TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO EN EL ASENTAMIENTO IRREGULAR EL EDÉN, QUINTANA ROO, MÉXICO

TITULACIÓN INTEGRAL

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE

ARQUITECTA

Presenta:

LITZY VALERIA AGUILAR GUZMÁN

Directora:

DRA. CLARA SUGEYDY TORRES UICAB

Ciudad de Chetumal, Quintana Roo

Febrero de 2025

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO EN ASENTAMIENTO IRREGULAR EL EDÉN, QUINTANA ROO, MÉXICO

TITULACIÓN INTEGRAL

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE

ARQUITECTA

Presenta:

LITZY VALERIA AGUILAR GUZMÁN

Directora:

DRA. CLARA SUGEYDY TORRES UICAB

Revisoras:

M.A. Nínive Margely Navarrete Canto

M.D.S.B. Laura Isabel Guarneros Urbina

Ciudad de Chetumal, Quintana Roo

Febrero de 2025

AGRADECIMIENTOS

Es un honor utilizar este espacio para expresar un profundo agradecimiento a quienes han contribuido a la realización de este proyecto de vida, posibilitando la culminación de un grado más de estudio y de esta tesis.

En primer lugar, extiendo mi más profundo y sentido agradecimiento a mis padres, cuyo apoyo constante, amor incondicional, colaboración e inspiración fueron fundamentales para alcanzar este nivel de formación. Gracias por creer en mí en todo momento.

Agradezco de manera especial a mi directora de tesis, la Dra. Clara Sugeydy Torres Uicab, por su confianza, tiempo, invaluable orientación, paciencia y continuo respaldo. Su vasto conocimiento y guía resultaron determinantes para la consecución de esta meta.

Asimismo, reconozco y agradezco a las asesoras M.A. Nínive Margely Navarrete y M.D.S.B. Laura Isabel Guarneros Urbina por su orientación, apoyo y aportaciones fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, extiendo un agradecimiento general a todas las personas que, de alguna manera, participaron en este proyecto. A cada una de ellas, muchas gracias.

Educación
Secretaría de Educación Pública

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Chetumal
Departamento de Ciencias de la Tierra

Chetumal, Q. Roo a **20/02/2025**
OFICIO: **Q-295/2025**

ASUNTO: Liberación de Proyecto para la Titulación Integral.

LIC. CECILIA LORIA TZAB
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre del estudiante y/o egresado:	AGUILAR GUZMAN LITZY VALERIA
Carrera:	ARQUITECTURA
No. de control:	18390226
Nombre del proyecto:	ANÁLISIS DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO EN ASENTAMIENTO IRREGULAR EL EDÉN, QUINTANA ROO, MÉXICO
Producto:	Titulación Integral (Tesis)

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ARQ. DANTE AHUIZOTL KOH ROMERO
JEFE DEL DPTO. DE CIENCIAS DE LA TIERRA

DRA. CLARA SUGEYDY TORRES UJCAB ASESOR	**M.D.S.B. LAURA ISABEL GUARNEROS URBINA** REVISOR	**ARQ. NINIVE MARGELY NAVARRETE CANTO** REVISOR

C.p. Minutario

EDUCACIÓN | TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018

RESUMEN

La presente investigación se enfocó en el análisis de los sistemas de saneamiento en el asentamiento irregular El Edén, ubicado en Chetumal, Quintana Roo. Para ello, se adoptó una metodología cuantitativa que incluyó la aplicación de un cuestionario abierto y dos fichas técnicas dirigidas a los residentes de la comunidad, con el propósito de evaluar las condiciones de sus sistemas de saneamiento.

El desarrollo del modelo de análisis se basó en información censal y en un análisis espacial sustentado en datos fotogramétricos obtenidos mediante un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS). La recolección de estos datos permitió obtener una visión detallada de la distribución, ubicación y estado de los sistemas de saneamiento.

