Evaluación y rediseño del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de la Brigada de Selva N° 19 “NAPO”. Pto. Fco. de Orellana, Orellana.

Orozco Sánchez, Vinicio Israel y Sánchez Rodríguez, Johnny Javier

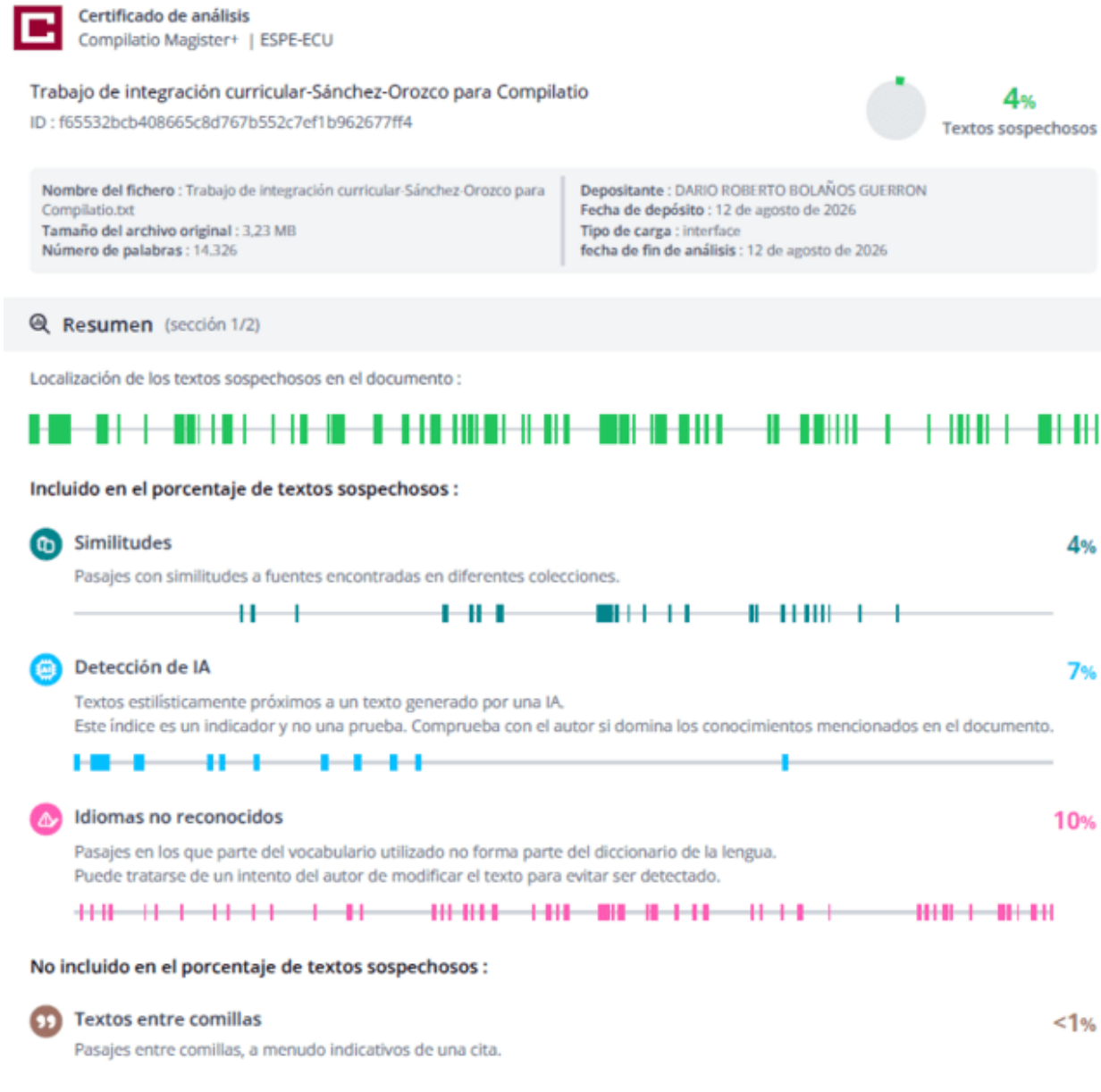
Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto Ph.D.

19 de agosto de 2026



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | ESPE-ECU

Trabajo de integración curricular-Sánchez-Orozco para Compilatio
ID : f65532bcb408665c8d767b552c7ef1b962677ff4

4%
Textos sospechosos

Nombre del fichero : Trabajo de integración curricular-Sánchez-Orozco para Compilatio.txt
Tamaño del archivo original : 3,23 MB
Número de palabras : 14.326

Depositante : DARIO ROBERTO BOLAÑOS GUERRON
Fecha de depósito : 12 de agosto de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 12 de agosto de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :

Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Similitudes 4%
Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.

Detección de IA 7%
Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.
Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.

Idiomas no reconocidos 10%
Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua.
Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.

No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Textos entre comillas <1%
Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

Dario Roberto
Bolanos Guerron
Time Stamping
Security Data

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto, Ph.D.

Director

Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "**Evaluación y rediseño del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de la Brigada de Selva N° 19 "NAPO". Pto. Fco. de Orellana, Orellana."** fue realizado por los señores Orozco Sánchez Vinicio Israel y Sánchez Rodríguez Johnny Javier, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; habiéndose efectuado una revisión integral de forma y de fondo conforme a los lineamientos y formatos institucionales vigentes. Además, fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de agosto de 2026

Dario Roberto Bolanos Guerron
Time Stamping Security Data

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto, Doctor.

Director

C.C.: 1715206593

Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Orozco Sánchez Vinicio Israel y Sánchez Rodríguez Johnny Javier**, con cédulas de ciudadanía n° 1718623406 y nº 0603999293, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Evaluación y rediseño del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de la Brigada de Selva N° 19 "NAPO". Pto. Fco. de Orellana, Orellana."** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 19 de agosto de 2026

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
VINICIO ISRAEL
OROZCO SANCHEZ

Orozco Sánchez Vinicio Israel

C.C.: 1718623406

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JOHNNY JAVIER
SANCHEZ RODRIGUEZ

Sánchez Rodríguez Johnny Javier

C.C.: 0603999293

Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Autorización de Publicación

Nosotros, **Orozco Sánchez Vinicio Israel y Sánchez Rodríguez Johnny Javier**, con cédulas de ciudadanía nº 1718623406 y nº 0603999293, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular. **"Evaluación y rediseño del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de la Brigada de Selva N° 19 "NAPO". Pto. Fco. de Orellana, Orellana."** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 19 de agosto de 2026

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
VINICIO ISRAEL
OROZCO SANCHEZ

Orozco Sánchez Vinicio Israel

C.C.: 1718623406

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JOHNNY JAVIER
SANCHEZ RODRIGUEZ

Sánchez Rodríguez Johnny Javier

C.C.: 0603999293

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación primeramente a Dios, por ser el cimiento de mi vida, por otorgarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para superar cada obstáculo y permitirme culminar con éxito este gran anhelo académico y profesional.

A mi amada esposa Karen, por su amor, apoyo incondicional, su paciencia infinita y su comprensión en cada jornada de trabajo y desvelo. Tu confianza en mí y tu compañía permanente han sido el motor fundamental para alcanzar esta meta.

A mis queridos padres, Artemio y Carmen, y a mis hermanas, Jessica y Josselyn, quienes han sido mi pilar fundamental desde el primer día en que inicié la carrera. Gracias por sus oraciones, sus palabras de aliento constantes y por sacrificarse a mi lado en todo momento. Este logro también les pertenece, porque sin su amor y apoyo incondicional no habría sido posible alcanzar esta meta.

Tnte - E Sánchez Rodríguez Johnny Javier.

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, Vinicio y Mónica, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional, sus consejos, su esfuerzo y apoyo constante que me han brindado en cada etapa de mi formación personal y profesional.

A mi hermana Andrea, por su cariño, compañía y motivación, por estar presente en los momentos importantes y por ser parte esencial de este logro.

Este trabajo es también reflejo del sacrificio, la confianza y el amor de mi familia, quienes me impulsaron a seguir adelante y a no rendirme hasta alcanzar esta meta.

Tnte – E Orozco Sáncehz Vinicio Israel.

Agradecimiento

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios Todopoderoso, por guiarme en el camino correcto, iluminar mi entendimiento y otorgarme la salud y firmeza para cumplir este importante objetivo de vida.

A mi familia, en especial a mi esposa, mis padres y mis hermanas, por constituir mi refugio y fortaleza. Gracias por su comprensión, sacrificios e incondicionalidad en cada etapa de mi formación universitaria.

A mi compañero y amigo Vinicio Orozco con quien he compartido el desarrollo de este proyecto de fin de carrera, y a mis amigos Oscar Flor y Jonathan Bravo, por su amistad, camaradería, el trabajo en equipo y el apoyo incondicional a lo largo de toda nuestra formación profesional.

A mi amigo Shosue Caballeros, por su grandísima amistad por su incondicional apoyo a lo largo de toda la carrera. Gracias por estar presente en cada uno de los retos, por compartir experiencias y tu ayuda precisamente cuando más la he necesitado.

A mi estimado Dr. Darío Bolaños, tutor de tesis, por su inmejorable dirección, criterio técnico y enriquecedor acompañamiento académico. Gracias por ayudarnos a orientarnos tanto en nuestra formación como estudiantes, así como también como personas para llegar a ser unos profesionales íntegros y excelentes.

A los señores docentes e ingenieros de la Carrera de Ingeniería Civil, quienes con su conocimiento, experiencia y vocación de enseñanza aportaron significativamente en mi preparación profesional e integral.

Al glorioso Ejército Ecuatoriano, por brindarme la invaluable oportunidad de desarrollar mis estudios superiores, facilitando los medios y el respaldo para alcanzar esta meta académica al servicio de la patria.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por ser la cuna de formación académica y de valores que abrió sus puertas para moldear mi profesión con rigor, innovación y excelencia.

Tnte - E Sánchez Rodríguez Johnny Javier.

Agradezco profundamente a mis padres, vinicio y Mónica, por su apoyo incondicional, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia. Gracias por creer en mi y por acompañarme en cada paso de este camino.

A mi hermana Andrea, por su cariño, comprensión y palabras de aliento durante todo este proceso.

De igual manera, agradezco a mis compañeros Oscar, Johnny y Jonathan, por su amistad, apoyo y colaboración a lo largo de esta etapa universitaria. Sus aportes, compañía y motivación fueron importantes para superar los retos presentados durante el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, expreso mi gratitud a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis y al cumplimiento de este objetivo profesional.

Tnte – E Orozco Sáncehz Vinicio Israel.

Índice de Contenidos

Dedicatoria 6

Agradecimiento 7

Índice de Contenidos 9

Índice de tablas 14

Índice de Figuras 15

Resumen 16

Abstract 17

Capítulo I: Introducción y Estado del Arte 18

Introducción 18

Antecedentes 19

Justificación 20

Estado del arte 22

Objetivos 23

Objetivo General 23

Objetivos Específicos 23

Capítulo II: Material y Métodos 24

Aspectos físicos 24

Ubicación geográfica 24

Características de la zona de estudio 25

Tipo de suelo 25

Relieve y Topografía 25

Pozos de revisión. 26

Tuberías. 26
Sumideros 27
Infraestructura y servicios 27
Servicio de Transporte 27
Infraestructura Vial 27
Servicio de Agua Potable 27
Servicio de Salud 27
Servicio de Energía Eléctrica 28
Factores climáticos 28
Temperatura 28
Demarcación Hidrográfica 29
Precipitación y Escurrimiento 29
Inundaciones 30
Parámetros de diseño 32
Período de diseño 32
Población 32
Población Actual 32
Población Futura 33
Dotación 33
Caudal de diseño para sistema sanitario 34
Caudal medio diario de aguas residuales domésticas. 35
Coeficiente de retorno 35
Caudal Máximo horario 36

Coeficiente de simultaneidad....36
Caudal de infiltración....36
Caudal Comercial....37
Caudal Institucional....38
Caudal de diseño....39
Caudal de agua lluvia....39
Coeficiente de escorrentía....39
Período de retorno....40
Tiempo de concentración....41
Intensidad de precipitación....43
Tratamiento de aguas residuales....44
Pretratamiento....45
Tratamiento primario: tanque de sedimentación primario....49
Figura 8:....49
Tratamiento secundario: humedal de flujo horizontal....51
Capítulo III: Resultados y Discusión....53
Topografía....53
Sistema de alcantarillado actual.....57
Catastro de los pozos evaluados.....60
Evaluación de la infraestructura existente....60
Diseño de la nueva Red de Alcantarillado Sanitario.....61
Coeficiente de rugosidad.....62
Velocidad mínima.....62

Velocidad máxima. 62

Porcentaje de ocupación. 63

Pozos de revisión 63

Profundidad de instalación y recubrimiento. 63

Punto de descarga. 64

Diseño de la estación de bombeo de aguas residuales 64

Criterios de diseño 64

Resumen de diseño 64

Modelación del sistema de alcantarillado sanitario. 65

Diseño del sistema de alcantarillado pluvial. 66

Delimitación de áreas tributarias.....66

Caudal de diseño pluvial.....67

Diámetro de tubería.....67

Velocidades.....67

Pendientes 68

Profundidad de instalación 68

Porcentaje de ocupación. 68

Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales - humedal de flujo horizontal.....69

Parámetros de análisis 69

Dimensiones de la planta de tratamiento (PTAR). 70

Pretratamiento.....70

Tratamiento primario. 71

Lecho de secado de lodos. 72

Humedal superficial horizontal. 73

Capítulo IV: Presupuesto 74

Análisis de precios unitarios 74

Presupuesto referencial 74

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones 78

Conclusiones 78

Bibliografía 80

Apéndice 83

Índice de tablas

Tabla 1: *Registro de inundaciones provincia de Orellana* 31

Tabla 2: *Dotaciones de agua.* 34

Tabla 3: *Coeficientes de infiltración.* 37

Tabla 4: *Valores coeficiente de escorrentía.* 40

Tabla 5: *Períodos de retorno para diferentes ocupaciones del área en micro drenaje.* 41

Tabla 6: *Constante α de velocidad superficial.* 43

Tabla 7: *Ecuaciones IDF para la estación Palmoriente-Huachito.* 43

Tabla 8: *Parámetros necesarios para el diseño de un canal de desbaste.* 46

Tabla 9: *Parámetros recomendados para diseño de desarenadores.* 48

Tabla 10: *Valore de ks para diseño de humedal.* 53

Tabla 11: *Detalle de Pozos existentes.* 58

Tabla 12: *Valores de n para fórmula de Manning.* 62

Tabla 15: *Resultados de análisis de laboratorio de aguas residuales.* 70

Tabla 16: *Presupuesto referencial de alcantarillado sanitario.* 74

Tabla 17: *Presupuesto referencial de alcantarillado pluvial.* 75

Tabla 18: *Presupuesto referencial de Humedal.* 76

Índice de Figuras

Figura 1: *Ubicación de la Brigada de Selva N.º 19 "Napo"*.....24

Figura 2: *Tipo de suelo de la provincia de Orellana.*.....25

Figura 3: *Cuadro estadístico de temperatura.*.....28

Figura 4: *Mapa de Isoyetas*.....30

Figura 5: *Mapa de riesgos Inundación Francisco de Orellana.*.....31

Figura 6: *Esquema de tratamiento previo para un sistema de Humedales.*.....45

Figura 7: *Esquema de un canal de desbaste.*.....46

Figura 8: *Esquema tanque sedimentador.*.....49

Figura 9: *Levantamiento topográfico con dron.*.....54

Figura 10: *Levantamiento de puntos con metodología NTRIP.*.....55

Figura 11: *Modelo digital del terreno.*.....56

Figura 12: *Plano topográfico de la 19 BS "Napo"*.....57

Figura 13: *Levantamiento catastral del sistema de alcantarillado actual.*.....58

Figura 14: *Fichas catastrales del sistema de alcantarillado existente.*.....60

Figura 15: *Esquema pozo de descarga de aguas residuales domésticas.*.....65

Figura 16: *Propuesta de diseño de alcantarillado sanitario.*.....66

Figura 17: *Propuesta de diseño de alcantarillado pluvial.*.....69

Resumen

El presente proyecto de titulación consiste en la evaluación y rediseño del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de la Brigada de Selva N.°19 “NAPO”, ubicada en la ciudad de El Coca, provincia de Orellana. Inicialmente, se realizó un diagnóstico integral del sistema existente mediante inspecciones en campo y levantamiento de catastro sanitario, con el fin de determinar su estado de funcionamiento, capacidad hidráulica y nivel de servicio. Del análisis, resultaron las deficiencias asociadas a la degradación de la infraestructura, la escasa capacidad de conducción y las deficiencias en la disposición final de las aguas residuales, de tal manera que, a partir de los resultados que se obtuvieron en el tratamiento, se determinó la redimensionada del sistema de alcantarillado separado y de las redes sanitarias y pluviales que permita la recogida, conducción y evacuación de las aguas generadas. Para este tratamiento hidráulico nos servimos, en primera instancia, de las herramientas informáticas de gestión de redes de alcantarillado, como SewerGEMS, que nos permiten determinar los caudales de diseño, las velocidades, pendientes, diámetros y profundidades de las tuberías de manera que se cumplan las normativas técnicas vigentes en el ecuatoriano. También fue posible plantear el diseño de una planta para el tratamiento de aguas residuales mediante sistemas naturales; un arreglo eficiente y sostenible, de coste de operación bajo, que se ajuste a las condiciones climáticas y geográficas de la zona amazónica. El proyecto incluye el levantamiento topográfico, diseño hidráulico, y los detalles correspondientes, así como la elaboración de análisis de precios unitarios y el presupuesto referencial.

