92	1341.68	37.80%	11.33%	50.87%
AG	2202.38	1987.50	99.09	115.78	90.24%	4.50%	5.26%
AH	734.33	540.27	105.34	88.72	73.57%	14.35%	12.08%
AI	3344.13	1736.93	769.27	837.94	51.94%	23.00%	25.06%
AJ	1437.50	853.70		583.80	59.39%		40.61%
AK	959.77	763.04	90.62	106.10	79.50%	9.44%	11.05%
AL	3585.40	2141.15	287.06	1157.19	59.72%	8.01%	32.28%
AM	10599.76	6015.26	1158.59	3425.91	56.75%	10.93%	32.32%
AN	3342.88	1437.72		1905.16	43.01%		56.99%
AO	13361.78	13361.78			100.00%		
Total General	96743.39	61044.19	6071.30	29627.89	63.10%	6.28%	30.63%

Tabla 33. Longitud de conducciones a gravedad por zona de trazado para la red externa de la Alternativa 3.

Aglomeración	Exterior (m)	Circulación (m)			Circulación (%)		
	Gravedad	Campo	Ribera	Calle/Carretera	Campo	Ribera	Calle/Carretera
A	125.05	125.05			100.00%		
B	632.24	632.24			100.00%		
C	386.78	172.45	214.33		44.59%	55.41%	
D	378.82	378.82			100.00%		
E	247.64	247.64			100.00%		
F	132.54	132.54			100.00%		
G	675.49	58.58	585.41	31.50	8.67%	86.66%	4.66%
H	193.23	193.23			100.00%		
I	75.79	75.79			100.00%		
J	110.80	110.80			100.00%		
K	206.33	106.38		99.95	51.56%		48.44%
L	627.33	490.72		136.61	78.22%		21.78%
M	80.20	80.20			100.00%		
N	71.89	71.89			100.00%		
O	77.17	77.17			100.00%		
P	506.49	154.11		352.37	30.43%		69.57%
Q	321.17	76.15		245.03	23.71%		76.29%
R	234.96	234.96			100.00%		
S	19.98	19.98			100.00%		
T	697.32	476.38	49.78	171.16	68.32%	7.14%	24.54%
U	106.57	106.57			100.00%		

V	229.53	229.53			100.00%		
W	207.09	196.08		11.01	94.68%		5.32%
X	306.10	226.63		79.47	74.04%		25.96%
Y	241.81	241.81			100.00%		
Z	62.75	62.75			100.00%		
AA	21.99	21.99			100.00%		
AB	175.32	175.32			100.00%		
AC	249.38	249.38			100.00%		
AD	162.30	162.30			100.00%		
AE	348.14	78.77		269.38	22.62%		77.38%
AF	187.33	187.33			100.00%		
AG	48.14	48.14			100.00%		
AH	139.24	110.24		29.00	79.17%		20.83%
AI	282.22	282.22			100.00%		
AJ	63.41	63.41			100.00%		
AK	138.39	138.39			100.00%		
AL	123.99	49.51		74.47	39.93%		60.07%
AM	0.00						
AN	0.00						
AO	0.00						
Total General	8894.90	6545.43	849.52	1499.95	3215.94%	149.22%	434.84%

4.7. Costos de inversión

4.7.1. Costos de inversión de colectores

Se realizó el análisis de los costos de inversión de cada una de las alternativas mediante los rubros detallados en la sección 3.7. En la tabla 34 y la figura 19 se presentan los resultados de los costos de inversión de todos los colectores, tanto a gravedad como a bombeo de la red interna, externa e impulsión. Además, en la figura 20 se muestra una gráfica de barras que luego se sumará con los costos de inversión de EBARs y PTARs. Se puede observar claramente que los costos de los colectores interiores son los mismos, ya que estos corresponden a la red de alcantarillado de cada núcleo y siempre se mantienen en todas las alternativas, mientras que lo que los une son las redes externas. Al observar las redes externas, empezando por la Alternativa 1, se nota que tiene el costo de inversión más alto, ya que se requiere la construcción de largos interceptores para unir la mayor cantidad de núcleos. Además, por esto último, se tendrá la mayor cantidad de puntos de bombeo. A medida que se consideran las siguientes alternativas, el número de colectores a gravedad y de bombeo disminuye, ya que se avanza hacia un enfoque descentralizado. Por lo tanto, la red externa es más corta lo que reduce los costos.