Los resultados de la investigación permitieron cuantificar la información recabada, la cual, conforme a los lineamientos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), facilitó la caracterización de los sistemas en función de su nivel de contaminantes domésticos, con miras a promover un desarrollo urbano más equitativo y sostenible. Los hallazgos ofrecen una base sólida para futuras intervenciones y políticas públicas orientadas a mejorar las condiciones de vida en asentamientos irregulares, proporcionando datos confiables para los responsables del desarrollo urbano.

Palabras clave: saneamiento, asentamientos irregulares, análisis espacial, fotogrametría, desarrollo urbano.

ABSTRACT

This study focused on analyzing the sanitation systems in the irregular settlement of El Edén, located in Chetumal, Quintana Roo. To achieve this, a quantitative methodology was adopted, including the application of an open-ended questionnaire and two technical forms directed at community residents to evaluate the condition of their sanitation systems.

The development of the analysis model was based on census information and spatial analysis supported by photogrammetric data obtained through a remotely piloted aircraft system (RPAS). The data collection process provided a detailed view of the distribution, location, and condition of the sanitation systems.

The research findings enabled the quantification of the collected information, which, in accordance with the guidelines of the National Water Commission (CONAGUA), facilitated the characterization of the systems based on their level of domestic pollutants, aiming to promote more equitable and sustainable urban development. The results provide a solid foundation for future interventions and public policies aimed at improving living conditions in irregular settlements, offering reliable data for urban development decision-makers.

Keywords: sanitation, irregular settlements, spatial analysis, photogrammetry, urban development.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN 7

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 9

1.2. HIPÓTESIS 14

1.2.1. Hipótesis general 14

1.2.3. Hipótesis específicas 15

1.3. OBJETIVOS 15

1.3.1. Objetivo general 15

1.3.2. Objetivos específicos 15

1.4. JUSTIFICACIÓN 16

1.5. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 17

1.6. ANÁLISIS CLIMÁTICO DEL ÁREA 19

1.7. TOPOGRAFÍA 21

1.8. ENTORNO URBANO 22

1.9. GEOLOGÍA 25

1.10. IDENTIFICACIÓN DE ASENTAMIENTOS IRREGULARES EN LA CIUDAD DE CHETUMAL, QUINTANA ROO 26

1.11. IMPACTO DE LA OMISIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE ASENTAMIENTOS IRREGULARES: UN ANÁLISIS DE CASOS NO PUBLICADOS EN EL PROGRAMA DE DESARROLLO URBANO 33

1.11.1. Distribución de asentamientos irregulares en la zona norte 34

1.11.2. Distribución de asentamientos irregulares en la zona norte poniente 34

1.11.3. Distribución de asentamientos irregulares en la zona este 35

1.12. REVISIÓN DE LITERATURA Y ESTADO DEL ARTE 39

2. MARCO CONCEPTUAL 50

2.1. URBANIZACIÓN 50

2.2. ASENTAMIENTOS IRREGULARES 51

2.3. ASENTAMIENTOS INFORMALES....52

2.4. CONCEPTUALIZACIÓN DEL SANEAMIENTO....54

2.5. MANEJO DE AGUAS RESIDUALES....55

2.6. CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE INSTALACIÓN SANITARIA....58

2.6.1. Estructura y funcionamiento de instalación de inodoro....59

2.6.2. Estructura y funcionamiento de instalación de letrinas....61

2.7. NORMATIVAS DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO DE ACUERDO CON CONAGUA....63

2.7.1. Regulaciones para fosa séptica....63

2.7.2. Normas para instalaciones de letrinas....71

2.8. CONCLUSIONES PARTICULARES....74

3. METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN....75

3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO....75

3.2. PROCESO DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA....77

3.3. DISEÑO DEL INSTRUMENTO....77

3.4. PROCESAMIENTO Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN....81

3.5. CONCLUSIÓN....82

4. DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA SANITARIA DEL EDÉN BASADO EN LA NORMATIVA DE CONAGUA....83

4.1. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DESAGÜE CON TANQUE SÉPTICO....83

4.2. ANÁLISIS DE LAS ESPECIFICACIONES DE DISEÑO EN LETRINAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO....94

4.3. CONCLUSIONES PARTICULARES DEL DIAGNÓSTICO DE LAS INFRAESTRUCTURAS....95

5. CARACTERIZACIÓN DE LOS TIPOS DE INSTALACIÓN SANITARIA EXISTENTE Y SU ESTADO DE OPERACIÓN....97

5.1. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO EN LA ZONA DE ESTUDIO....97