Palabras clave: evaluación, alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial, tratamiento de aguas residuales, humedales artificiales.

Abstract

The analysis brought to light various deficiencies tied to the aging infrastructure, limited conveyance capacity, and inadequate final disposal of the wastewater. Because of this, and drawing from the initial assessment, we established the need to completely resize the separate sewer system. Updating both the sanitary and stormwater networks will guarantee the effective collection, routing, and ultimate discharge of the generated water.

To carry out this hydraulic design, we relied primarily on specialized sewer network management software, specifically SewerGEMS. Using this tool made it possible to accurately calculate design flows, water velocities, pipe slopes, diameters, and burial depths, all while strictly adhering to current Ecuadorian technical regulations. Furthermore, the project outlines the design of a wastewater treatment plant that relies on natural treatment systems. This approach provides an efficient, sustainable, and low-operating-cost solution that is perfectly suited to the specific climatic and geographical conditions of the Amazon region. Finally, the complete scope of the project encompasses the topographic survey, detailed hydraulic design, engineering drawings, unit price analysis, and the final estimated budget.

Keywords: evaluation, sanitary sewer system, stormwater drainage, wastewater treatment, constructed wetlands.

Capítulo I: Introducción y Estado del Arte

Introducción

El manejo de las aguas residuales es un componente esencial y uno de los principales desafíos en el ámbito de la ingeniería sanitaria, debido a su incidencia directa en la salud pública y en la conservación del medio ambiente. En este contexto, los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales cumplen un rol fundamental al permitir la recolección, transporte, tratamiento y disposición segura de los efluentes generados por las actividades domésticas, institucionales y productivas, bajo condiciones que minimicen impactos ambientales y sanitarios (Méndez Flores, 2011).

En el Ecuador, la gestión de aguas residuales se encuentra regulada por el marco normativo ambiental vigente, el cual establece límites máximos permisibles para descargas de agua y la obligatoriedad de implementar sistemas adecuados(GAD Municipal, 2025). Sin embargo, a nivel nacional, una proporción significativa de las aguas residuales no recibe tratamiento previo a su descarga especialmente en zonas de la región amazónica como la ciudad de El Coca, provincia de Orellana, las condiciones climáticas, topográficas y de crecimiento poblacional representan un reto para el correcto funcionamiento de la infraestructura sanitaria (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2024). El análisis estadístico de las precipitaciones en la ciudad de El Coca, provincia de Orellana, evidencia altos valores de pluviosidad anual y la frecuente ocurrencia de eventos de lluvia intensa; en consecuencia, los suelos presentan una elevada humedad y, junto con las posibles limitaciones de los sistemas existentes, hacen necesario evaluar y optimizar las redes de alcantarillado y los sistemas de tratamiento de aguas residuales (EL CONSEJO PROVINCIAL DE LA PROVINCIA DE ORELLANA, 2020).

De acuerdo con esa perspectiva, la Brigada de Selva N° 19 “NAPO”, como instalación militar con un personal fijo y temporal, debe contar con un sistema que garantice un adecuado estado de higiene; por esa razón, el presente proyecto tiene la finalidad de valorar el sistema existente para posteriormente proponer un rediseño general del sistema

de alcantarillado sanitario, pluvial, así como el de tratamiento de aguas residuales que sea funcional, sostenible y conforme con la normativa técnica vigente.

Antecedentes

En el ámbito nacional, se han desarrollado diversos estudios en unidades militares con la evaluación y rediseño de sistemas de alcantarillando evidenciado deficiencias en la recolección y evacuación de aguas residuales, así como limitaciones en la capacidad hidráulica de las redes existentes. En proyectos recientes, se ha optado por el rediseño de sistemas de alcantarillado separados, acompañados de la implementación de plantas de tratamiento mediante tecnologías sostenibles como humedales artificiales, las cuales presentan ventajas en términos de operación, mantenimiento y adaptación a diferentes condiciones geográficas.

En este contexto, el estudio denominado Evaluación y rediseño del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de la Compañía de Ingenieros N° 1 “Quitumbe”, Santa Rosa, provincia de El Oro, realiza un diagnóstico del sistema existente, identificando deficiencias hidráulicas y operativas que requieren un rediseño bajo criterios técnicos (Angos Cosios & Pandi Paredes, 2025).

De manera similar, la investigación titulada Evaluación y rediseño del sistema de alcantarillado y saneamiento del Fuerte Militar “Huancavilca”, provincia del Guayas, zona administrativa, analiza las condiciones de la infraestructura sanitaria y plantea alternativas de mejora basadas en la evaluación del sistema y su capacidad de operación(Parra Lucio & Patajalo Villalta, 2025) .

En particular, investigaciones realizadas en fuertes militares del país evidencian que parte de la infraestructura sanitaria han superado su vida útil, generando riesgos de contaminación ambiental y afectaciones a la salud del personal. Estos antecedentes permiten establecer la necesidad de realizar evaluaciones técnicas que conduzcan a soluciones eficientes y acordes a las condiciones específicas de cada zona. Estas instalaciones forman parte de la infraestructura administrada por el Ministerio de Defensa Nacional del Ecuador, entidad responsable de su planificación y mantenimiento, lo que

implica la necesidad de realizar evaluaciones técnicas orientadas a mejorar su funcionamiento (Ministerio de Defensa Nacional, 2015).

En este sentido, el trabajo presente se enfoca en la Brigada de Selva N° 19 “NAPO”, y es por eso que se estudiará el sistema que tiene en la actualidad y se propondrá su rediseño con el que se pueda asegurar el adecuado manejo de las aguas residuales y, además, la sostenibilidad ambiental de la región.

Justificación

La correcta disposición y el manejo de las aguas residuales se constituyen como un aspecto clave para la salud pública y para la protección del medio ambiente, en la medida en que ésta permite controlar los focos de contaminación, disminuir los riesgos de estar en contacto con patógenos y preservar la calidad de los medios receptores del agua. En Ecuador, la constitución reconoce en su Art. 14, el derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, y en el Art. 264 numeral 4, establece como competencia exclusiva de los gobiernos autónomos descentralizados la provisión de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales (Constitución de la República del Ecuador 2008). En esta línea, a nivel internacional, el objetivo de desarrollo sostenible N° 6 plantea asegurar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y saneamiento para todos hacia el 2030, dando énfasis a la reducción de vertimientos sin tratamiento (Naciones Unidas, 2023).

En el contexto nacional, persisten desafíos relevantes en saneamiento evidenciados por la limitada proporción de aguas residuales que reciben tratamiento a pesar de contar con cierta infraestructura, en el año 2024, 111 municipios registraron tener recolección diferenciada, 104 municipios registran tener una recolección combinada y 6 municipios no realizan recolección, y de los 215 GADM que realizan recolección de aguas residuales, 160 cuentan con una o más plantas de tratamiento de aguas residuales, y del total del agua potable distribuida a nivel nacional solo el 24% ingresa a plantas de tratamiento de agua residual (Terán Christián, 2025), lo que incrementa el deterioro de los ecosistemas hídricos y afectaciones a la salud pública, de manera complementaria, la normativa ambiental vigente,

exige que toda descarga debe ser tratada antes de su disposición final en cualquier cuerpo receptor, lo que pone de manifiesto la obligatoriedad de la intervención técnica focalizada.

Así mismo, en el cantón Francisco de Orellana, la entidad gubernamental encargada de la gestión del agua potable y alcantarillado es su GADM, que según su informe de gestión 2024-2025, en la cual se basa principalmente en: ampliación y mantenimiento de redes de alcantarillado sanitario, mejoras en el sistema de agua potable (Proaño, 2025), pero, no reporta la existencia de una planta de tratamiento de agua residual, por lo que el tratamiento de las aguas residuales es nulo o insuficiente, descargando sus aguas directamente en cuerpos hídricos como los ríos Coca, Napo, Payamino.

Por lo tanto, en el presente caso, puede observarse que la Brigada de Selva N° 19 “NAPO”, presenta un problema de saneamiento asociado a su antigüedad de aproximadamente 36 años y a una mala planificación inicial de agua potable y alcantarillado, actualmente, el agua para consumo humano es captada del Río Napo, tratada y conducida al sistema interno de agua potable, sin embargo, las aguas residuales generadas por la unidad militar no son tratadas y son desembocadas en el mismo río, con el potencial de generar contaminación ambiental y riesgo a la salud humana.

Por ello, la importancia de dar solución a esta problemática es mayor, debido a que se trata de una instalación estratégica, en la que la continuidad operativa y el bienestar del personal depende de servicios básicos confiables; y debido a la antigüedad de los sistemas hidráulicos mal diseñados o falta de mantenimiento preventivo, favorecen a fallas hidráulicas, desbordes, contaminación y deterioro de la infraestructura, justificando acciones de evaluación, rediseño y construcción de planta de tratamiento de aguas residuales.

Por lo tanto, el presente trabajo se justifica técnica, ambiental y socialmente, al proponer la evaluación, rediseño del sistema de alcantarillado y diseño de una planta de tratamiento que elimine las descargas de aguas residuales sin tratar hacia el Río Napo alineándose con el marco ambiental vigente para reducir riesgos sanitarios en el personal militar y población potencialmente expuesta aguas abajo, y fortalecer la sostenibilidad del servicio incorporando criterios actuales de diseño hidrosanitario, operación y mantenimiento.

Estado del arte

El sistema de alcantarillado sanitario cumple la función de recolectar y transportar las aguas residuales hacia un punto de tratamiento o disposición controlada, con el propósito de proteger la salud pública y disminuir impactos negativos sobre el ambiente. En este sentido, su diseño debe ajustarse a las características del área, número de usuarios y condiciones de operación para garantizar eficiencia y sostenibilidad.

En la práctica técnica actual, se reconoce como criterio fundamental la implementación de sistemas separados (alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial), debido a que la mezcla de caudales genera sobrecargar hidráulicas, colapsos y descargas no controladas durante eventos de lluvia. Además de afectar el desempeño de los procesos de tratamiento de aguas residuales. En consecuencia, la separación de redes mejora la operación del sistema sanitario y reduce el riesgo de fallas asociadas a precipitaciones intensas, incrementando la confiabilidad del saneamiento.

Por otra parte, el alcantarillado pluvial se orienta a captar y conducir escorrentías de lluvia mediante estructuras como sumideros, tuberías y pozos, evitando anegamientos, daños a la infraestructura; su dimensionamiento se apoya en parámetros como intensidad de precipitación, tiempo de concentración, coeficiente de escorrentía y área tributarias, lo que permite definir caudales de diseño y garantizar capacidad de conducción (Comisión Nacional del Agua, 2019a).

En el ámbito del tratamiento, las plantas de tratamiento de aguas residuales buscan remover contaminantes a través de procesos físicos, químicos y biológicos, con el objetivo de cumplir parámetros de descarga y reducir el impacto sobre cuerpos receptores. En proyectos institucionales o como disponibilidad de área, se priorizan tecnologías de bajo costo operativo y mantenimiento relativamente simple, tales como humedales y alternativas anaerobias, como parte de procesos de tratamiento, según condiciones del sitio y metas de calidad del efluente (Comisión Nacional del Agua, 2019b).

A nivel de unidades miliares del país se cuenta con infraestructura vieja con redes insuficientes o deterioradas y ausencia de tratamiento, lo que aumenta el riesgo de

contaminación y afecta la habitabilidad de los efectivos, por lo cual es preciso evaluar el estado real de la red, realizar el levantamiento del catastro, efectuar el rediseño integral y revisar hidráulicamente mediante modelación, incluyendo criterios de operación y mantenimiento.

En cuanto a criterios de diseño y regulación, los documentos de referencia consideran lineamientos de normativa nacional, incluyendo parámetros como dotación, coeficiente de retorno, infiltración, distancias máximas entre pozos, velocidades mínimas de autolimpieza, pendientes, diámetros mínimos y profundidades de instalación; además, para la disposición final del efluente se toma en cuenta el cumplimiento de límites ambientales establecidos para cuerpos de agua dulce (CPE INEN 5 Parte 9-1. Código Ecuatoriano de la Construcción: Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1992).

Así, la problemática concerniente a la Brigada de Selva N° 19 “Napo” tiene un alto grado de criticidad, puesto que el río Napo se transforma en captador para el consumo humano y a su vez, en receptor de descargas residuales sin tratamiento, lo que a su vez requiere solución técnica mediante redes separadas (sanitario y pluvial) y una alternativa de tratamiento de aguas residuales, que permita reducir la carga contaminante vertida al río, otorgar protección al recurso hídrico, y asegurar condiciones sanitarias adecuadas para la población institucional.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar y rediseñar el sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, de la Brigada de Selva N°19 "Napo".

Objetivos Específicos

Levantar de información topográfica, cartográfica, uso del suelo y puntos de descarga en la zona de estudio.

Evaluar del estado de infraestructura, servicio del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales existente.

Caracterizar de las aguas residuales y aguas superficiales de la zona.

Proponer el saneamiento para la Brigada de Selva N°19 "Napo", ubicada en Puerto Francisco de Orellana, provincia de Orellana. Incluye memoria de cálculo, planos, análisis de precios unitarios y presupuesto.

Capítulo II: Material y Métodos

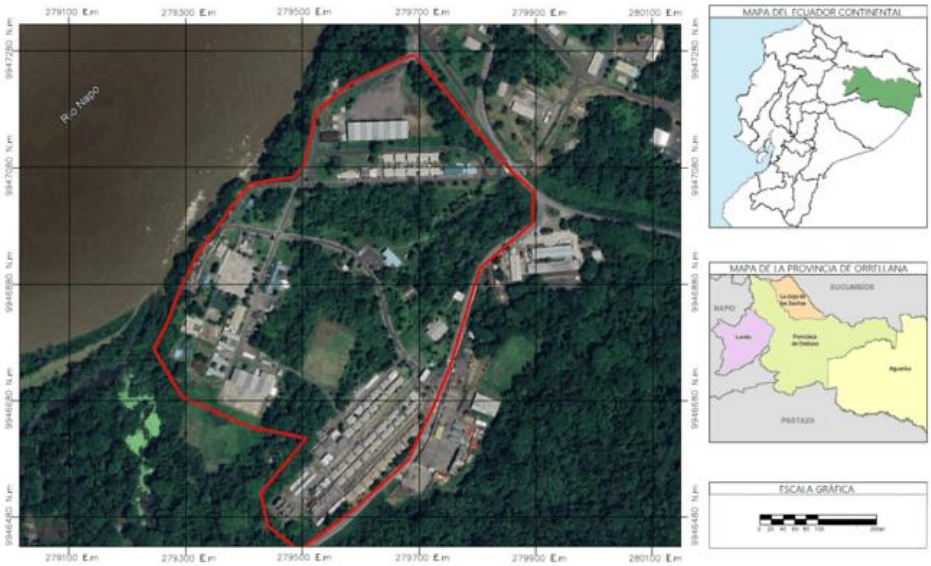
Aspectos físicos

Ubicación geográfica

La Brigada de Selva N.º 19 “Napo” se encuentra ubicada en la ciudad de Puerto Francisco de Orellana (El Coca), cabecera del cantón Orellana, provincia de Orellana. Su ubicación estratégica en la región amazónica la sitúa cerca de la confluencia de los ríos Napo, Coca y Payamino. Sus coordenadas aproximadas son 9946680 N 279700 E. Esta unidad militar es fundamental para la defensa y seguridad en la frontera norte y el control de los recursos estratégicos en la Amazonía(GAD Municipal, 2025). Al igual que las demás unidades militares del resto del país, alberga un contingente significativo de personal militar y civil. Actualmente alberga a 724 personas en sus instalaciones, esta información ha sido proporcionada por el departamento de personal de la unidad.

Figura 1:

Ubicación de la Brigada de Selva N.º 19 “Napo”.