Tabla 34. Valor para los costos de inversión de colectores a gravedad y bombeo para redes interiores y exteriores y línea de impulsión.

	Alternativa 1	Alternativa 1.5	Alternativa 2	Alternativa 2.5	Alternativa 3
Interior	\$10,556,324.60	\$10,556,324.60	\$10,556,324.60	\$10,556,324.60	\$10,556,324.60
Exterior	\$5,986,909.17	\$3,719,507.19	\$3,025,495.71	\$1,965,341.51	\$995,885.73
Impulsión	\$1,234,593.28	\$1,213,262.42	\$0.00	\$0.00	\$0.00
COLECTORES	\$17,777,827.05	\$14,275,831.79	\$13,581,820.31	\$12,521,666.11	\$11,552,210.33

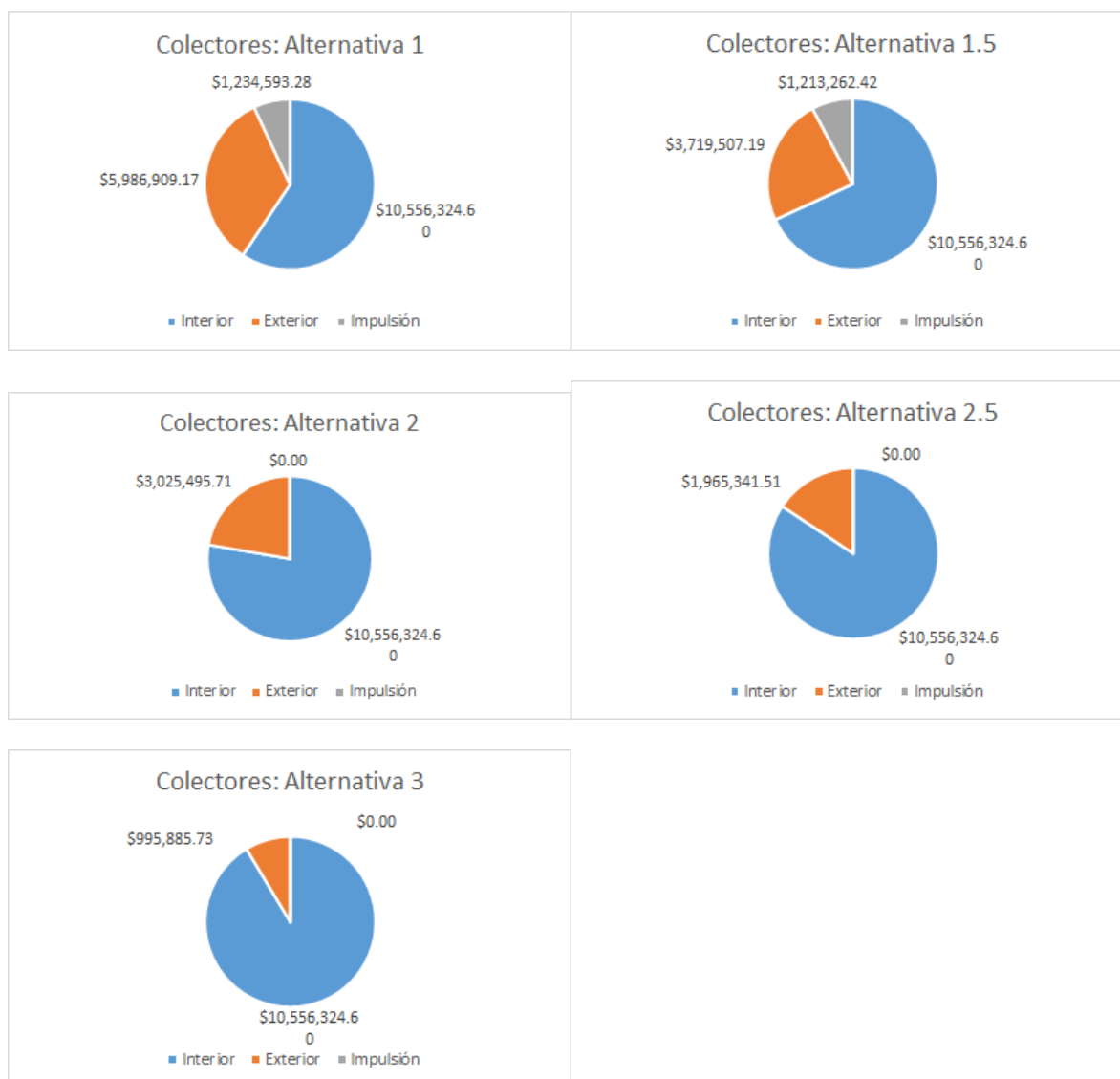


Figura 19. Costos de inversión de colectores a gravedad y bombeo para redes interiores y exteriores y línea de impulsión.