5.2. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE DESCARGA....99

5.3. UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS REGISTROS SANITARIOS 100

5.3.1. Área de influencia de las fosas sépticas *103*

5.3.2. Ubicación de las letrinas y drenaje abierto *109*

5.3.3. Ubicación de los desagües de las letrinas y drenaje abierto *111*

5.3.4. Área de influencia de los desagües *113*

5.4. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN LOS DESAGÜES 114

5.4.1. Clasificación de las viviendas con problemas de desbordamiento según su tipo de desagüe *114*

5.5. EVALUACIÓN DE LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO 115

5.6. ANÁLISIS DE PROBLEMAS DERIVADOS DE INUNDACIONES 116

5.7. CONCLUSIONES PARTICULARES 118

6. DIMENSIONAMIENTO DE SOLUCIONES SANITARIAS BASADAS EN LA NORMATIVIDAD DE CONAGUA 120

6.1. ESTIMACIÓN DE CONTAMINANTES DE USO DOMÉSTICO 120

6.2. SOLUCIÓN TÉCNICA PARA VIVIENDAS CON MAYOR GENERACIÓN DE DESECHOS DOMÉSTICOS 122

6.3. REQUERIMIENTOS CALCULADOS SEGÚN LA CANTIDAD DE DESECHOS PRODUCIDOS POR VIVIENDA 127

6.4. CONCLUSIONES PARTICULARES 130

7. DISCUSIÓN 132

8. CONCLUSIONES 134

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 136

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO 18

MAPA 2. DISTRIBUCIÓN DE ASENTAMIENTOS IRREGULARES EN LA ZONA NORTE 36

MAPA 3. DISTRIBUCIÓN DE ASENTAMIENTOS IRREGULARES EN LA ZONA NORTE PONIENTE 37

MAPA 4. DISTRIBUCIÓN DE ASENTAMIENTOS IRREGULARES EN LA ZONA OESTE 38

MAPA 5. LOCALIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS CON FOSA SÉPTICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO 101

MAPA 6. ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS FOSAS SÉPTICAS 104

MAPA 7. UBICACIÓN DE INSTALACIONES DE LETRINAS Y DRENAJE A CIELO ABIERTO 110

MAPA 8. DISTRIBUCIÓN DE LETRINAS Y DRENAJE A CIELO ABIERTO EN EL ÁREA DE ESTUDIO 112

MAPA 9. INFLUENCIAS CONTAMINANTES EN LETRINAS Y DRENAJE A CIELO ABIERTO 113

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. INDICADOR DE VIVIENDAS EQUIPADAS CON INFRAESTRUCTURA SANITARIA 19

TABLA 2. IDENTIFICACIÓN DE ASENTAMIENTOS IRREGULARES EN CHETUMAL 27

TABLA 3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ASENTAMIENTOS IRREGULARES 33

TABLA 4. CONSUMO DE AGUA POTABLE EN VIVIENDAS DEL MEDIO URBANO 67

TABLA 5. PROMEDIO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE ESTIMADO SEGÚN NIVEL SOCIOECONÓMICO Y CONDICIONES CLIMÁTICAS 68

TABLA 6. PROFUNDIDADES MÍNIMAS PARA SISTEMAS SANITARIOS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE HABITANTES 70

TABLA 7. REQUERIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN PARA FOSAS EN INSTALACIÓN DE LETRINAS 73

TABLA 8. DISTANCIA REQUERIDA ENTRE SISTEMAS SANITARIOS A SISTEMAS DE DESECHOS 73

TABLA 9. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LETRINAS 78

TABLA 10. EVALUACIÓN TÉCNICA DE FOSAS SÉPTICAS 78

TABLA 11. CUESTIONARIO DE IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS SANITARIOS 80