Nota: Realizado en AutoCAD

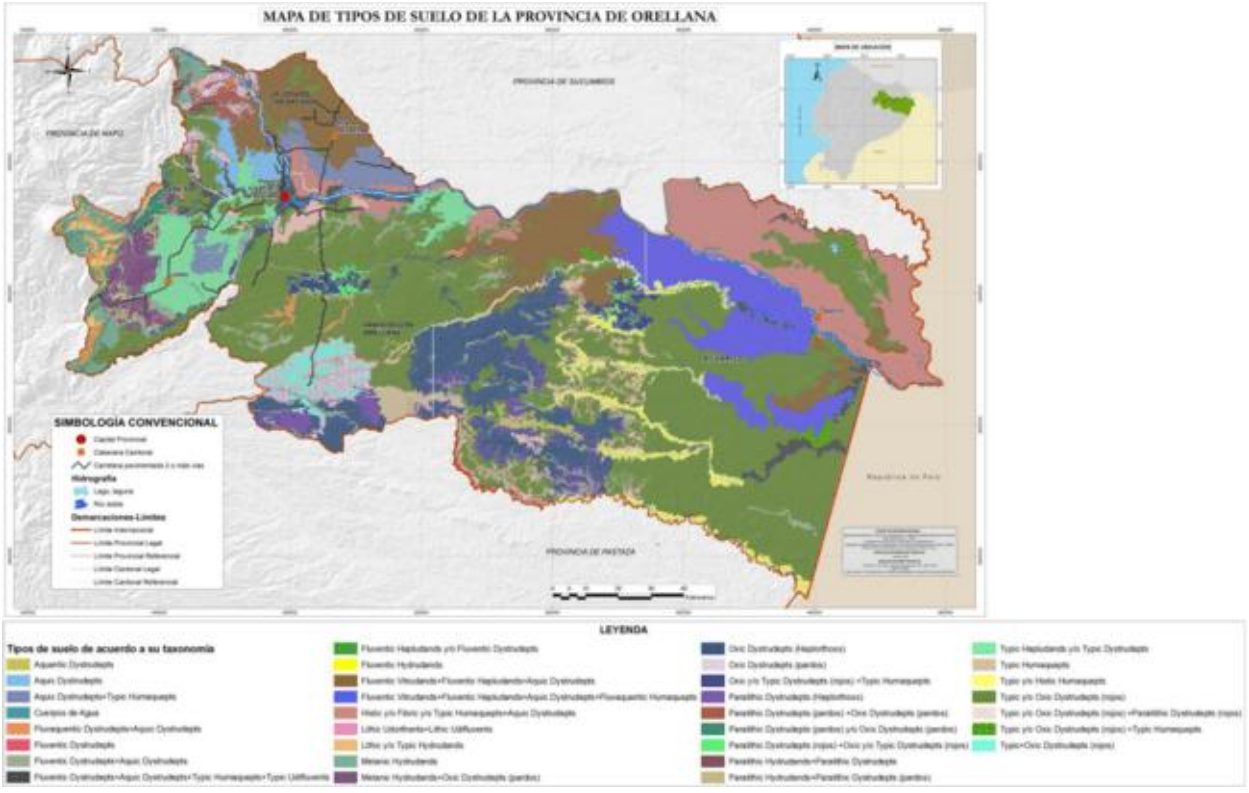
Características de la zona de estudio

Tipo de suelo

La Brigada se asienta sobre terrenos característicos de la llanura amazónica. Según el Plan de desarrollo de ordenamiento territorial PDOT del GAD Municipal de Francisco de Orellana, el suelo predominante en la zona urbana y sus alrededores se compone principalmente de Inceptisoles y Ultisoles, los Inceptisoles son suelos jóvenes con un desarrollo de horizontes débil, mientras que los Ultisoles son suelos muy meteorizados, ácidos y con acumulación de arcilla, lo que suele resultar en una baja capacidad de infiltración y alta susceptibilidad a la erosión hídrica debido a las intensas lluvias de la zona (GAD Municipal de Francisco de Orellana, 2023).

Figura 2:

Tipo de suelo de la provincia de Orellana.



Nota: Tomado de (GADPO, 2015).

Relieve y Topografía

El relieve en El Coca es predominantemente plano a ligeramente ondulado, con pendientes que varían entre el 0 y el 12% en las zonas de asentamiento militar. La altitud

promedio es de aproximadamente 250 msnm. Al ser una zona de llanura amazónica, el drenaje natural es lento, lo que requiere un diseño de alcantarillado con pendientes mínimas rigurosas para evitar sedimentación en las tuberías.

Para el análisis de la infraestructura existente, se procederá con el levantamiento topográfico detallado mediante el uso de tecnologías GNSS y fotogrametría (Dron), similar a la metodología empleada en estudios previos para garantizar precisión en las cotas de los pozos de revisión y colectores.

Pozos de revisión.

Se realizará una evaluación de los pozos sobre las siguientes determinantes:

- Material de construcción del pozo: sobre las paredes, el zócalo y el fondo del pozo.
- Dimensiones del pozo: Diámetro superior, diámetro inferior y profundidad.
- Tapa: Material, estado y diámetro.
- Escalera: Si posee o no y su estado.

Tuberías.

- Diámetro interior: Es el diámetro con el que se realiza el cálculo hidráulico y es la medida interna de la sección transversal de la tubería.
- Diámetro comercial: El diámetro comercial es el diámetro con el que el fabricante comercializa la tubería y por lo general es el diámetro exterior de la tubería.
- Material de la tubería: Se revisará de qué tipo de material esté fabricado el mismo que puede ser de hormigón o de PVC.
- Altura de salida: Es la altura medida desde el fondo del pozo hasta la altura donde inicia el recorrido el agua.
- Altura de llegada: Es la altura medida desde el fondo del pozo hasta la altura donde llega el agua del pozo anterior.
- Cota de Salida: Representa la cota de elevación de la altura de salida.
- Cota de llegada: Representa la cota de elevación de la altura de llegada.

- Subtipo: Es la función que realiza la tubería, puede ser primaria, secundaria, colector, etc.

Sumideros

Se evaluará el estado actual, las dimensiones, cotas de salida y de llegada del agua.

Infraestructura y servicios

La Brigada de Selva N°19 "Napo" cuenta con los siguientes servicios:

Servicio de Transporte

El transporte público hacia la unidad se realiza principalmente a través de la Vía a Loreto y la Av. Alejandro Labaka, que son las arterias viales más importantes de la ciudad. El servicio está constituido por taxis y camionetas de transporte mixto, además de las rutas urbanas operadas por operadoras locales como la Cooperativa de Transporte Urbano "Coca", reconocidas en el Plan de Movilidad del cantón Francisco de Orellana(GADPO, 2015).

Infraestructura Vial

El acceso a las instalaciones de la Brigada se realiza a través de la Av. Alejandro Labaka, la cual asegura la articulación logística de primer nivel con el resto de la Amazonía. La red interna de vías de acceso conecta los espacios administrativos, de vivienda y operativos, garantizando el acceso de medios pesados y que, además, conduce a los lugares de actividad.

Servicio de Agua Potable

El personal que se encuentra asentado en la Brigada de Selva N°19 "Napo" no recibe agua potable del GADM, siendo en su lugar abastecido con los tipos de sistemas internos de captación y almacenamiento complementarios.

Servicio de Salud

Existe un Centro de Salud Militar que proporciona atención primaria y atención odontológica al personal de la Brigada; además, el personal cuenta con acceso inmediato al Hospital General Francisco de Orellana del Ministerio de Salud Pública de la ciudad en caso de emergencias (GAD Municipal, 2025).

Servicio de Energía Eléctrica

La Brigada de Selva N°19 "Napo" recibe el suministro de energía eléctrica y alumbrado público a través de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) - Unidad de Negocio Coca.

Factores climáticos

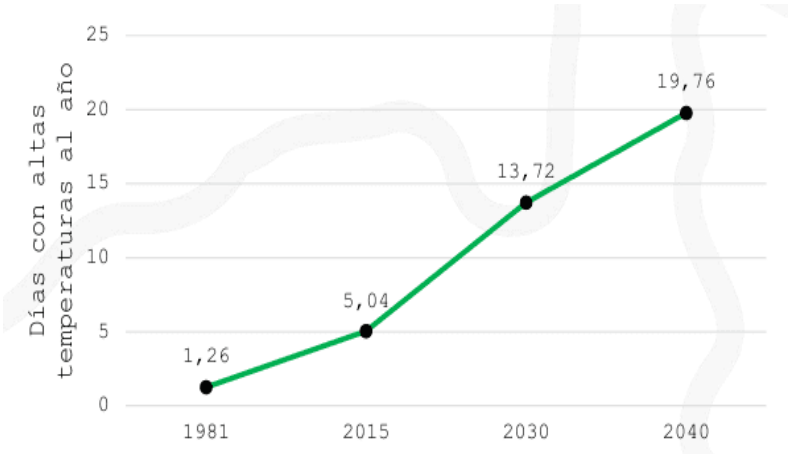
La caracterización climática del área de estudio es fundamenta, dado que las condiciones de la Amazonia ecuatoriana presentan retos significativos para el drenaje hídrico. Los datos de clima fueron recopilados por el GAD de la Provincia de Orellana y su principal fuente la estación meteorológica M0031- El Coca, administrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2026).

Temperatura

En Puerto Francisco de Orellana, el clima se clasifica como Tropical Megatérmico muy Húmedo. La temperatura media anual se mantiene constante en un rango de 25°C a 26.5°C. Las temperaturas máximas absolutas pueden alcanzar los 34°C, mientras que las mínimas rara vez descienden de los 18°C. Esta estabilidad térmica favorece los procesos de tratamiento de aguas residuales mediante sistemas biológicos (como humedales o lagunas), ya que la actividad bacteriana es óptima a temperaturas cálidas y constantes (GAD Municipal, 2025).

Figura 3:

Cuadro estadístico de temperatura.



Nota: Tomado de (GAD Municipal, 2025).

Demarcación Hidrográfica

De acuerdo con la planificación de la Secretaría del Agua (hoy bajo la gestión del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica), el Ecuador se divide territorialmente en nueve demarcaciones hidrográficas. La Brigada de Selva N°19 "Napo" se localiza en el cantón Francisco de Orellana, jurisdicción que pertenece a la Demarcación Hidrográfica del Napo (DHN).

Esta demarcación abarca una extensión aproximada de 31332,80 km² y se caracteriza por pertenecer a la Vertiente del Océano Atlántico, a través de la gran cuenca del río Amazonas. El área de estudio se sitúa específicamente en la zona de confluencia de los ríos Napo, Coca y Payamino, lo que define un entorno de alta sensibilidad hídrica y niveles freáticos superficiales que deben ser considerados en el diseño de las redes de alcantarillado (Ministerio del Ambiente, 2023) .

Precipitación y Escurrimiento

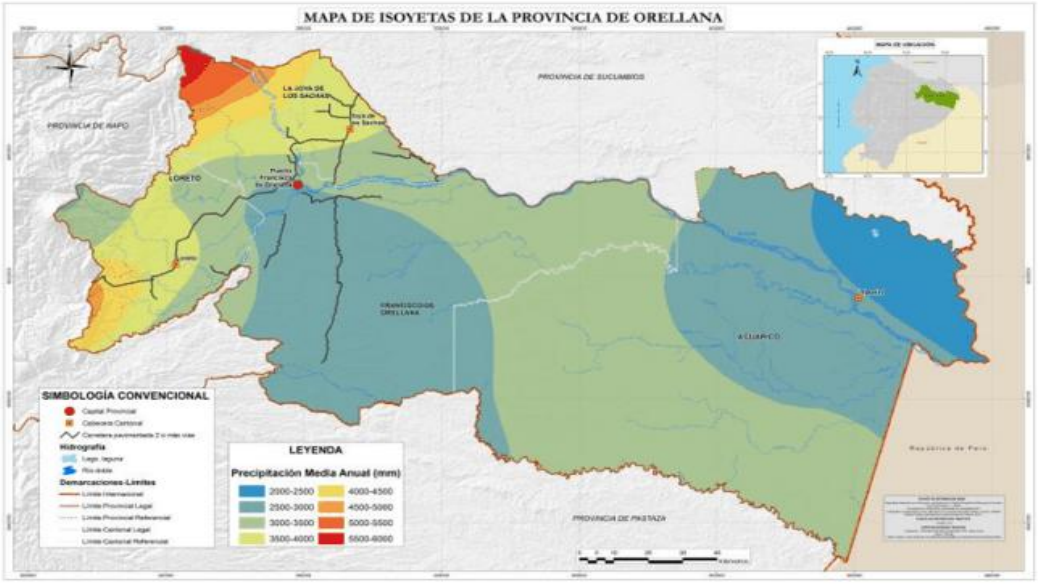
La precipitación es uno de los factores más críticos para el rediseño del sistema de alcantarillado. a diferencia de otras regiones del país, en El Coca no existe una estación seca marcada, ya que las lluvias son persistentes durante todo el año. de esta manera el promedio anual de precipitación oscila entre 3,200mm y 4,500mm, tomando en cuenta que los mayores meses de intensidad suelen ser en mayo, junio y octubre (GAD Municipal, 2025).

Debido a la intensidad de las tormentas amazónicas, el diseño de los colectores pluviales debe considerar un Coeficiente de Escurrimiento que tome en cuenta la baja permeabilidad de los suelos arcillosos de la zona, lo que genera grandes volúmenes de agua en tiempos muy cortos (GAD Municipal de Francisco de Orellana, 2023).

Figura 4:

Mapa de Isoyetas

Figura 16. Mapa de Isoyetas de la provincia de Orellana



Nota: Tomado de (GADPO, 2015).

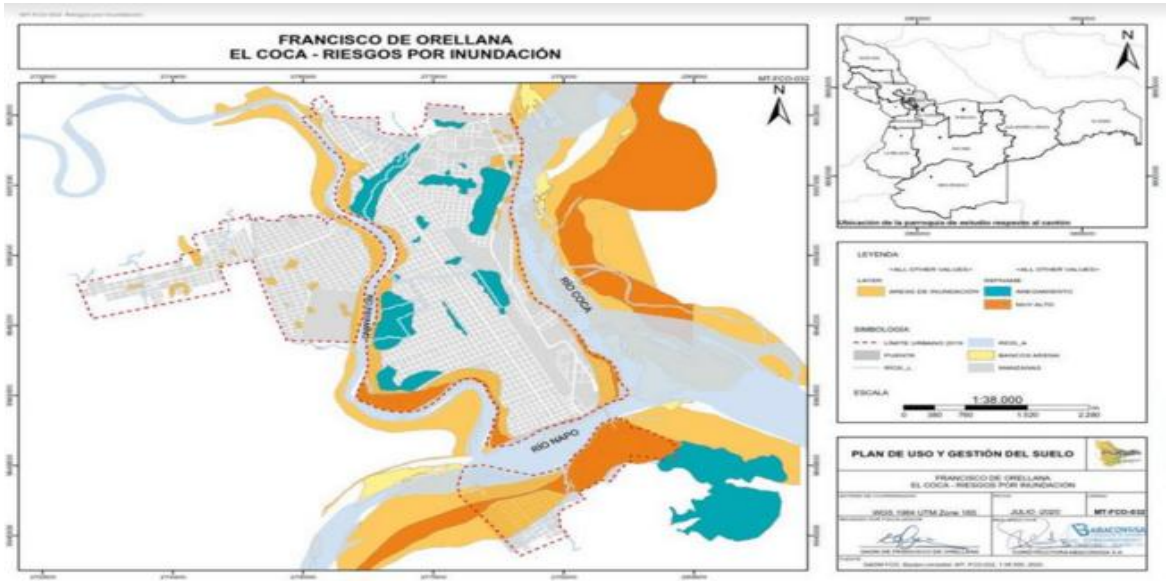
Inundaciones

Las lluvias extremas y prolongadas son la causa principal de inundaciones en Ecuador, elevando el nivel de los cuerpos receptores. Cuando la intensidad de caudal sobrepasa la capacidad del desagüe, se producen desbordamientos. Este fenómeno es habitual en zonas de relieve plano con escasa escorrentía (Barragán Noboa, 2023).

En la provincia de Orellana, el SNGRE identifica una vulnerabilidad alta debido a la dinámica fluvial de los ríos Napo, Coca y Payamino. En la provincia de Orellana, el SNGRE estima una elevada vulnerabilidad a consecuencia del comportamiento de los ríos Napo, Coca y Payamino. La Brigada de Selva N°19 "Napo" presenta una vulnerabilidad latente a inundaciones por su relieve plano y por los elevados niveles freáticos. El riesgo más relevante es el de las crecidas del río Napo ya que pueden bloquear la descarga e inducir reflujos o desencadenar daños estructurales. Por ello, el rediseño debe priorizar un drenaje eficiente para las intensidades pluviales de la región (GAD Municipal de Francisco de Orellana, 2023).