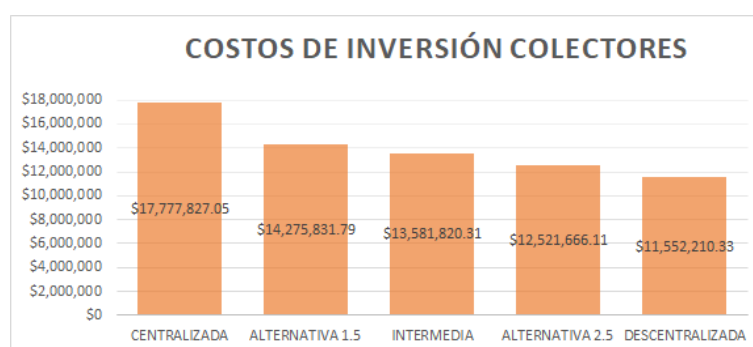


Figura 20. Costos de inversión de colectores a gravedad y bombeo.

4.7.2. Costos de inversión de EBARs

Aplicando la metodología para el cálculo de costos de inversión de las EBARs, se obtuvieron los resultados de las tablas 35 y 36 para las Alternativas 1 y 1.5, en las cuales se implementaron EBARs. Se puede observar que hay 9 y 7 EBARs en la Alternativa 1 y 1.5 respectivamente, ya que en esta se trata de unir todos los núcleos, lo que conlleva el mayor costo. Ambas alternativas tienen en común 5; sin embargo, el caudal de estas es distinto debido a que difieren en los núcleos que abarcan, lo que implica un mayor costo para mayor caudal debido a la potencia requerida por las bombas. Las EBARs comunes son BA11 y BA12 en la aglomeración a_1 para ambas alternativas, BA21 para la aglomeración a_2 de cada alternativa y las dos últimas BA61 y BA62 que son similares a la BA91 y BA92. Los costos totales para cada alternativa se muestran en la gráfica de barras de la figura 21, donde se puede ver la disminución de los costos.

Tabla 35. Cálculo del costo de inversión para las EBARs de la Alternativa 1.

Aglomeración	Nombre	Longitud [m]	Altura [m]	Q [l/s]	Hd [m]	Potencia [kW]	Costo [\$]
a_1	BA11	359.63	-28.43	3.30	28.440	2.296	33939.45
	BA12	197.59	-41.68	3.03	41.685	3.090	39479.61
a_2	BA21	462.00	-80.41	3.22	80.422	6.336	62126.19
	BA22	599.61	-85.82	6.88	85.885	14.461	118819.48
a_3	BA31	663.85	-42.35	3.2	42.368	3.317	41062.48
a_6	BA61	1413.52	-22.42	10.97	22.790	6.117	60597.67
	BA62	506.77	-41.28	3.58	41.297	3.617	43156.38
	BA63	601.08	-121.51	2.65	121.521	7.879	72893.50
	BA64	228.08	-2.79	1.88	2.792	0.128	18813.38
							\$490,888.11

Tabla 36. Cálculo del costo de inversión para las EBARs de la Alternativa 1.5.

Aglomeración	Nombre	Longitud [m]	Altura [m]	Q [l/s]	Hd [m]	Potencia [kW]	Costo [\$]
a_1	BA11	426.51	-28.32	2.60	28.332	1.733	\$30,008.91
	BA12	463.87	-44.06	2.33	44.067	2.416	\$34,771.55
a_2	BA21	462.00	-80.41	3.22	80.422	6.092	\$60,425.84
a_5	BA51	645.74	-42.35	3.2	42.367	3.190	\$40,172.03
a_7	BA71	228.08	-2.79	1.88	2.792	0.124	\$18,778.91
a_9	BA91	1413.52	-22.42	10.35	41.286	2.098	\$32,555.95
	BA92	490.63	-41.28	2.16	22.752	5.540	\$56,572.46
							\$273,285.65