Figura 5:

Mapa de riesgos Inundación Francisco de Orellana.



Nota: Tomado de (GADPO, 2015).

Tabla 1:

Registro de inundaciones provincia de Orellana

Tabla 1.2. Registro de inundaciones provincia de Orellana últimos 40 años

Año	Provincia	Afectaciones
1977-78 y 79	Orellana	Anegaciones perdidas de cultivos
1997-98	Orellana	Anegaciones
1999-2000	Orellana	Napo y Chimborazo
2015-2016	Orellana	Anegamientos calles principales y barrios de la rivera del rio Coca
2017	Orellana	Activar Alojamientos Temporales para brindar Asistencia Humanitaria a los damnificados por las inundaciones
23-07-2018	San José de Huayusa	Inundación comunidades de 10 de agosto y Huambula Hurco
25-10-2019	La Western y Shiripuno	Inundación en el sector de Inés Arango
25-10-2019	Colinas del Dorado	Inundación
27-10-2019	Taracoa (Nueva Esperanza: Yuca)	Inundación Barrios La Libertad, El Cisne, 24 de Mayo y Amazonas

Nota: Tomado de (Barragán Noboa, 2023) .

Parámetros de diseño

Período de diseño

Para el rediseño de la red de alcantarillado sanitario de la unidad militar, el período de diseño es un parámetro rector que define las condiciones básicas del proyecto, tales como: la capacidad del sistema para atender demanda futura, la densidad actual y saturación, la durabilidad de los materiales y equipos, así como calidad constructiva, operación y mantenimiento.

De acuerdo con la normativa, se establece que los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales tendrán un diseño con una vida útil mínima garantizada de 25 años, lo que permitirá que las redes principales, recolectores y elementos que participen en los mismos tengan una vida útil larga y adecuada a su condicionamiento de infraestructura, así como a los costes de renovación y conservación (Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009).

En lo que refiere a sistema de tratamiento de aguas residuales. El período de diseño se adopta conforme a los criterios establecidos en la CPE INEN 5 parte-1, la cual semana que el horizonte de diseño debe ser de al menos 15 años, en este tiempo se considera la vida útil de equipos electromecánicos que está entre 10 y 20 años, mientras que las estructuras civiles presentan duraciones mayores, usualmente del orden de 40 a 50 años, lo cual condiciona la estratégica de selección tecnológica y planificación de reposiciones (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992).

Población

Población Actual

La determinación de la población de diseño, es un aspecto importante en el cálculo de caudales y en el dimensionado de los elementos del sistema de saneamiento. Para ello, se parte del establecimiento de la población existente, que se define mediante un recuento poblacional directo, en función del número de personas que residen en la zona de estudio en el tiempo del diseño (CPE INEN 5 Parte 9-1, 1992).

Por lo tanto, según datos internos de talento humano, la Brigada de Selva N°19 Napo cuanta con una población actual de 724 habitantes.

Población Futura

Para el rediseño del sistema de alcantarillado, la población futura se defina como el número de habitantes que el sistema debe atender al final del periodo de diseño, constituyéndose en un parámetro esencial para estimar los caudales de aguas residuales y dimensionar hidráulicamente los componentes de recolección, conducción y descarga (CPE INEN 5 Parte 9-1, 1992).

En este sentido, a diferencia de entornos urbanos, una unidad militar presenta una dinámica demográfica controlada y administrativamente definida (cupos de alojamiento, personal orgánico). Por ello, y con el propósito de garantizar continuidad del servicio, seguridad sanitaria y capacidad hidráulica suficiente, se adopta un criterio conservador; la población de diseño se toma igual a la capacidad máxima de ocupación del recinto militar, que es de 1104 habitantes, que incluye los escenarios de mayor demanda y ocupación plena.

Dotación

La dotación se define como la cantidad mínima de agua que debe suministrarse a un usuario para satisfacer sus necesidades de consumo, higiene y servicios durante un día promedio. Ese parámetro es la base para el cálculo de los caudales de aguas residuales, ya que estas últimas son una fracción directa del agua consumida.

Debido a las condiciones actuales del área de estudio, se ha identificado una limitación técnica significativa: la inexistencia de registros históricos, de consumo. Actuante, el sector no cuenta con dispositivos de micro medición (medidores domiciliarios) no de sistema de macro medición por parte de la BS 19 “Napo”.

Por esta razón, ante la falta de datos de campo directos, se ha optado por un criterio normativo conservador, fundamentado en la NEC-11 en su capítulo 16: Norma hidrosanitaria-agua.

Tabla 2:

Dotaciones de agua.

Dotaciones para edificaciones de uso específico		
Tipo de edificación	**Unidad**	**Dotación**
Bloques de viviendas	L/habitante/día	200 a 350
Centro comercial	L/m2 área útil /día	15 a 25
Bares, cafeterías y restaurantes	L/m2 área útil/día	40 a 60
Cuarteles	L/persona/día	150 a 350
Escuelas y colegios	L/estudiante/día	20 a 50d

Nota: Tabla tomada de la NEC-11 capítulo 16

De acuerdo con la clasificación de consumos de la NEC-11, y considerando las características funcionales y de ocupación del proyecto, se han tomado como referencia los valores establecidos para “cuarteles”, los cuales se encuentran en un rango de $150 - 350\ l/hab * día$ (NEC-11 capítulo 16, 2011).

Para el presente diseño, y considerando del clima cálido-húmedo de la región amazónica, factor que incrementa la demanda de agua para aseo persona, se ha seleccionado una $Dotación = 250\ \frac{l}{hab*día}$, este valor asegura que la infraestructura de alcantarillado tenga la capacidad suficiente para evacuar los caudales generados, incluso en escenarios de máximo consumo, garantizando la salubridad de los usuarios al final del periodo de diseño.

Caudal de diseño para sistema sanitario

El caudal de diseño se define como el flujo volumétrico estimado para el cual se dimensionan lo conductos, estructuras hidráulicas de un sistema de alcantarillado. Su dimensionamiento es crítico para garantizar que la red tenga la capacidad suficiente para transportar las aguas residuales producidas por la población al final del periodo de diseño, evitando desbordamientos o colapsos funcionales.

El caudal correspondiente al diseño, siempre atendiendo en todo caso a los criterios técnicos fijados, se obtiene por la combinación de los diferentes flujos que da la obtención de la sumatoria de los flujos de aguas residuales de origen doméstico e industrial multiplicados por sus respectivos coeficientes de retorno y de mayoración, así como de la

sumatoria de los flujos de las infiltraciones y de las conexiones ilegales. Las poblaciones y dotaciones serán las que se correspondan al final del periodo de diseño (CPE INEN 5 Parte 9-1, 1992).

Caudal medio diario de aguas residuales domésticas.

La cuantificación de este aporte tiene por punto de partida el caudal medio diario, que es la contribución que se da a lo largo de 24 horas, determinada como el promedio de lo que haya ocurrido durante el transcurso del año.

Cuando no existen aportes de aguas residuales, como es habitual en la mayor parte de los casos, el caudal medio diario se calcula con base en el consumo de agua potable que se haya previsto en el diseño del acueducto.

El caudal medio diario de cada una de las zonas se expresa como:

$$\boldsymbol{Q = \frac{CR * C * D * A}{86400}}$$

$Q = Caudal\ de\ aguas\ residuales\ domésticas\ L/s$

$CR = Coeficiente\ de\ retorno$

$C = Consumo\ de\ agua\ potable, \frac{L}{hab * día}$

$D = Población$

$A = Área\ de\ drenaje, Ha$

(López Cualla, 1995).

Coeficiente de retorno

Es la relación que existe entre el agua residual producida y el agua potable utilizada (CPE INEN 5 Parte 9-1, 1992). El coeficiente se basa en el hecho de que no toda el agua utilizada dentro del domicilio va de vuelta al alcantarillado, por razón de la utilización de dicha agua para riego, limpieza de pisos, en la cocina o para otros fines. Se puede concluir que el porcentaje de agua consumida que finalmente saldrá de vuelta al alcantarillado es entre el 65% y el 85% como rango estadístico (López Cualla, 1995).

Para los cálculos del presente proyecto se tomará un valor para el CR de 0.80.

$$Q = \frac{CR * C * D * A}{86400}$$

$$Q = \frac{0.80 * 250 * 1104}{86400}$$

$$Q_{med} = 2{,}56\ {}^{l}/_{S}$$

Caudal Máximo horario

Caudal máximo de aguas residuales que se podría observar en cualquier año dentro del período de diseño. Periodo

$$\boldsymbol{Q_{MH} = K * Q_{med}}$$

$Q_{MH} = \text{Caudal máximo horario}\ {}^{L}/_{S}$

$Q_{md} = Caudal\ de\ aguas\ residuales\ domésticas\ {}^{L}/_{S}$

$K = Coeficiente\ de\ simultaniedad$

Coeficiente de simultaneidad

Cuantificación de la relación entre el caudal máximo instantáneo y el caudal medio diario en el mismo período. En este caso particular se tomará la expresión de Gaines, que es válida para caudales comprendidos entre $0{,}28\ {}^{l}/_{S}\ y\ 4250\ {}^{l}/_{S}$ (CPE INEN 5 Parte 9-1, 1992).

$$\boldsymbol{K = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{{}^{P}/_{1000}}}}$$

$$K = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{{}^{1104}/_{1000}}}$$

$$K = 3{,}77$$

Por lo tanto

$$Q_{MH} = 3{,}77 * 2{,}56\ {}^{l}/_{S}$$

$$Q_{MH} = 9{,}64\ {}^{L}/_{S}$$

Caudal de infiltración

El caudal de infiltración representa el aporte de aguas exteriores, tanto de origen pluvial como freático, que ingresan de manera involuntaria al sistema de alcantarillado

sanitario. Este fenómeno ocurre a través de juntas defectuosas, fisuras en las tuberías, conexiones domiciliarias mal ejecutadas o por la permeabilidad debido al material de las estructuras.

En el presente proyecto, el cálculo del caudal de infiltración adquiere una importancia técnica determinante debido a las condiciones geográficas y climáticas propias del oriente ecuatoriano, como el nivel freático elevado y precipitaciones de alta intensidad y duración, lo cual genera saturación rápida del suelo y escorrentía (Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009)

Por lo tanto, para el cálculo del caudal de infiltración se tomó como referencia la siguiente tabla:

Tabla 3:

Coeficientes de infiltración.

Coeficientes de infiltración			
Nivel de complejidad del sistema	**Infiltración alta (l/s-ha)**	**Infiltración media (l/s-ha)**	**Infiltración baja (l/s-ha)**
Bajo y medio	0,1 -0,3	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2
Medio alto y alto	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2

Nota: Tabla tomada de la normativa de EMAAP-Q

$$\boldsymbol{Q_{inf}} = \boldsymbol{Coeficiente\ de\ infiltración} * \boldsymbol{Área}$$

$Q = Qmáx\ instantáneo\ de\ infiltración\ (^{l}/_{s})$

$A = Área\ servida\ por\ el\ alcantarillado\ (Ha)$

Por lo tanto

$$Área = 1{,}15\ Ha$$

$$Q_{inf} = 0.4\frac{l}{s * Ha} * 1{,}15\ Ha$$

$$Q_{inf} = 0{,}46\ \frac{\mathrm{l}}{s}$$

Caudal Comercial

El aporte correspondiente al caudal comercial para el presente proyecto se tomará al comedor y cocina que provee de alimentos al personal militar, por lo tanto, según la

normativa INEN la dotación diaria para un comedor es de 40 a 60 l/m2/día, para el presente proyecto se considerará una dotación de 40 l/m2/día (CPE INEN 5 Parte 9-1. Código Ecuatoriano de la Construcción: Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1992).

$$\boldsymbol{Q_{com}} = \textbf{Área útil} * \textbf{dotación}$$

$$Dotación = \frac{40\ l}{m2 * d} * \frac{10000\ m2}{Ha} * \frac{1\ día}{86400\ seg} = 4{,}63\frac{l}{s}$$

$$Área\ útil = 0.15\ Ha$$

$$Q_{come} = 0.15\ \text{Ha} * 4{,}63\frac{l}{s}$$

$$Q_{come} = 0{,}69\frac{l}{s}$$

Caudal Institucional

El aporte correspondiente al caudal institucional para el presente proyecto se calcularán las áreas de las oficinas distribuidas dentro del área total de estudio, y la dotación de agua para oficinas, se calculará a razón de 6 litros/día por m2 de área útil (CPE INEN 5 Parte 9-1. Código Ecuatoriano de la Construcción: Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1992).

$$\boldsymbol{Q_{inst}} = \textbf{Área útil} * \textbf{dotación}$$

$$Dotación = \frac{6\ l}{m2 * d} * \frac{10000\ m2}{Ha} * \frac{1\ día}{86400\ seg} = 0{,}69\frac{l}{s}$$

$$Área\ útil = 0{,}62\ Ha$$

$$Q_{inst} = 0{,}62\ \text{Ha} * 0{,}69\frac{l}{s}$$

$$Q_{inst} = 0{,}43\frac{l}{s}$$

Caudal de diseño

De todo, el caudal de diseño proviene de la suma de los caudales horarios máximos, más el caudal de infiltración y el caudal de aguas ilícitas (CPE INEN 5 Parte 9-1, 1992).

$$\boldsymbol{Q_{diseño} = Q_{MH} + Q_{inf} + Q_{ili} + Q_{int}}$$

$$Q_{diseño} = 9{,}64 + 0{,}46 + 0{,}69 + 0{,}43 \left[{}^{l}/_{s}\right]$$

$$\boldsymbol{Q_{diseño} = 11{,}24\ {}^{l}/_{s}}$$

Caudal de agua lluvia

El cálculo del caudal de escurrimiento superficial directo es clave para asegurar la evacuación efectiva de las aguas de lluvia y eludir inundaciones en el área de intervención. De acuerdo con la normativa técnica de aplicación vigente, se describen tres métodos para poder hallar este caudal: el método racional, el método del hidrograma unitario sintético, y el método del análisis estadístico dado un conjunto de datos observados.

Para efectos del presente proyecto, se ha seleccionado el método racional, debido a que el área de estudio es inferior a las 100 Ha, método recomendado por la normativa, por lo tanto, se tiene la siguiente ecuación para el cálculo del caudal pico de escurrimiento.

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

$Q = Caudal\ máximo\ de\ escurrimiento\ superficial\ \left({}^{m^3}/_{s}\right)$

$C = Coeficiente\ de\ escurrimineto$

$I = Intensidad\ crítica\ de\ la\ lluvia\ \left({}^{mm}/_{h}\right)$

$A = Área\ de\ la\ cuenca\ tributaria\ (Ha)$

(IEOS, 1992).

Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía se define como la relación entre el volumen del agua que escurre superficialmente y el volumen total del agua precipitada, dentro del método racional, el coeficiente integra variables hidrometeorológicas, características morfológicas de

infiltración del suelo y las condiciones de uso, cobertura y ocupación del área de estudio, se toma como referencia la siguiente tabla para seleccionar el coeficiente de escorrentía.

Tabla 4:

Valores coeficiente de escorrentía.

TIPO DE ZONA	VALORES DE C
Zonas centrales densamente construidas, con vías y calzadas pavimentadas	0,7 – 0,9
Zonas adyacentes al centro de menor densidad poblacional con calles pavimentadas	0,7
Zonas residenciales medianamente pobladas	0,55 – 0,65
Zonas residenciales con baja densidad	0,35 – 0,55
Parques, campos de deportes	0,1 – 0,2

Nota: Tomado de (Interagua, 2015, pag.43)

Debido a que la zona de estudio presenta un nivel freático elevado y condiciones de saturación previa del suelo, y uso del suelo se han adoptado modelos conservadores, y de acuerdo con la tabla en referencia, se toma como valor para el cálculo de 0,65 correspondiente a “Zonas residenciales medianamente pobladas”.

Período de retorno

El periodo de retorno (Tr) es el periodo medio expresado en años en el que se espera igualar o superar una lluvia de determinada magnitud. Para el diseño de las redes de alcantarillado pluvial, el Tr determina el nivel de seguridad del sistema e influye de forma directa en la intensidad de lluvia de diseño que se obtiene de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), por lo que el mayor Tr es, en principio, mayores intensidades y, por lo tanto, mayores caudales de diseño.

La selección del Tr debe equilibrar riesgo aceptable, costos y consecuencias asociadas a la ocurrencia de inundaciones o anegamientos. En este sentido, entidades técnicas recomiendan adoptar períodos de retorno diferenciados de acuerdo con el tipo de ocupación e importancia del área. Para este proyecto se considera la guía de períodos de retorno según tipos de ocupación tomada de la EMAAP-Q. (EMAAP-Q, 2009).

Tabla 5:

Períodos de retorno para diferentes ocupaciones del área en micro drenaje.

Tipos de ocupación	Tr (años)
Residencial	5
Comercial	5
Área con edificios de servicio público	5
Aeropuertos	10
Áreas comerciales y vías de tránsito intenso	10-25
Áreas comerciales y residenciales	25
Áreas de importancia específica	50-100

Nota: Tomado de (EMAAP-Q, 2009)

En el área de intervención corresponde a una unidad militar, la cual se caracteriza por albergar infraestructura institucional estratégica, áreas operativas, circulación interna y servicios cuya interrupción puede generar impactos relevantes en términos de seguridad, logística y continuidad operativa. Por su naturaleza, este tipo de instalación se asimila al grupo de “áreas de importancia específica” categoría que recomienda un Tr de 50-100 años (EMAAP-Q, 2009).

En consecuencia, para el cálculo del caudal de aguas lluvia de diseño del presente proyecto se adopta un $Tr = 50\ años$, esta elección proporciona un nivel de protección adecuado frente a eventos de lluvia intensa, reduciendo la probabilidad de anegamientos que puedan afectar la operación de la instalación. Asimismo, esta decisión es coherente con el contexto climático de la región amazónica, donde se registran precipitaciones frecuentes y potencialmente intensas con precipitaciones en promedio son de 2800 a 4500 mm de lluvia al año, por lo que resulta conveniente un criterio de diseño conservador (GAD Municipal de Francisco de Orellana, 2025).

Tiempo de concentración

Tiempo de concentración Tc es el intervalo requerido para que el escurrimiento generado en el punto hidráulicamente más alejado de una cuenca o subcuenca alcance el punto de control (sumidero o sección de análisis). Cuando transcurre el Tc, se considera que toda el área tributaria aporta simultáneamente el escurrimiento, alcanzándose el caudal pico asociado a la tormenta de diseño.

En el diseño de redes de alcantarillado pluvial mediante el método racional, la intensidad de lluvia se selecciona para una duración igual al Tc y para el período de retorno adoptado, debido a que la intensidad promedio de precipitación depende inversamente de la duración del evento (INAMHI, 2015a).

En Ecuador, el cálculo hidrológico e hidráulico de sistemas de alcantarillado se desarrolló conforme a normas técnicas aplicables a obras sanitarias, entre ellas, las Normas técnicas del ex IEOS incorporadas al Código Ecuatoriano de la Construcción (CO 10.07-601), empleadas como referencia base para el diseño de la infraestructura de agua y saneamiento (IEOS, 1992). La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$T_c = T_e + T_t$$

donde:

$Tc = \ Tiempo\ de\ concentración\ (minutos)$.

$Te = \ Tiempo\ de\ entrada\ (minutos)$.

$Tt = \ Tiempo\ de\ recorrido\ (minutos)$.

En cuanto al Te, se usa la recomendación de la EMAAP-Q que menciona que el tiempo inicial es de mínimo 5 min (EMAAP-Q, 2009).

$$T_e = 5\ min$$

Para calcular el tiempo de recorrido se usa la ecuación de Manning:

$$T_t = \frac{L}{60 * v}$$

donde:

$Tt = \ Tiempo\ de\ recorrido\ (minutos)$.

$L = \ Longitud\ de\ la\ tubería\ o\ tramo\ de\ red\ (m)$.

$v = \ Velocidad\ media\ del\ flujo\ (m/s)$.

Tabla 6:

Constante α de velocidad superficial.

Tipo de superficie	α
Bosque con sotobosque denso	0,70
Pastos y patios	2,00
Áreas cultivadas con surcos	2,70
Suelos desnudos	3,15
Áreas pavimentadas y tramos iniciales de quebradas	6,50

Nota: Tomado de (Interagua, 2015)

De acuerdo con la zona de estudio se considera el tipo de superficie como Bosque con sotobosque denso que corresponde a 0.70.

Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación (i) corresponde a la tasa media de lluvia (mm/h) asociada a una duración (t) y a un tiempo de retorno (Tr), se obtiene a partir de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y se adopta para una duración equivalente al tiempo de concentración (Tc) del área tributaria, dado que el caudal pico se presenta cuando toda la cuenca contribuye al escurrimiento en el punto del control.

Para el presente proyecto, ubicado en el cantón Francisco de Orellana, se emplearán las curvas IDF oficiales del INAMHI, tomando como estación representativa la estación M0293 PALMORIENTE-HUACHITO.

Tabla 7:

Ecuaciones IDF para la estación Palmoriente-Huachito.

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO	ECUACIONES
CÓDIGO	NOMBRE	(minutos)	
M0293	PALMORIENTE-HUACHITO	5-30 30-120 120-1440	$i = 178{,}2773 * T^{0{,}1778} * t^{-0{,}2592}$ $i = 668{,}8093 * T^{0{,}1971} * t^{-0{,}6529}$ $i = 2532{,}89 * T^{0{,}1387} * t^{-0{,}9023}$

Nota: Obtenido de (INAMHI, 2015b).

Para el presente trabajo, se utiliza el primer intervalo:

$$i = 668{,}8093 * T^{0{,}1971} * t^{-0{,}6529}$$

$$i = 668{,}8093 * 50^{0{,}1971} * 30^{-0{,}6529}$$

$$i = 156{,}9\, {}^{mm}/_{h}$$

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

$$Q = \frac{0.65 * 156{,}9 * 30}{360}$$

$$Q = 8{,}50 \frac{m^3}{s}$$

Tratamiento de aguas residuales

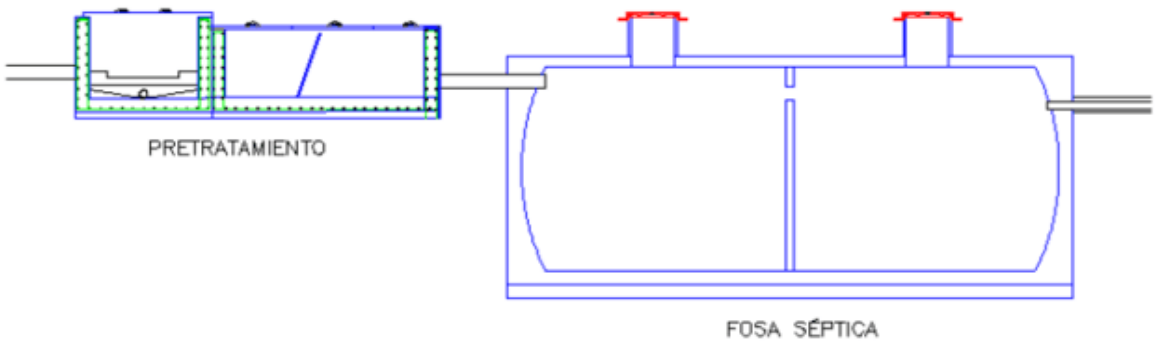
Para el tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en el proyecto, se propone un esquema de depuración basado en procesos naturales de bajo consumo energético, en el cual el tratamiento primario estará constituido por una etapa de separación física de solidos sedimentables y flotantes, mientras que la depuración posterior se realizará mediante humedales artificiales, debido a su simplicidad operativa, bajo costo de mantenimiento y adecuada adaptación a contextos con disponibilidad de terreno.

Desde el punto de vista de la ingeniería sanitaria, la configuración más recomendable no es usar el humedal como única etapa inicial, sino precederlo por unidades que reduzcan sólidos gruesos, arena, grasas y carga sedimentable, para lo cual se plantea el uso de un canal de desbaste y rejilla, tanque sedimentario, seguido del humedal artificial de flujo horizontal (García & Corzo, 2008a).

En Ecuador, el marco principal de control ambiental para descargas de efluentes es el AM 097 A, que establece que las descargas que no cumplan con los parámetros permisibles deben ser tratadas adecuadamente y cumplir con los parámetros de la Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, y que está prohibida la descarga de residuos líquidos sin tratamiento a cuerpos de agua [MAE] (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015).

Figura 6:

Esquema de tratamiento previo para un sistema de Humedales.



Nota: tomado de (García & Corzo, 2008a).

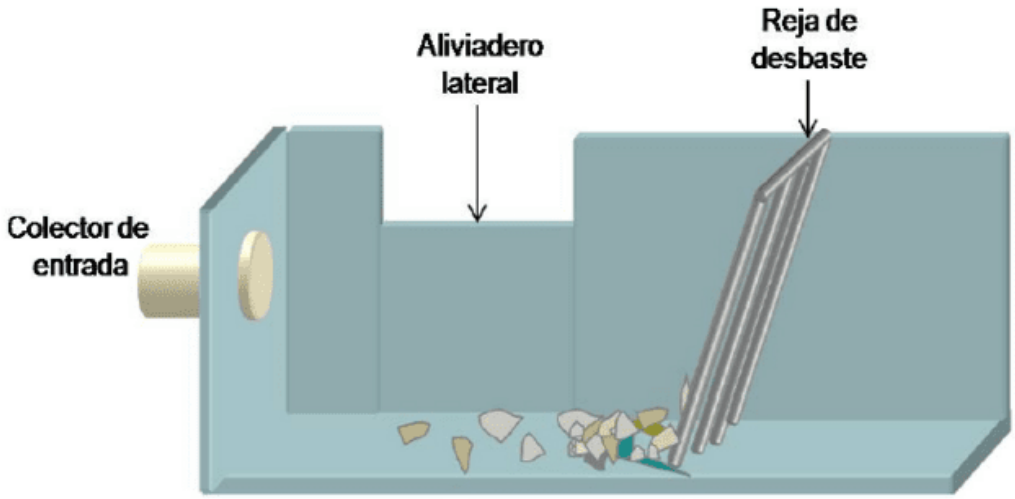
Pretratamiento

El pretratamiento corresponde a la primera etapa del sistema de tratamiento de aguas residuales y tiene como finalidad proteger las unidades posteriores removiendo sólidos gruesos, flotantes, plásticos, trapos , ramas y otros residuos que podrían dañar equipos y reducir la eficiencia del tratamiento primario y secundario, en este proceso unitario se considera un canal de desbaste con rejilla el cual hace las funciones de desbaste y desarenado de forma simultánea, este canal está ubicado al ingreso de la planta de tratamiento, antes del tanque de sedimentación primario.

La implementación de este proceso unitario es indispensable para evitar obstrucciones en el sedimentador, reducir acumulación de sólidos y proteger el funcionamiento hidráulico de los procesos subsiguientes (García & Corzo, 2008a).

Figura 7:

Esquema de un canal de desbaste.



Nota: Esquema tomado de (García & Corzo, 2008b).

Para el cálculo del canal de desbaste se deben realizar los siguientes cálculos:

Tabla 8:

Parámetros necesarios para el diseño de un canal de desbaste.

Valores recomendados de los parámetros necesarios para el diseño de un canal de desbaste y sus respectivas rejas		
Características	**Reja de gruesos**	**Reja de finos**
Modo de funcionamiento	Manual	Automático
Anchura de los barrotes (mm)	>12	<6
Luz entre barrotes (mm)	50-100	10-25
Pendiente en relación a la vertical (grados)	30-45	
Velocidad de aproximación (m/s)	0,3-0,6	
Pérdida de carga admisible (m)	0,15	0,15

Nota: tabla tomada de (García & Corzo, 2008b).

Ancho útil de paso

Primero se fija un valor de partida para el ancho del canal entre 0.2 y 2 m dependiendo del colector de entrada, y luego se determina el ancho útil de paso:

$$W_u = (A_c - n * A_b) * \left(1 - \frac{G}{100}\right)$$

Donde:

$Wu = ancho\ útil\ de\ paso, en\ m.$

$Ac = ancho\ de\ canal, en\ m.$

$n = número\ de\ barrotes.$

$Ab = ancho\ de\ barrotes, en\ m.$

$G = grado\ de\ colmatación, normalmente\ se\ utiliza\ un\ valor\ de\ 30\ \%.$

(García & Corzo, 2008a)

Calado

El calado necesario para un grado de colmatación determinado se determina

$$h = \frac{Q}{v} * \frac{1}{W_u}$$

Donde:

$h = calado, en\ m.$

$Q = caudal\ de\ paso, en\ m3/s.$

$v = velocidad\ de\ aproximación, en\ m/s.$

(García & Corzo, 2008a).

- ***Longitud***

La longitud necesaria del canal en la zona de las rejas se determina considerando la velocidad de aproximación del agua y el tiempo hidráulico, que está en un intervalo de 5 a 15 segundos.

$$L = T_H * v$$

Donde:

$L = largo\ del\ canal, en\ m.$

$TH = tiempo\ de\ retención, en\ s.$

$v = velocidad\ de\ aproximación\ del\ agua, en\ m/s.$

Largo y ancho de canal de desarenado

Para establecer estas dimensiones del canal para desarenado se usan los valores de la siguiente tabla.

Tabla 9:

Parámetros recomendados para diseño de desarenadores.

Valores recomendados de los parámetros necesarios para el dimensionamiento de desarenadores.		
Parámetro	**Intervalo**	**Valor típico**
Carga hidráulica	-	<70m3/m2*hora (a Qmáx)
Velocidad horizontal del agua	0,2-0,4 m/s	<6
Tiempo de retención	45-90 s	10-25
Longitud	20-25 veces la altura de la lámina de agua	
Relación Largo-ancho	1,5-3	2

Nota: Tomado de (García & Corzo, 2008b)

$$L = T_H * v_H$$

Donde:

$L = largo\ del\ canal\ correspondiente\ a\ la\ zona\ de\ desarenado, en\ m.$

$TH = tiempo\ de\ retención, en\ s.$

$vH = velocidad\ horizontal\ del\ agua, en\ m/s.$

$$W = \frac{L}{relación\ largo - amcho}$$

Donde:

$W = ancho\ del\ canal, en\ m.$

$L = largo\ del\ canal, en\ m.$

$A\ continuación, se\ verifica\ la\ carga\ superficial$:

$$C_s = \frac{Q}{L * W}$$

Donde:

$Cs = carga\ superficial, en\ m3/m2 \times h.$

$Q = caudal\ en\ m3/h.$

$L = largo\ del\ canal, en\ m.$

$W = ancho\ del\ canal, en\ m.$

Si la carga superficial es menor a 70m3/m2*hora a Qmáx, el dimensionamiento es correcto, caso contrario, se recomienda aumenta la longitud del canal (García & Corzo, 2008a).

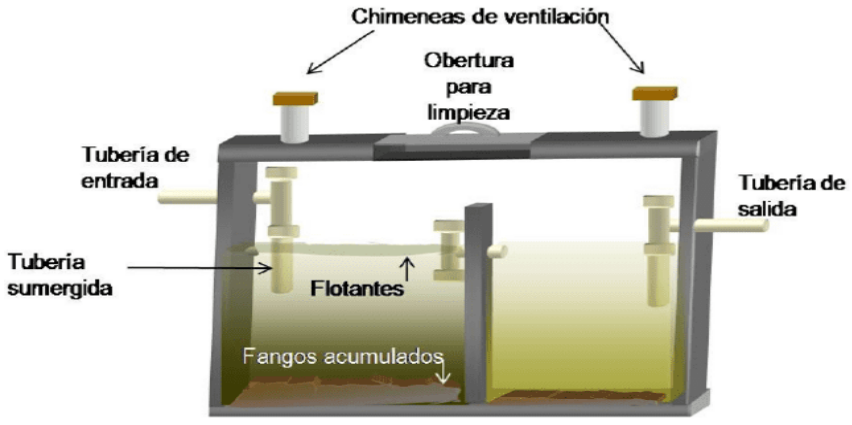
Tratamiento primario: tanque de sedimentación primario

El tratamiento primario tiene como finalidad de remover los sólidos sedimentables y parte de la materia orgánica presente en el agua residual doméstica mediante procesos físicos de separación por gravedad, dentro de esta etapa, el tanque de sedimentación primario permite que las partículas con mayor densidad que el agua el agua se depositen en el fondo, formando lodos primarios, mientras que los materiales flotantes como grasas, natas y espumas son retenidos en la superficie para su posterior remoción.

En el presente proyecto, el sedimentador primario se incorpora antes del humedal artificial de flujo horizontal, con el objetico de disminuir la carga de sólidos suspendidos, y materia orgánica que ingresará al sistema natural de tratamiento, esta disposición es importante porque reduce el riesgo de colmatación del medio granular del humedal, mejora la distribución hidráulica del afluente y prolonga la vida útil del sistema secundario (OPS, 2005).

Figura 8:

Esquema tanque sedimentador.



.

Nota: Esquema de cámara de sedimentación (García & Corzo, 2008b).