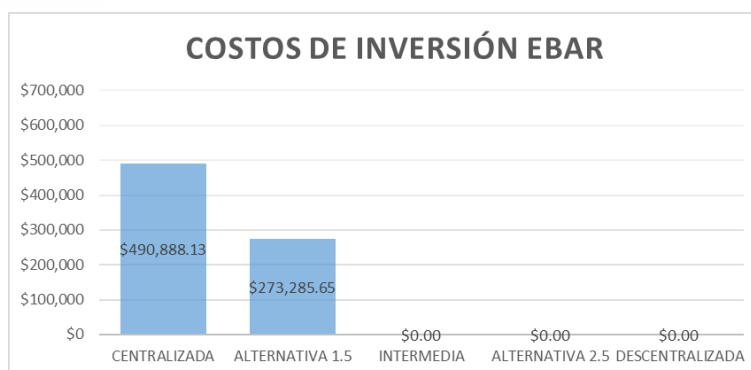


Figura 21. Costos de inversión de EBARs para cada alternativa.

4.7.3. Costos de inversión de PTARs

Aplicando la ecuación 5 para cada PTAR de cada aglomeración o núcleo aislado y, a su vez, para cada alternativa, se obtienen los costos totales por alternativa, los cuales se resumen en la tabla 37 y figura 22.

Tabla 37. Costos de inversión para las PTARs de cada alternativa.

	Alternativa 1	Alternativa 1.5	Alternativa 2	Alternativa 2.5	Alternativa 3
PTAR	\$1,239,349.61	\$2,036,288.86	\$2,372,522.37	\$2,626,634.77	\$2,953,124.60

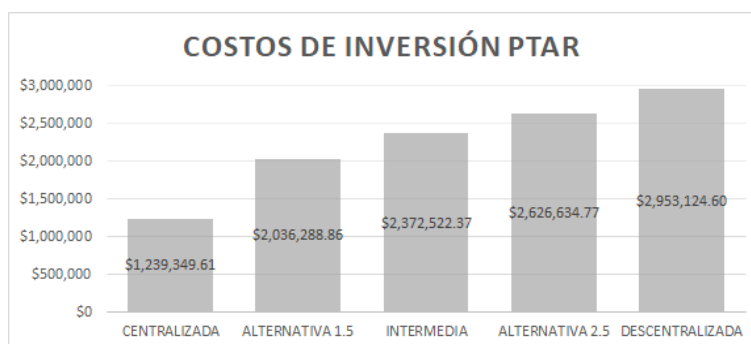


Figura 22. Costos de inversión de EBARs para cada alternativa.

4.7.4. Costos de inversión totales

A partir de los resultados de los costos de los colectores internos, externos y de impulsión, así como de las EBARs y PTARs, se resume el total en la tabla 38, el cual se presenta en el gráfico de barras de la figura 23.

Tabla 38. Costos totales de inversión: colectores + EBARs + PTARs.

	Alternativa 1	Alternativa 1.5	Alternativa 2	Alternativa 2.5	Alternativa 3
Costo inversión total	\$19,751,625.16	\$16,585,406.29	\$15,954,342.68	\$15,148,300.88	\$14,505,334.93