Parámetros de diseño que se debería tener en cuenta en un tanque sedimentado:

- Un contenido de nitrógeno amoniacal inferior a 200 mg
- N/L, con la finalidad de no inhibir el metabolismo bacteriano
- Un volumen de agua de dilución igual o superior a 40 L/hab*día
- El uso de un desengrasador en caso de que la concentración de grasas sea mayor de 150 mg/L, para evitar que lleguen hasta los humedales y obturan el medio granular
- Debe existir un resguardo libre del nivel de agua, en general de 0,3 m

  En las fosas enterradas, la capa de tierra no debe ser superior a 0,4 m con el fin de permitir un fácil acceso (García & Corzo, 2008a).

Cálculos para el dimensionamiento del tanque sedimentador.

Primero se determina un tiempo de retención del agua y junto con el caudal diario se determina el volumen para agua:

$$V_{agua} = T_H * Q_{med,d}$$

Donde:

$V = agua\ el\ volumen\ de\ agua, en\ m3.$

$TH = tiempo\ de\ retención, en\ días.$

$Qmed, d = caudal\ medio\ diario, en\ m3/d.$

En base al volumen calculado, se adopta una altura de agua y una relación largo/ancho para calcular las dimensiones:

$$V_{agua} = \mathrm{L} * \mathrm{A} * \mathrm{h}$$

Donde:

$L = el\ largo, en\ m.$

$A = el\ ancho, en\ m.$

$H = la\ altura\ de\ agua, en\ m.$

Luego se calcula el volumen ocupado por los lodos:

$$V_{lodos} = v_{acumulación} * 365 * P_{vaciado} * N$$

Donde:

$Vlodos = volumen\ ocupado\ por\ los\ lodos, en\ m3.$

$Vacum = velocidad\ de\ acumulación\ de\ lodos, en\ L/hab \times día.$

$Pvaciado = periodicidad\ del\ vaciado, en\ años.$

$N = número\ de\ habitantes.$

Altura del volumen de lodos:

$$h_{lodos} = \frac{V_{lodos}}{S} = \frac{V_{lodos}}{L * A}$$

Se define la altura de resguardo, lo que permite definir el volumen correspondiente:

$$V_{resguardo} = S * h_{resguardo}$$

Finalmente, el volumen de la fosa es:

$$V = V_{agua} + V_{lodos} + V_{resguardo}$$

(García & Corzo, 2008a).

Tratamiento secundario: humedal de flujo horizontal

El tratamiento secundario para PTAR en la BS 19 “Napo” corresponde a un humedal artificial de flujo superficial horizontal, sistema en el cual el agua residual circula de manera horizontal a través de un medio granular, en contacto con las raíces, rizomas de la vegetación y la biopelícula microbiana adherida al sustrato, este tipo de humedal se caracteriza por operar con nivel de agua por debajo de la superficie del medio granular, reduciendo el contacto con el agua residual, la generación de olores y la proliferación de vectores.

En el contexto del área del proyecto que corresponde a la región amazónica, este sistema resulta técnicamente adecuado por tratarse de una alternativa de bajo consumo energético, operación sencilla y buena integración ambiental.

La vegetación debe estar compuesta por macrófagas emergente adaptadas a zonas húmedas, la guía menciona especies como Phragmites, Typha y Scirpus, recomendando usar especies propias de la flora local siempre que sea posible. (García & Corzo, 2008a).

- ***Dimensionamiento de superficie***

$$S = \frac{Q}{K_A} \ln\left(\frac{C_0}{C_1}\right)$$

Esta ecuación es la recomendada para dimensionar la superficie de humedales de flujo horizontal, donde los valores de Q y Co se determinan a partir de los estudios de caracterización del afluente y C1 en los límites de vertido a los objetivos de calidad establecidos en la normativa correspondiente.

- ***Caudal del diseño***

Para el caudal se recomienda tomar el máximo diario para asegurarse de que el sistema absorberá bien las puntas de caudal.

$$Q = K_s * A_s * S$$

Donde:

$Q = caudal, en\ m3/d.$

$ks = ductividad\ hidráulica\ en\ m3/m2 \times d.$

$As = sección\ del\ humedal\ perpendicular\ a\ la\ dirección\ del\ flujo, en\ m2.$

$S = gradiente\ hidráulico\ o\ pendiente\ (dh/dL), en\ m/m.$

Tabla: valores de Ks

(García & Corzo, 2008a).

- ***Dimensiones del humedal***

$$A_s = \frac{Q_{med.d}}{K_s * s}$$

- ***Longitud y ancho del humedal***

$$W = \frac{A_s}{h}$$

Donde:

$W = ancho, en\ m.$

$h = profundidad, en\ m.$

Tabla 10:

Valore de ks para diseño de humedal.

Conductividad hidráulica (ks) en función del tipo de material granular utilizado como substrato en un humedal construido de flujo subsuperficial			
Tipo de substrato	**Tamaño efectivo D10 (mm)**	**Porosidad (%)**	**Conductividad hidráulica Ks (m3/m2×d)**
Arenas graduadas	2	28-32	100-1000
Arenas gravosas	8	30-35	500-5000
Gravas finas	1	35-38	1000-10000
Gravas medianas	32	36-40	10000-50000
Rocas pequeñas	128	38-45	50000-250000

Nota: Valores de Ks para diseño de humedal (García & Corzo, 2008b).

$$L = \frac{S}{W}$$

Por último, se verifica que la relación largo/ancho sea como mínimo de 1:1, en caso de que no cumpla con esta condición se debe dividir la superficie total en diferentes celdas que funcionarían en paralelo (García & Corzo, 2008a).

Capítulo III: Resultados y Discusión

Topografía

El levantamiento topográfico se realizó mediante fotogrametría con dron y puntos de control tomados con el método GNSS RTK–NTRIP y procesados con el software Argis de la BS 19 “Napo”.

Figura 9:

Levantamiento topográfico con dron.



El método consiste en ejecutar un vuelo programado con dron, capturando imágenes aéreas con traslapes longitudinales y laterales adecuados, las cuales serán procesadas posteriormente mediante software fotogramétrico para general ortomosaico, nube de puntos, modelo digital del terreno y curvas de nivel.

Figura 10:

Levantamiento de puntos con metodología NTRIP.



El levantamiento de puntos mediante NTRIP (Networked Transporto of RTCM via Internet Protocol), es una técnica de posicionamiento geodésico que permite obtener coordenadas de alta precisión en campo utilizando un receptor GNSS RTK conectado a internet y funciona como un sistema que trasmite correcciones diferenciales en tiempo real desde una estación base o red GNSS permanente hacia el receptor móvil.

Mediante estos sistemas vuelo de dron orto fotogrametría y levantamiento de puntos mediante NTRIP se logró la obtención de modelo digital del terreno y puntos georreferenciados como se muestra:

Figura 11:

Modelo digital del terreno.



En el modelo del terreno se identifican claramente las edificaciones existentes, vías internas, áreas verdes, zonas arboladas y el límite del predio; sobre el modelo se incorporó el modelo digital del terreno mediante curvas de nivel generadas cada 0,5 m, lo que permite visualizar la configuración altimétrica del terreno, el área de estudio es de 30 Ha.

Las curvas de nivel evidencian variaciones topográficas con sectores de mayor pendiente en los bordes laterales y zonas más suaves hacia áreas centrales. Esta información resulta fundamental para el análisis de pendientes, definición de escorrentías superficiales, trazado de redes de alcantarillado y ubicación de estructuras hidráulicas dentro del proyecto.

Figura 12:

Plano topográfico de la 19 BS "Napo".



Todas las coordenadas están dadas en metros, sistema de referencia UTM-WGS 84, zona 18 sur; los niveles están en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), todas las dimensiones están dadas en metros.

Sistema de alcantarillado actual.

El levantamiento del catastro del sistema de alcantarillado existente en la unidad militar se realizó con el propósito de identificar y evaluar las condiciones actuales de la infraestructura sanitaria y pluvial; para ello se efectuó la inspección de las cajas de revisión, tuberías, sumideros, rejillas, conexiones internas y puntos de descarga, completando la medición de cotas, profundidades, material y estado físico de cada componente.

La información recabada fue registrada en fichas catastrales y esquemas para poder elaborar un plano verdadero del funcionamiento del sistema actual. Este catastro constituye la base técnica para poder evaluar la capacidad hidráulica de la red existente, definir tramos

reutilizables, establecer elementos que requieran mantenimiento o sustitución y establecer los criterios de diseño para el nuevo sistema de alcantarillado de la unidad militar.

Figura 13:

Levantamiento catastral del sistema de alcantarillado actual.



Tabla 3:

Detalle de Pozos existentes.

PTO	ESTE	NORTE	Z
Pt1	947.802,257	9.946.449,662	262,279
Pt2	947.760,797	9.946.467,294	262,887
Pt3	947.702,547	9.946.484,339	262,265
Pt4	947.667,156	9.946.519,695	261,577
Pt5	947.652,353	9.946.534,963	260,690
Pt6	947.624,857	9.946.507,474	260,201
Pt7	947.576,273	9.946.457,752	259,257
Pt8	947.562,803	9.946.444,085	259,124
Pt9	947.547,378	9.946.428,467	258,988
Pt10	947.532,703	9.946.413,562	258,906
Pt11	947.562,124	9.946.383,849	262,439

Pt12	947.576,540	9.946.398,288	262,570
Pt13	947.591,120	9.946.412,841	262,620
Pt14	947.606,337	9.946.427,982	262,706
Pt15	947.556,397	9.946.480,972	260,389
Pt16	947.589,726	9.946.533,063	258,244
Pt17	947.626,097	9.946.570,923	258,283
Pt18	947.692,090	9.946.637,879	259,058
Pt19	947.453,223	9.946.526,378	254,946
Pt20	947.384,410	9.946.568,889	254,718
Pt21	947.402,700	9.946.613,359	254,702
Pt22	947.375,538	9.946.624,658	254,101
Pt23	947.340,911	9.946.616,764	254,698
Pt24	947.426,973	9.946.674,101	254,233
Pt25	947.443,657	9.946.726,699	253,976
Pt26	947.471,130	9.946.715,741	253,614
Pt27	947.477,280	9.946.733,260	253,391
Pt28	947.498,435	9.946.754,453	253,360
Pt29	947.522,148	9.946.810,656	253,089
Pt30	947.498,172	9.946.875,013	252,351
Pt31	947.472,112	9.946.943,747	252,815
Pt32	947.540,293	9.946.945,038	251,640
Pt33	947.554,004	9.946.958,996	252,290
Pt34	947.547,798	9.946.979,210	252,487
Pt35	947.608,502	9.946.955,577	252,797
Pt36	947.656,686	9.946.956,698	253,560
Pt37	947.659,523	9.946.941,087	253,202
Pt38	947.722,059	9.946.958,476	254,777
Pt39	947.762,524	9.946.959,069	255,413
Pt40	947.786,083	9.946.889,132	254,791
Pt41	947.725,677	9.946.834,807	255,072
Pt42	947.703,436	9.946.833,743	257,397
Pt43	947.735,969	9.946.783,755	255,185
Pt44	947.777,812	9.946.726,103	260,940

Catastro de los pozos evaluados.

Figura 14:

Fichas catastrales del sistema de alcantarillado existente.

PROYECTO: CATASTRO DE LA RED EXISTENTE DE ALCANTARILLADO
BRIGADA DE SELVA No 19 "NAPO"

Elaborado por: SANCHEZ JOHNNY OROZCO VINICIO — Revisado por: Ing. Darío Bolaños PhD.

FORMULARIO N°	1		
Cota tapa (msnm)	260,69		
H. Pozo (m)			
Fecha	18 de abril 2026		
Hoja N°	6	de	44

COORDENADAS	
Este (m)	947652
Norte (m)	9946534

ALCANTARILLADO	
Pluvial	
Sanitario	
Combinado	X

REGRESAR AL ÍNDICE



Calle	19BS
Zona	El Coca
Tipo de Calzada	Lastre
Vereda	No tiene
Observaciones	Ninguna

ESTADO DEL MATERIAL

Pozo N° 1	Diámetro (m)	Material: SI	NO	Asbesto	Ladillo	Bloque	H.A.	Estado: Bueno	Regular	Malo
Tapa	0,6	X						X		
Paredes		X					X		X	
Zócalo		X					X		X	
Fondo		X					X		X	
Escalera			X							
Estado en General								X		
Diámetro Pozo (m)	1							X		

TUBERÍA

N° Flujo	Descripción	Diámetro (mm)	Altura (m)	Material: H.S	PVC	HIERRO
1	Tubería de descarga	200	1,14		X	
2	Tubería de descarga	200	1,45		X	
3	Tubería de avance	200	1,45		X	
4	Tubería de descarga	200	0,98		X	
5	Tubería de descarga	200	1,35		X	
6	Tubería de descarga	200	1,08		X	

Una vez realizadas las fichas catastrales se pudo obtener la siguiente información:

- No existe alcantarillado pluvial el alcantarillado existente es sanitario
- 44 pozos de revisión en total.
- 05 pozos tapados con material sedimentario
- 03 pozos con estructura rota lo que provoca que el agua residual contamine el área.
- La tubería del alcantarillado sanitario es de PVC corrugado

Evaluación de la infraestructura existente.

Como parte del diagnóstico técnico que se realizó en la unidad militar, se llevó a cabo el levantamiento y evaluación del sistema de alcantarillado existente, atendiendo a los criterios establecidos en las Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones comprendidas entre más de 1000 habitantes definidas en el Código Ecuatoriano de la Construcción parte IX Obras Sanitarias, CO 10.07-601. La normativa establece que para los sistemas existentes de alcantarillado, se tiene que recabar información sobre sus características, su estado actual, el tipo de sistema,

así como la ubicación, la profundidad de pozo de revisión, y las obras complementarias (Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1992).

Durante la inspección de campo se determinó que la infraestructura actual corresponde únicamente a un sistema de alcantarillado sanitario. Sin que exista una red independiente para evacuación de aguas lluvias, esta condición no se ajusta al criterio normativo, y que establece la necesidad de evaluar técnicamente un sistema más adecuado en fusión al área de estudio.

En relación con el sistema de alcantarillado sanitario existente, se verificó que varios tramos no cumplen con los parámetros hidráulicos mínimos establecidos por la normativa, principalmente en cuanto a velocidades de flujo, pendientes y diámetros de tubería, constatando que las velocidades del flujo excedían a 4,5 m/s, valor recomendado por la tabla para evitar erosión llegando a velocidades de 6 m/s en algunos tramos.

Durante la evaluación física de la infraestructura se detectaron además fallas estructurales en pozos de revisión, tales como deterioro de paredes internas, presencia de sedimentos, filtraciones y rotura total del hormigón provocando desborde de las aguas residuales, y no cumplía con el diámetro mínimo de 0,9 m para pozos de revisión ya que todos los pozos son de 0,6 m (Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1992).

En síntesis, el diagnóstico del alcantarillado existente evidencia que la infraestructura actual no cumple con parámetros hidráulicos y estructurales establecidos por la normativa.

Diseño de la nueva Red de Alcantarillado Sanitario.

El rediseño del sistema de alcantarillado sanitario se plantea a partir de los resultados obtenidos en la evaluación de la infraestructura existente. El nuevo sistema se ajusta a criterios establecidos en las Normativa CO 10.07-601.

El sistema se plantea con una red separada destinada a la recolección y conducción de aguar residuales domésticas; para el dimensionamiento de la red se considerarán la población servida, la dotación de agua potable, el coeficiente de retorno, el caudal medio

diario, el caudal máx instantáneo, la infiltración y posibles aportes no controlados, cada tramo será verificado hidráulicamente mediante el cálculo de pendientes, diámetro, velocidad y capacidad de conducción, procurando mantener condiciones de autolimpieza (Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1992).

Coeficiente de rugosidad.

El coeficiente de rugosidad depende del material de las tuberías a utilizar, en el presente proyecto se utilizará PVC, por lo tanto, el coeficiente de rugosidad será de 0,011 dentro de la fórmula de Manning para los cálculos posteriores (Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009).

Tabla 12:

Valores de n para fórmula de Manning.

Material	"n" Manning
PVC, PFV, PEAD	0,011
Hormigón, premoldeado.	0,013 a 0,014

Nota: Recuperado de (EMAAP-Q)

Velocidad mínima.

La red sanitaria debe cumplir condiciones de autolimpieza. Según la normativa para el alcantarillado sanitario se recomienda una velocidad mínima aproximada de 0,45 m/s, siendo preferible que sea mayor a 0,6 m/s, esto evita la acumulación de sólidos, formación de depósitos, malos olores y obstrucciones

Velocidad máxima.

Debe verificarse que la velocidad máxima no produzca erosión o desgaste en la tubería, la normativa señala velocidades máximas según el material, para el presente proyecto es de 4,5 m/s para tuberías plásticas (Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1992).

Porcentaje de ocupación.

Debido a que las redes de alcantarillado no deben trabajar completamente llenas durante la operación. Por criterio técnico se recomienda que le tirante hidráulico máximo no supere el 80 % de ocupación en relación al diámetro de la tubería.

Este criterio permite mantener una zona libre superior dentro de la tubería para la circulación de aire, ventilación de gases, variaciones de caudal y seguridad hidráulica del sistema conforme lo establece la normativa CO 10.07.601 (Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1992).

Pozos de revisión

Los pozos de revisión deben rediseñarse o rehabilitarse debido a las fallas estructurales detectadas. La normativa establece que los pozos deben ubicarse en cambios de sección, cambios de pendiente, confluencias y tramos rectos a distancias establecidas, como referencia la normativa siguiere:

Para tuberías menores a 350 mm, la distancia entre pozos puede ser de 100 m, para tuberías entre 400 mm y 800 mm, puede ser de 200 m, y el diámetro mínimo del pozo debe ser de 0,9 m.

En el diseño, el pozo cuenta con: tapa, estructura impermeable, cota de tapa, cota de fondo, canaleta interna, conexiones alineadas, acceso seguro para mantenimiento (Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1992).

Profundidad de instalación y recubrimiento.

Las tuberías deben instalarse con un recubrimiento suficiente para protegerlas de las cargas externas; la normativa indica que, en zonas de tránsito vehicular, deben existir un recubrimiento mínimo adecuado sobre la calve de la tubería mínimo de 1,20 m, y en zonas peatonales se puede evaluar una profundidad menor siempre que se garantice protección estructural (Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1992).

Punto de descarga.

El punto de descarga del sistema de alcantarillado sanitario se lo realizará en las coordenadas 9947090 N – 9946921,64 E a un pozo de descarga, donde el agua residual será bombeada a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Diseño de la estación de bombeo de aguas residuales

Tabla 13:

Datos de diseño

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal de diseño (Q)	L/s	11,24
Caudal de diseño	m³/s	0,01124
Altura estática	m	10,00
Longitud de impulsión	m	10,00
Tipo de agua	-	Residual doméstica
Número de bombas	-	2 (1 trabajo + 1 reserva)
Tipo de descarga	-	Canal abierto rectangular
Profundidad del canal	m	0,40

Criterios de diseño

El sistema se diseña considerando:

Bombeo mediante bombas sumergibles.

Descarga hacia un canal abierto rectangular.

Velocidades recomendadas en tuberías de impulsión entre **0,80 y 2,00 m/s**.

Tubería de PVC Presión PN10.

Consideración de pérdidas por fricción y pérdidas locales.

Resumen de diseño

Tabla 14:

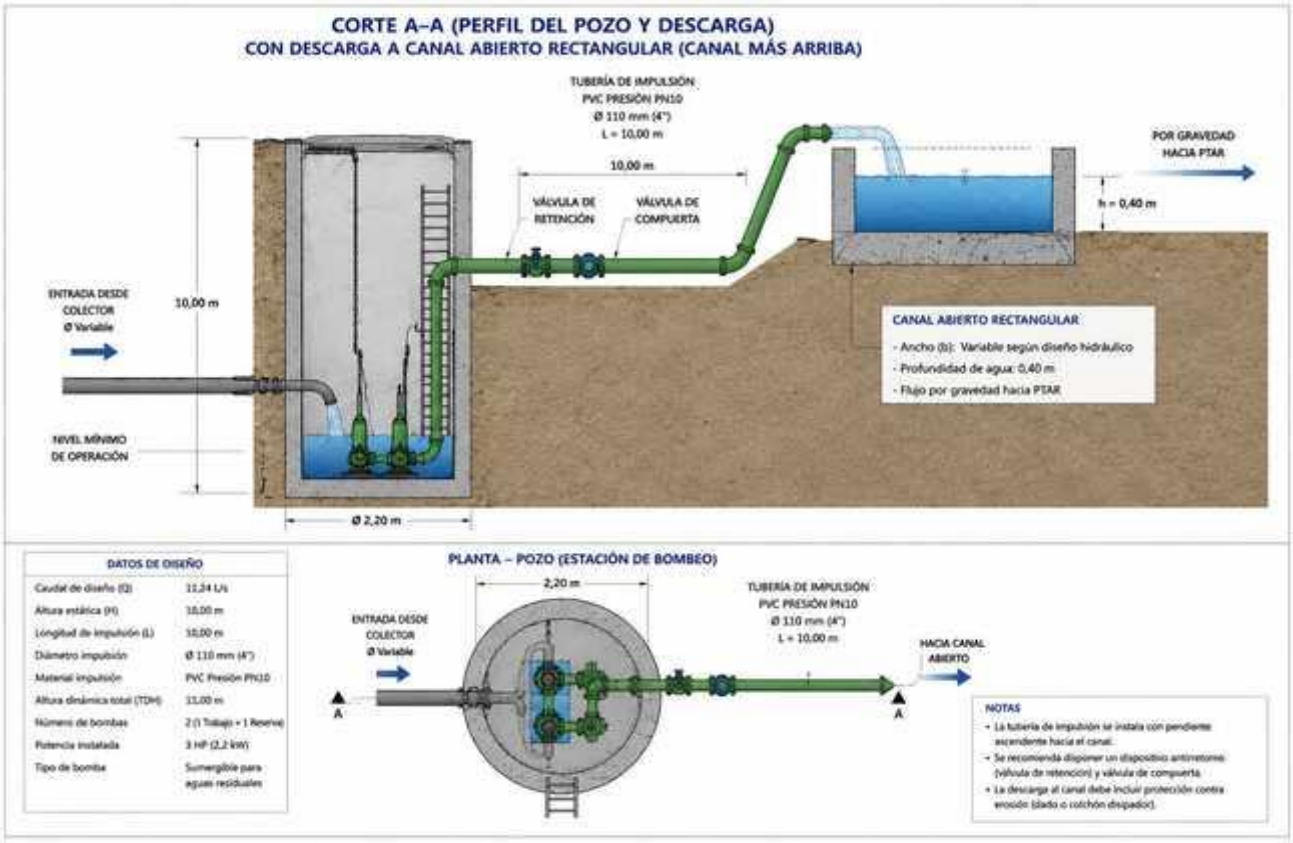
Resultados de diseño de estación de bombeo de aguas residuales

Concepto	Resultado
Caudal	11,24 L/s
Altura estática	10,00 m
Longitud impulsión	10,00 m
Pérdidas	0,80 m
TDH	11,00 m
Diámetro impulsión	Ø110 mm

Concepto	Resultado
Material	PVC Presión PN10
Velocidad	1,18 m/s
Potencia hidráulica	1,21 kW
Potencia instalada	2,20 kW (3 HP)
Tipo de bomba	Sumergible para aguas residuales
Número de bombas	2 (1 trabajo + 1 reserva)

Figura 15:

Esquema pozo de descarga de aguas residuales domésticas.



Modelación del sistema de alcantarillado sanitario.

SewerGEMES es un software de modelación hidráulica utilizado para analizar, diseñar y operar sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, con el programa se verifican parámetros como caudales, velocidades, pendientes, capacidad hidráulica y niveles de llenado, permitiendo comparar alternativas de diseño mediante escenarios, facilitando la toma de decisiones técnicas (Bentley, 2026).

Figura 16:

Propuesta de diseño de alcantarillado sanitario.



Los resultados del modelado del alcantarillado sanitario se encuentran en el apéndice 1

Diseño del sistema de alcantarillado pluvial.

El diseño del alcantarillado pluvial va enfocado a corregir la deficiencia principal encontrada en la unidad militar, ya que actualmente no hay una infraestructura específica para recolectar, conducir y descargar las aguas lluvias, el diseño se basa en la norma CO. 10.07-601 para poblaciones mayores a 1000 habitantes y la norma de diseño de alcantarillado de la EMAAP-Q.

Delimitación de áreas tributarias

Para el diseño pluvial se deben definir las áreas tributarias que aportan escorrentía a cada sumidero, colector o unto de descarga, la normativa indica que el análisis pluvial debe considerar la topografía, áreas de aporte, cuencas de drenaje y condiciones futuras de

desarrollo (Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1992).

En el diseño del alcantarillado pluvial se usó un modelo digital del terreno con curvas de nivel a 0.5 m para identificar la dirección natural del escurrimiento y dividir el predio en subcuencas.

Caudal de diseño pluvial

Para el cálculo del caudal de diseño se usó el método racional, este método es adecuado para áreas menores a 100 ha, la intensidad de lluvia se calculó a partir de los datos proporcionados por la estaciono hidrológica Palmoriente (Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009).

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Diámetro de tubería

Para redes de alcantarillado pluvial el diámetro mínimo es de 400 mm con el fin de evitar obstrucciones en el colector ocasionado por agentes externos, para tramos iniciales el diámetro mínimo es de 300 mm siempre y cuando cumpla con velocidades mínimas y máximas y funcionamiento hidráulico (Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009).

Velocidades

La velocidad mínima permisible es de 0,6 m/s para garantizar condiciones de autolimpieza, evitando sedimentación, acumulación de arenas, hojas, sólidos y material de arrastre, además, se debe verificar un tirante mínimo de 5 cm en pendientes fuertes y de 7,5 cm en condiciones normales, con el fin de reducir el riesgo de azolves dentro del conducto.

Para la velocidad máxima se depende el material de la tubería, debido al riesgo de abrasión, desgaste o daño estructural, en el caso del presente proyecto el material a usar es PVC, que de acuerdo a la normativa establece una velocidad máxima de 7,5 m/s (Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009).

Pendientes

La pendiente mínima debe ser suficiente para garantizar la velocidad de autolimpieza, para tuberías pluviales de 400 mm, la normativa establece como referencia 0,5 %, sin embargo, no debe adoptarse como un valor fijo, el diseño debe adaptarse a parámetros hidráulicos como el caudal, rugosidad y velocidad resultante.

La pendiente máxima será aquella que no produzca velocidades superiores a las máximas permisibles para el material de la tubería, en caso que existan pendientes fuertes, se recomienda usar estructuras de disipación de energía para evitar erosión (Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009).

Profundidad de instalación

Los sistemas de alcantarillado pluvial deben estar a una profundidad que garantices el drenaje por gravedad, y que su estructura sea protegida por cargas exteriores, sin embargo, la normativa establece que no debe ser menor a 1,5 m de profundidad

La profundidad máxima está en el orden de los 5 m, aunque puede ser mayor si se justifica adecuadamente las condiciones geotécnicas y constructivas (Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009).

Porcentaje de ocupación.

Debido a que las redes de alcantarillado no deben trabajar completamente llenas durante la operación. Por criterio técnico se recomienda que le tirante hidráulico máximo no supere el 80 % de ocupación con relación al diámetro de la tubería.

Figura 17:

Propuesta de diseño de alcantarillado pluvial.



Los resultados del modelado del alcantarillado pluvial se encuentran en apéndice 1.

Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales - humedal de flujo horizontal.

Parámetros de análisis

Para el diseño de la plata de tratamiento de aguas residuales se realizó la caracterización del afluente mediante análisis de laboratorio, con el propósito de determinar la calidad inicial del agua residual y establecer las cargas contaminantes que ingresan al sistema.

Tabla 15:

Resultados de análisis de laboratorio de aguas residuales.

Ítem	Análisis solicitados	Unidad	Código de muestra a 38 594	Límite máximo Permisible
1	Sólidos totales	mg/L	932	1 600
2	Coliformes totales	ufc/100 mL	3,5x10^17	**
3	*Nitrógeno total	mg/L	20	50
4	*Sólidos suspendidos	mg/L	146	130
5	Demanda bioquímica de oxigeno	mg/L	145	100
6	Demanda química de oxígeno	mg/L	420	200
7	Coliformes fecales	NMP/100 mL	1,6x10^9	2 000
8	Nitrógeno amoniacal	mg/L	6,6	30

Nota: Resultados tomados en el laboratorio de la ciudad de El Coca.

Una vez se tiene los resultados del análisis de laboratorio podemos continuar con el diseño de la PTAR, con el objetivo de que los parámetros de evaluación del agua una vez tratada sea vertida en un cuerpo de agua dulce según la tabla 9 del AM 097 A.

Dimensiones de la planta de tratamiento (PTAR).

Pretratamiento

Se presenta los resultados obtenidos según la metodología expuesta en el apartado Materiales y Métodos.

El pretratamiento se diseñó un canal de desbaste con reja de gruesos, con una longitud de 1,5 m, ancho de canal de 0,3 m y altura total de 1,5 m, ancho de canal de 0,3 m y altura total de 0,45 m, incluyendo un resguardo de 0,2 m. la reja considera barrotes de 15 mm de diámetro y separación de 30 mm, y porcentaje de colmatación de 30%.

Estas condiciones permiten la retención de sólidos gruesos, protegiendo las unidades posteriores del sistema, especialmente el sedimentador primario frente a obstrucciones y acumulación de sólidos.

Resultados reja y canal de desbaste.

$$D_b = 15\ mm$$

$$Esp\ b = 30\ mm$$

$$Colmatación = 30\%$$

$$Ancho\ canal = 0{,}3\ m$$

$$Wu = 0{,}16\ m$$

$$Vel\ de\ paso = \ 0{,}3\ m/s$$

$$h = 0{,}24\ m$$

$$Resguardo\ 0{,}2\ m$$

$$H\ canal\ 0{,}45\ m$$

$$T\ retención = 5\ seg$$

$$L = \ 1{,}5\ m$$

Tratamiento primario.

El tratamiento primario corresponde a la cámara de sedimentación cuya metodología se expuso en el apartado Materiales y Métodos.

Se consideró cálculos previos de como el caudal de diseño de 0,0112 m3/s, tiempo de retención adoptado de 2 horas y una profundidad de 3 m y carga superficial de diseño de 40 m3/m2*día, a partir de esos parámetros se obtuvo un volumen útil teórico de 80,92 m3 y un área superficial requerida de 26,976 m2.

Para la configuración geométrica se adoptó una relación L=4B, obteniendo dimensiones de 2,5 m de ancho y 10 m de largo, con estas dimensiones el volumen real de la planta es de 75 m3, generando un tiempo de retención de 1,85 horas valor que se mantiene dentro del rango aceptable para sedimentación primaria y la carga superficial calculada es de 38,85 m3/m2*día, un valor menor al adoptado, por lo que el diseño cumple con el criterio hidráulico establecido.

Adicionalmente, se verificó una velocidad horizontal de 0,00149 m/s, equivalente a 0,0898 m/min, valor inferior al límite de 0,3 m//min. Por lo tanto, la cámara presenta

condiciones favorables para la sedimentación de partículas y la reducción de sólidos antes del ingreso.

Resultados cámara de sedimentación: los cálculos se encuentran en su respectivo apéndice 9.

$$Q_d = 0{,}0112\ {}^{m^3}/_{S}$$

$$T\ retención = 2\ horas$$

$$Profundidad\ útil = 3\ m$$

$$Largo = 10\ m$$

$$Ancho = 2{,}5\ m$$

Lecho de secado de lodos.

Para el manejo de los lodos generados en el sistema de tratamiento se diseñó un lecho de secado, cuya función es deshidratar los lodos mediante drenaje y evaporación, reduciendo se volumen y facilitando su posterior retiro, transporte y disposición final, este sistema es adecuado para sistemas de tratamiento pequeñas.

Los parámetros importantes a considerar es la población servida de 10104 habitantes, una producción percápita de 200 l/hab*día, un caudal de 971 m3/día y una DQO de 320 mg/L. Con estos datos, se adoptó una producción diaria de lodo de 77,69 kg ST/día, lo que produce un descarte de lodos cada 30 días.

Resultados cámara de sedimentación: los cálculos se encuentran en su respectivo apéndice 9.

$$Longitud = 11{,}3\ m$$

$$Ancho = 11{,}3\ m$$

$$Altura\ total = 1\ m$$

$$Tiempo\ de\ secado\ de\ lodos = 21\ días$$

$$Frecuencia\ de\ descarte = 30\ días$$

Humedal superficial horizontal.

Para el cálculo se consideró un caudal de 971,14 m3/día, una constante cinética KA= 0,08 m/d, con una concentración de entrada de Co = 101,5 mg/L y una concentración objetivo de salida de C1=100 mg/L, obteniéndose una superficie requerida de 108,74 m2, un ancho de 10,79 m y una longitud de 16,75 m, con una relación de 1,55 cumpliendo con el criterio geométrico recomendado La metodología se detalla en la sección Materiales y Métodos.