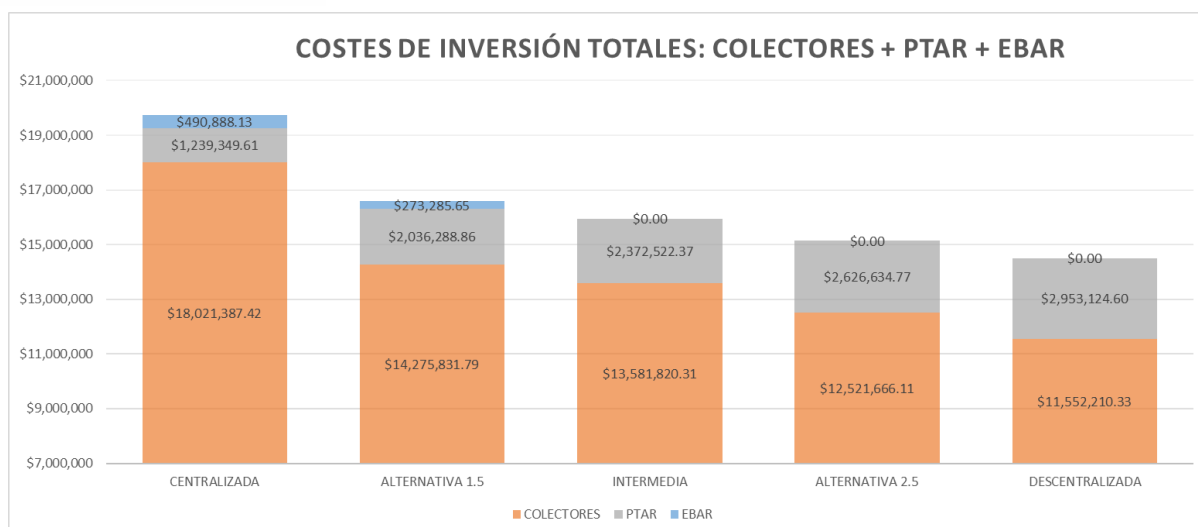


Figura 23. Costos de inversión totales para cada alternativa.

4.8. Costos de operación y mantenimiento

4.8.1 Costos de operación y mantenimiento de colectores

Con las consideraciones de la sección 3.8 se tiene los costos de operación y mantenimiento para los colectores que se resumen en la tabla 39 y figura 24:

Tabla 39. Costos de operación y mantenimiento para los colectores.

	Alternativa 1	Alternativa 1.5	Alternativa 2	Alternativa 2.5	Alternativa 3
Colectores (\$/año)	\$123,694.00	\$77,825.60	\$63,535.66	\$42,516.65	\$28,157.70
Colectores (\$) al final del periodo de diseño	\$3,463,432.21	\$2,179,116.84	\$1,778,998.74	\$1,190,466.31	\$788,415.84

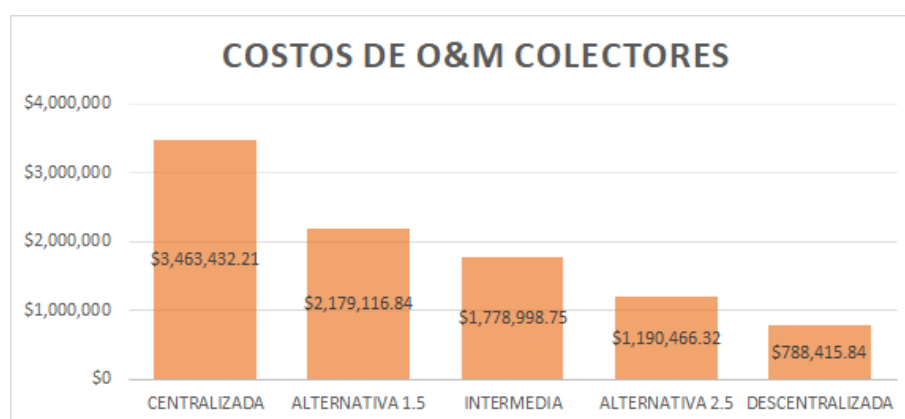


Figura 24. Costos de operación y mantenimiento acumulados para los colectores hasta el final del periodo de diseño.

4.8.2 Costos de operación y mantenimiento de EBARs

De igual forma se tiene para las EBARs los costos de operación y mantenimiento que se resumen en la tabla 40 y figura 25.

Tabla 40. Costos de operación y mantenimiento para las EBARs.

	Alternativa 1	Alternativa 1.5	Alternativa 2	Alternativa 2.5	Alternativa 3
EBARs (\$/año)	\$22,889.80	\$15,154.05	\$0	\$0	\$0
EBARs (\$) al final del periodo de diseño	\$646,481.19	\$427,998.89	\$0	\$0	\$0

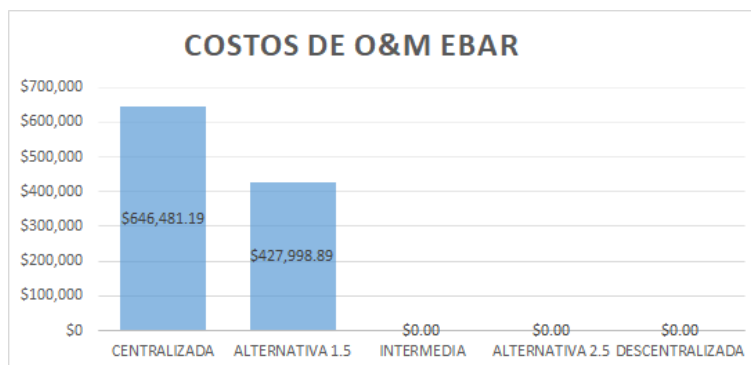


Figura 25. Costos de operación y mantenimiento acumulados para las EBARs hasta el final del periodo de diseño..

4.8.3 Costos de operación y mantenimiento de PTARs

Tabla 41 y figura 26 resumen los costos de operación y mantenimiento para las PTARs

Tabla 41. Costos de operación y mantenimiento para las PTARs.

	Alternativa 1	Alternativa 1.5	Alternativa 2	Alternativa 2.5	Alternativa 3
PTARs (\$/año)	\$37,319.48	\$60,243.15	\$70,732.98	\$82,988.50	\$95,264.21
PTARs (\$) al final del periodo de diseño	\$1,044,945.05	\$1,686,808.10	\$1,980,523.33	\$2,323,678.12	\$2,667,397.99

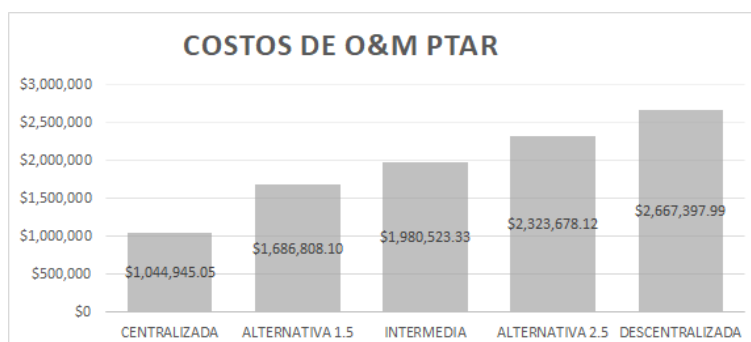


Figura 26. Costos de operación y mantenimiento acumulados para las PTARs hasta el final del periodo de diseño..

4.8.3 Costos de operación y mantenimiento totales al final del periodo de diseño

Los costos totales de operación y mantenimiento de los colectores, EBARS y PTARs se resumen en la tabla 42 y figura 27.

Tabla 42. Costos de operación y mantenimiento totales hasta el final del periodo de diseño.

	Alternativa 1	Alternativa 1.5	Alternativa 2	Alternativa 2.5	Alternativa 3
Final del periodo de diseño	\$5,154,858.45	\$4,293,923.83	\$3,759,522.08	\$3,514,144.44	\$3,455,813.83

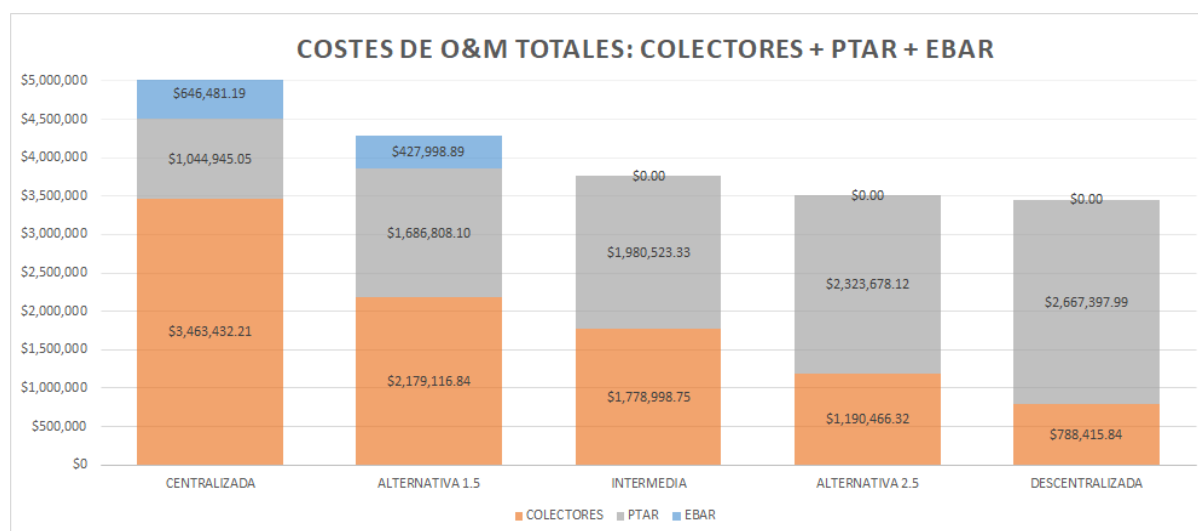


Figura 27. Costos de operación y mantenimiento acumulados totales hasta el final del periodo de diseño.