Resultados humedal horizontal: los cálculos se encuentran en su respectivo apéndice 9.

$$Q_d = 0{,}0112 \ {}^{m^3}/_{s}$$

$$h = 0{,}5 \ m$$

$$Longitud = 16{,}70 \ m$$

$$Ancho = 10{,}80 \ m$$

$$Gravas = 1\frac{1}{2} \ pulg$$

Capítulo IV: Presupuesto

Análisis de precios unitarios

En el análisis de precios unitarios se detalla el desglose de cada rubro considerando material, equipos, mano de obra, transporte. Los salarios y precios son considerados del año 2026 detallado en cada apéndice.

Presupuesto referencial

En base a las cantidades de obra obtenidas de cada plano de cada plano realizado en el software AutoCad.

Tabla 16:

Presupuesto referencial de alcantarillado sanitario.

Presupuesto referencial del alcantarillado sanitario					
Costo indirecto					0%
Nro	**Rubro**	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio unitario**	**Precio total**
1	Replanteo y nivelación (alcantarillado)	m	2162	$ 41.05	$ 88,750.10
2	Movimiento de tierras: excavación a máquina	m3	154.52	$ 2.44	$ 377.03
3	Tubería PVC 200 mm estructurada INEN 2059	m	851.77	$ 8.38	$ 7,137.83
4	Movimiento de tierras: excavación a máquina	m3	2162	$ 8.38	$ 18,117.56
5	Pozo de revisión f'c = 210 kg/cm² incluye tapa (5 - 10 m)	u	4	$ 1,162.64	$ 4,650.56
6	Pozo de revisión f'c = 210 kg/cm² incluye tapa (0 - 2 m)	u	21	$ 658.64	$13,831.44
7	Pozo de revisión f'c = 210 kg/cm² incluye tapa (2 - 3 m)	u	5	$ 796.28	$ 3,981.40
8	Pozo de revisión f'c = 210 kg/cm² incluye tapa (3 - 5 m)	u	6	$ 1,003.45	$ 6,020.70
9	Entibado de zanja	m2	1081	$ 10.53	$ 11,382.93
10	Rotura de carpeta asfáltica incluye cortadora de asfalto e = 4"	m2	432.4	$ 10.84	$ 4,687.22
11	Reposición de carpeta asfáltica e = 4" en caliente inc. Imprimación	m2	432.4	$ 24.63	$ 10,650.01
12	Sub-base clase 1a inc. Transporte	m3	432.4	$ 7.05	$ 3,048.42
13	Sub-base clase 3a inc. Transporte	m3	432.4	$ 8.14	$ 3,519.74
14	Replantillo de hormigón simple f'c = 180 kg/cm²	m3	216.2	$ 71.33	$15,421.55
15	Encofrado y desencofrado de madera	m2	306.28	$ 7.23	$ 2,214.40
16	Junta impermeabilizante PVC 18 cm	m	121	$ 1.02	$ 123.42
17	Picado de pozo existente, empate de tubería y sellado	u	72	$ 55.13	$ 3,969.36
Total					$197,883.67

Tabla 17:

Presupuesto referencial de alcantarillado pluvial.

Presupuesto					
Costo indirecto					0%
Nro	**Descripción**	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio unitario**	**Precio total**
1	Replanteo y nivelación (alcantarillado)	m	2696	$ 40.65	$ 109,592.40
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS: EXCAVACIÓN A MÁQUINA 0 a 4m	m3	3671.48	$ 2.44	$ 8,958.41
3	Desalojo de material de excavación con máquina	m3	1209.11	$ 2.84	$ 3,433.87
4	Relleno compacto de zanja en capas de 20 cm máx.	m3	2462.38	$ 2.46	$ 6,057.45
5	Tubería PVC 1050 mm estructurada INEN 2059	m	333	$ 600.88	$ 200,093.04
6	Tubería PVC 975 mm estructurada INEN 2059	m	351	$ 540.99	$ 189,887.49
7	Tubería PVC 875 mm estructurada INEN 2059	m	320	$ 491.01	$ 157,123.20
8	Tubería PVC 760 mm estructurada INEN 2059	m	177	$ 178.03	$ 31,511.31
9	Tubería PVC 650 mm estructurada INEN 2059	m	141	$ 135.08	$ 19,046.28
10	Tubería PVC 540 mm estructurada INEN 2059	m	588	$ 98.42	$ 57,870.96
11	Tubería PVC 440 mm estructurada INEN 2059	m	534	$ 64.08	$ 34,218.72
12	Tubería PVC 400 mm estructurada INEN 2059	m	186	$ 45.30	$ 8,425.80
13	Tubería pvc 315 mm estructurada INEN 2059	m	66	$ 21.08	$ 1,391.28
14	Pozo de revisión f'c = 210 kg/cm² incluye tapa (0 - 2 m)	u	27	$ 658.64	$ 17,783.28
15	Pozo de revisión f'c = 210 kg/cm² incluye tapa (2 - 3 m)	u	15	$ 796.28	$ 11,944.20
16	Pozo de revisión f'c = 210 kg/cm² incluye tapa (3 - 5 m)	u	3	$ 1,003.45	$ 3,010.35
17	Entibado de zanja	m2	1887.2	$ 10.53	$ 19,872.22
18	Rotura de carpeta asfáltica incluye cortadora de asfalto e = 4"	m2	1348	$ 10.84	$ 14,612.32
19	Reposición de carpeta asfáltica e = 4" en caliente inc. Imprimación	m2	1348	$ 24.63	$ 33,201.24
20	Sub-base clase 1a inc. Transporte	m3	1213	$ 7.05	$ 8,551.65
21	Sub-base clase 3a inc. Transporte	m3	1348	$ 8.14	$ 10,972.72
22	Replantillo de hormigón simple f'c = 180 kg/cm²	m3	1887.2	$ 71.33	$ 134,613.98
23	Encofrado y desencofrado de madera	m2	332.96	$ 7.23	$ 2,407.30
24	Junta impermeabilizante pvc 18 cm	m	150	$ 1.02	$ 153.00
25	Picado de pozo existente, empate de tubería y sellado	u	90	$ 55.13	$ 4,961.70
Total					$ 1,089,694.17

Tabla 18:

Presupuesto referencial de Humedal.

Nro	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
PLANTA DE TRATAMIENTO					
1	Desbroce, desbosque y limpieza	m2	1.375,00	$ 0,46	$ 632,50
REJILLAS					
2	Replanteo y nivelación para estructuras	m2	5,00	$ 1,40	$ 7,00
3	Excavación mecánica	m3	4,50	$ 3,41	$ 15,35
4	Tubería PVC U/E Ø 100 mm 1.25 MPa (MAT/TRANS/INST)	m	16,00	$ 23,06	$ 369,02
5	Rejilla de desbaste	m	1,00	$ 169,52	$ 169,52
6	Hormigón f'c=210 kg/cm2	m3	0,12	$ 297,17	$ 35,66
7	Replantillo hormigón simple f'c=140 kg/cm2	m3	0,02	$ 157,46	$ 2,52
8	Impermeabilizante	m2	0,20	$ 9,41	$ 1,88
9	Acero de refuerzo en barras fy = 4200 Kg/cm2	kg	40,00	$ 1,89	$ 75,72
LECHO DE SECADO					
10	Replanteo y nivelación para estructuras	m2	255,38	$ 1,40	$ 357,53
11	Excavación mecánica	m3	255,38	$ 3,41	$ 870,85
12	Hormigón f'c=210 kg/cm2	m3	34,60	$ 297,17	$ 10.282,08
13	Replantillo hormigón simple f'c=140 kg/cm2	m3	7,66	$ 157,46	$ 1.206,14
14	Impermeabilizante	m2	264,00	$ 11,54	$ 3.046,56
15	Acero de refuerzo en barras fy = 4200 Kg/cm2	kg	1.364,00	$ 1,89	$ 2.582,05
16	Tubería de PVC Ø 110mm MAT/TRANS/INST)	m	18,00	$ 16,62	$ 299,08
17	Grava clasificada para filtros	m3	25,55	$ 27,82	$ 710,80
21	Codos PVC 90° Ø 160 mm	u	3	$ 17,03	$ 51,09
TANQUE DE SEDIMENTADOR PRIMARIO					
22	Replanteo y nivelación para estructuras	m2	28,84	$ 1,40	$ 40,38
23	Excavación mecánica	m3	136,00	$ 3,41	$ 463,76
24	Hormigón f'c=210 kg/cm2	m3	18,05	$ 169,12	$ 3.052,63
25	Replantillo hormigón simple f'c=140 kg/cm2	m3	0,87	$ 157,46	$ 136,99
26	impermeabilizante	m3	3,52	$ 11,54	$ 40,62
27	Acero de refuerzo en barras fy = 4200 Kg/cm2	kg	2.859,00	$ 1,88	$ 5.374,92
28	Tubería de PVC Ø 200mm (MAT/TRANS/INST)	m	12,22	$ 23,11	$ 282,40
29	Tapa sanitaria 0.80x1.00m	u	1,00	$ 242,39	$ 242,39
30	Llaves de paso	u	1,00	$ 8,51	$ 8,51
HUMEDAL HORIZONTAL					
31	Excavación a máquina de 0 a 2 m	m3	162,81	$ 2,94	$ 478,89

32	Provisión y colocación de plantas ornamentales en áreas esteriores	m2	180,90	$ 10,26	$ 1.856,17
33	Limpieza y desbroce de capa vegetal con maquinaria	m2	180,90	$ 1,27	$ 229,13
34	Replanteo y nivelación para estructuras	m2	180,90	$ 1,40	$ 253,01
35	Dreness subterráneos, tubería de drenaje PVC 90 mm	m	163,00	$ 44,95	$ 7.327,35
36	Tubería de PVC Ø 110mm MAT/TRANS/INST)	m	106,00	$ 16,62	$ 1.761,26
37	Tubería de PVC Ø 160mm MAT/TRANS/INST)	m	134,00	$ 22,41	$ 3.003,23
38	Tubería de PVC Ø 200mm MAT/TRANS/INST)	m	12	$ 24,25	$ 290,98
39	Suministro y colocación de material filtrante para sistemas de drenaje	m3	893,13	$ 18,02	$ 16.093,12
CERRAMIENTO					
40	Replanteo y nivelación lineal	m	148,32	$ 1,76	$ 261,04
41	Cerramiento de tubo con malla	m	148,32	$ 51,68	$ 7.665,18
42	Puerta peatonal	u	1,00	$ 289,34	$ 289,34
43	Limpieza final de obra	m2	1.375,00	$ 2,99	$ 4.108,50
TOTAL					$ 73.975,16

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El área de estudio abarca una superficie de 30 hectáreas que pertenecen a la Brigada de Selva N° 19 “NAPO” en la ciudad de El Coca. Se realizaron curvas de nivel a 50cm, además en esta área de estudio la cota más alta es 266 msnm y la cota más baja es 250msnm. Para el tratamiento de las aguas residuales después del análisis del terreno se definió las coordenadas 9947090 N – 9946921,64 E y para los efluentes del agua lluvia se definió como punto final de descarga del cuerpo hídrico principal del rio Napo en las coordenadas 9946947 N – 947466 E).

El diagnóstico del sistema de alcantarillado y tratamiento actual evidencio muchos fallos en su infraestructura ya que se encontraron sedimentos, falta de mantenimiento, diámetros insuficientes y pozos colapsados, además no cuenta con una red pluvial independiente, por ende, la infraestructura sanitaria combinada presenta graves fallas operativos y de esta manera podemos evaluar que no es necesario un mantenimiento, sino una nueva infraestructura hidrosanitaria.

El nuevo diseño del sistema de alcantarillando sanitario se estructuró de forma independiente ajustándose estrictamente a las pendientes y velocidades de autolimpieza de acuerdo con la normativa vigente. Esta red se extiende a lo largo de 2008,2 m, con tuberías de 100 mm a 150 mm de diámetro, lo que optimiza sensiblemente el desempeño hidráulico general. Por su parte, la red pluvial abarca 2685,2 m de longitud y utiliza diámetros de 300mm hasta 1,050 mm, satisfaciendo la totalidad de los parámetros exigidos.

La caracterización físico-química de las aguas residuales crudas en la zona demostró el incumplimiento de los límites de descarga que establecen en el Acuerdo ministerial 097-A, así mismo se registraron niveles críticos de contaminación con valores de DBO de 145 mg/L, DQO de 420 mg/L y coliformes fecales de 1.6x10^9 NMP/100ml, confirmando un impacto ambiental negativo sobre el cuerpo receptor del Rio Napo.

Se desarrollo una propuesta integral de saneamiento para la unidad militar, respaldada por su memoria de cálculo, planos, análisis de precios unitarios y un

presupuesto referencial para el alcantarillado sanitario de 197.883,67 USD. El alcantarillado pluvial con un presupuesto referencial 1.089.694,17 USD. Este monto se compone de la red sanitaria, la red pluvial independiente y una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales por Humedales Horizontales con sedimentador de 75 m3.

Bibliografía

Acuerdo Ministerial 097-A, Legislation 097-A (2015).

Angos Cosios, A. del C., & Pandi Paredes, O. G. (2025). *Evaluación y rediseño del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de la Compañía de Ingenieros N.º 1 "Quitumbe". Santa Rosa, El Oro.* [Tesis de titulación]. UFA-ESPE.

Barragán Noboa, J. C. (2023). *Escenarios de Riesgo Climático Asociados al Caudal del Río Coca en la Provincia de Orellana: Recomendaciones de Política para los Gobiernos Nacional y Local* [Tesis para obtener título de especialización]. FLACSO.

Bentley. (2026). *OpenFlows Sewer | Hydraulics Modeling Software | Bentley Systems*. https://www.bentley.com/software/openflows-sewer/.

Comisión Nacional del Agua. (2019a). *Libro 20. Alcantarillado Sanitario*.

Comisión Nacional del Agua. (2019b). *Libro 25. Introducción al tratamiento de aguas residuales municipales.*

Constitución de la República del Ecuador 2008, Legislation Art.14 (2008).

CPE INEN 5 Parte 9-1. Código Ecuatoriano de la Construcción: Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, Legislation CPE INEN 5 Parte 9-1:1992 Primera Edición, Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) (1992).

EL CONSEJO PROVINCIAL DE LA PROVINCIA DE ORELLANA. (2020, diciembre). *ORDENANZA N° 10-CPO-GADPO-2020*. https://www.gporellana.gob.ec/resources/uploads/desarrollo/2019/ORDENANZA-Y-ACTUALIZACI%C3%93N-PDOT_INCLUYE-POST-PANDEMIA-fusionado-.pdf?utm_source=chatgpt.com

GAD Municipal de Francisco de Orellana. (2023). *GAD Municipal de Francisco de Orellana*. https://orellana.gob.ec/

GAD Municipal de Francisco de Orellana. (2025). *Datos del Cantón Francisco de Orellana*. https://orellana.gob.ec/datos_canton/.

GAD Municipal, P. de O. (2025). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. https://orellana.gob.ec/media/archivos/Rendicion__de_cuentas/2024/0/Plan_de_Desarrollo_y_Ordenamiento_Territorial.pdf.

GADPO. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de de orellana 2015-2019*.

García, J., & Corzo, A. (2008a). *Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*.

García, J., & Corzo, A. (2008b). *Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*.

INAMHI. (2015a). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*.

INAMHI. (2015b). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*.

INAMHI. (2026). *INAMHI*. https://servicios.inamhi.gob.ec/anuarios-metereologicos/

López Cualla, R. Alfredo. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Escuela Colombiana de Ingeniería.

Méndez Flores, S. A. (2011). *Diseño del alcantarillado sanitario, pluvial y tratamiento de aguas servidas de la Urbanización San Emilio* [Tesis de grado, USFQ]. http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/608

Ministerio de Defensa Nacional. (2015). *Ministerio de Defensa Nacional*.

Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2023). *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. https://www.gob.ec/maae

MINISTERIO DEL AMBIENTE, A. Y. T. E. (2024, junio). *Ministerio Del Ambiente, Agua Y Transición Ecológica*. https://bi.regulacionagua.gob.ec/advanced/frontend/web/adjuntoreg10/adjuntosautorizaciones/2024/9nnKnlx-Rksi_aST6MC2Os98qXs9VoTT_17-12-2024.pdf?utm_source=chatgpt.com

Naciones Unidas. (2023). *Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible*. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/.

NEC-11 capítulo 16 (2011).

Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, Legislation 01-AL-EMAAP-Q-2009 (2009).

Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes (1992).

OPS. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*.

Parra Lucio, M. B., & Patajalo Villalta, S. A. (2025). *Evaluación y rediseño del sistema de alcantarillado y saneamiento del Fuerte Militar "Huancavilca", Guayas. Zona Administrativa* [Tesis de Titulación]. UFA-ESPE.

Proaño, O. (2025). *Informe de Ejecucion del Presupuesto Participativo 2024 de la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado*.

Terán Christián. (2025). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales,* .

Apéndice