4.9. Costos totales

Para poder realizar una comparación en términos de costos de inversión y operación y mantenimiento se realiza una suma de los costos de inversión y los de operación y mantenimiento dando los resultados de la tabla 43 y figura 28.

Tabla 43. Costos totales de inversión con operación y mantenimiento hasta el final del periodo de diseño.

	Alternativa 1	Alternativa 1.5	Alternativa 2	Alternativa 2.5	Alternativa 3
INVERSIÓN	\$19,751,625.16	\$16,585,406.29	\$15,954,342.68	\$15,148,300.88	\$14,505,334.93
O&M	\$5,154,858.45	\$4,293,923.83	\$3,759,522.08	\$3,514,144.44	\$3,455,813.83

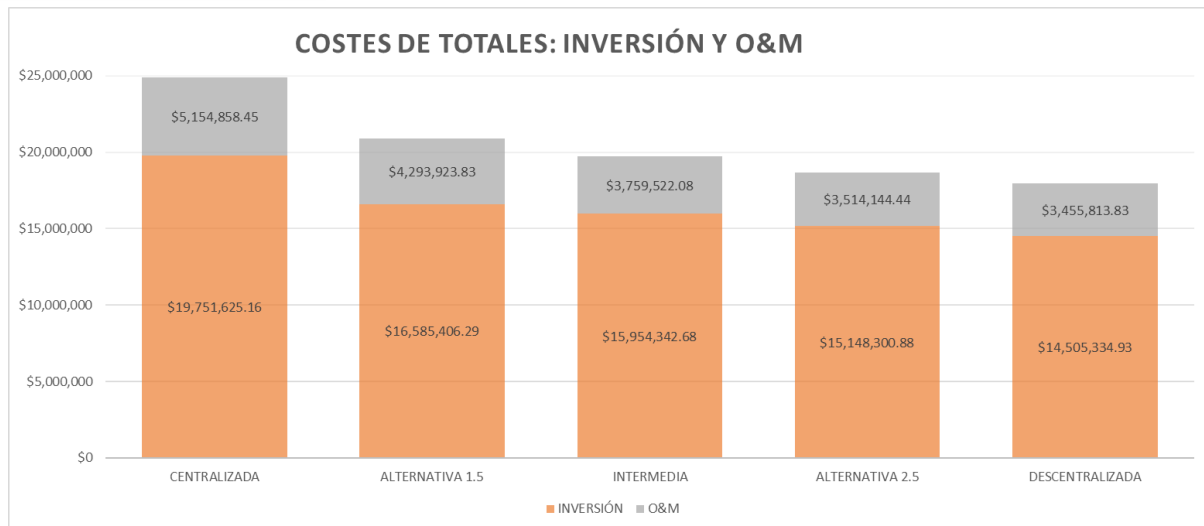


Figura 28. Costos totales de inversión con operación y mantenimiento acumulados hasta el final del periodo de diseño.

5. CAPÍTULO 5: Conclusiones

En este trabajo de titulación se exploraron y generaron cinco alternativas para la organización y conexión de 41 núcleos de saneamiento a través de redes externas, diseñadas conforme a la normativa ecuatoriana. Las alternativas propuestas varían desde la más centralizada hasta la más descentralizada.

La Alternativa 1 tiene un enfoque centralizado, con menos aglomeraciones y más redes externas. Aunque implica un costo constructivo inicial elevado debido al número incrementado de redes externas, ofrece ventajas en términos de operación y mantenimiento de las PTAR y EBARs.

Por otro lado, la Alternativa 3 representa el extremo opuesto con núcleos operando de manera independiente. Resultó ser la opción más económica en términos de costos totales de construcción sumados los de operación y mantenimiento.

Las Alternativas 1 y 1.5 requieren la construcción de EBARs para manejar colectores largos y grandes excavaciones, lo cual reduce la distancia a las aglomeraciones y evita problemas de invasión de propiedad. Sin embargo, su viabilidad en entornos rurales es cuestionable debido al alto costo de inversión y manejo.

Desde la Alternativa 2 hasta la Alternativa 3, no se requieren EBARs y se reduce la longitud de las redes externas, lo que disminuye los costos de construcción. No obstante, esto implica más PTARs, lo que aumenta tanto los costos iniciales como los costos de operación y mantenimiento de las PTARs.

El análisis de costos concluye que la Alternativa 3 es la mejor opción para la configuración de saneamiento en Quingeo, siendo la más descentralizada y económica en términos globales (sumando los costos de inversión y los de operación y mantenimiento).

En resumen, este trabajo no solo presenta diversas configuraciones y alternativas para la agrupación de núcleos de saneamiento y la implementación de interceptores, sino que también destaca la importancia de considerar tanto los costos constructivos iniciales como los costos de operación y mantenimiento al seleccionar la mejor alternativa. La Alternativa 3 emerge como la opción más económica y efectiva según estos criterios.

Referencias

Andrade, P. V. (2023). *Sanpluc*.

Autodesk Journal. (2020). *¿Qué es AutoCAD Civil 3D?* Recuperado el 28 de junio de 2024, de <https://www.autodeskjournal.com/que-es-autocad-civil-3d/>

Balarezo, P. S., & Serrano, A. A. (2023). *Núcleos de saneamiento en la parroquia de Quingeo, Cuenca-Azuay*.

Bentley Systems, Walski, T. M., Barnard, T. E., Harold, E., LaVere B. Merritt, L. B., Walker, N., & Whitman, B. E. (2004). *Wastewater collection system modeling and design* (1st ed.). Bentley Institute Press.

Concello de Carral. (2023). *Estudio para el análisis de alternativas de configuración de esquemas de saneamiento en el ayuntamiento de Carral*.

Cruz, E., & Hernández, M. (2021). *Análisis a las etapas del ciclo presupuestario del GAD parroquial de Quingeo, periodo 2020 y sus efectos al Covid-19*.

Cualla, R. A. L. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Escuela Col. de Ingeniería.

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural De Quingeo. (2020). *Actualización del plan de desarrollo ordenamiento territorial de la parroquia quingeo 2019 -2023*.

Huang, Y., Li, P., Li, H., Zhang, B., & He, Y. (2021). To centralize or to decentralize? A systematic framework for optimizing rural wastewater treatment planning. *Journal of Environmental Management*, 300, 113673. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113673>

Idrovo, D. B. (2023). *Capítulo 4: Alcantarillado Sanitario* [Personal communication].

Jung, Y. T., Narayanan, N. C., & Cheng, Y.-L. (2018). Cost comparison of centralized and

decentralized wastewater management systems using optimization model. *Journal of Environmental Management*, 213, 90–97.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.081>

Kjellén, M., Pensulo, C., Nordqvist, P., & Fogde, M. (2012). *Global Review of Sanitation System Trends and Interactions with Menstrual Management Practices. Report for the Menstrual Management and Sanitation Systems Project*. Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI). www.seiinternational.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-ProjectReport-KjellenGlobalReviewOfSanitationSystemTrendsAndInteractionsWithMenstrualManagementPractices.pdf

Metcalf, L., & Eddy, H. P. (1994). *Ingeniería de aguas residuales: Redes de alcantarillado y bombeo*.

OMS. (2019). *Guías para el saneamiento y la salud*.

Ortiz, C. G., & Patiño, D. P. (2023). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales conformado por humedales verticales y pozos sépticos para la parroquia de Quingeo*.

SENAGUA. (1992). *Normas Para Estudio De Sistemas De Abastecimiento De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes*.

Tsutiya, M. T., & Sobrinho, P. A. (2000). *Coleta e transporte de esgoto sanitário*.

UNESCO. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. UNESCO Publishing.

UNICEF & OMS. (2015). *Progresos En Materia de Saneamiento y Agua Potable: Informe de Actualizacion 2015 y Evaluacion del Omd*.

Wikimedia, C. de los proyectos. (2024a, February 15). *QGIS*. Wikipedia.

<https://es.wikipedia.org/wiki/QGIS>

Wikimedia, C. de los proyectos. (2024b, May 16). *Estación de bombeo*. Wikipedia.

https://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_de_bombeo