TABLA 12. DIMENSIONAMIENTO DE FOSAS SÉPTICAS POR VIVIENDA 83

TABLA 13. TIPOS DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO IDENTIFICADOS EN VIVIENDAS 98

TABLA 14. CLASIFICACIÓN DE VIVIENDAS SEGÚN TIPO DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES 99

TABLA 15. CLASIFICACIÓN DE VIVIENDAS SEGÚN SISTEMA DE DESAGÜE IMPLEMENTADO 116

TABLA 16. ESTIMACIÓN DE RESIDUOS GENERADOS POR VIVIENDA 121

TABLA 17. CÁLCULO DE DIMENSIONAMIENTO PARA FOSA SÉPTICA 125

TABLA 17. VIVIENDAS CON SIMILARES NIVELES DE GENERACIÓN DE DESECHOS 127

TABLA 18. CÁLCULO DE DESECHOS CON ACUMULACIÓN DE LODO SEGÚN EL NÚMERO DE HABITANTES 129

TABLA 19. DIMENSIONAMIENTO REQUERIDO DE FOSAS SEGÚN EL NÚMERO DE HABITANTES POR VIVIENDA ... 130

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CLIMA DEL MUNICIPIO DE OTHÓN P. BLANCO 20

FIGURA 2. TOPOGRAFÍA DE LA CIUDAD DE CHETUMAL 22

FIGURA 3. SISTEMA DE VIALIDADES, CIUDAD DE CHETUMAL 24

FIGURA 4. ZONAS DE CHETUMAL CON SISTEMA PLUVIAL 25

FIGURA 5. GEOLOGÍA DE LA CIUDAD DE CHETUMAL, QUINTANA ROO 26

FIGURA 6. UBICACIÓN DE ASENTAMIENTOS IRREGULARES AL NORTE DE LA CIUDAD 29

FIGURA 7. UBICACIÓN DE LOS ASENTAMIENTOS IRREGULARES AL OESTE DE LA CIUDAD 29

FIGURA 8. UBICACIÓN ZONA NORTE DEL FRACCIONAMIENTO BICENTENARIO 30

FIGURA 9. UBICACIÓN ZONA SUR DEL FRACCIONAMIENTO BICENTENARIO 31

FIGURA 10. UBICACIÓN DE ASENTAMIENTOS IRREGULARES EN ZONA NORTE-NOROESTE DE PAYO OBISPO 32

FIGURA 11. UBICACIÓN DE ASENTAMIENTO IRREGULAR AL ESTE DE LA MULTIPLAZA 32

FIGURA 12. INODORO DE SIFÓN 59

FIGURA 13. LETRINA 61

FIGURA 14. COMPARTIMENTOS Y FUNCIONALIDAD DE LA FOSA SÉPTICA 64

FIGURA 15. REPRESENTACIÓN TEMÁTICA DE VIVIENDAS CON DATOS SIMILARES 85

FIGURA 16. VIVIENDAS CON MAYOR INFLUENCIA DE CONTAMINACIÓN 105

FIGURA 17. VIVIENDAS CON INTERCONEXIÓN CONTAMINANTE 106

FIGURA 18. VIVIENDAS CON INFLUENCIA DE CONTAMINACIÓN MEDIA 107

FIGURA 19. VIVIENDAS CON DISTRIBUCIÓN DISPERSA ENTRE CONTAMINANTES 108

ÍNDICE DE ESQUEMAS

ESQUEMA 1. ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA SANITARIA EN ASENTAMIENTOS IRREGULARES 76

ESQUEMA 2. DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA DE SANEAMIENTO 86

ESQUEMA 3. COMPARTIMENTO DE ALMACENAJE DE DESECHOS 87

ESQUEMA 4. VISTA EN PLANTA DE LA TRAMPA DE GRASA 88

ESQUEMA 5. CORTE LONGITUDINAL DE LA TRAMPA DE GRASA 89

ESQUEMA 6. CONEXIÓN DIRECTA DE LA COCINA AL SISTEMA DE DESAGÜE 90

ESQUEMA 7. DESAGÜE DE COCINA SIN CONEXIÓN AL SISTEMA DE DESAGÜE 91

ESQUEMA 8. SISTEMA SANITARIO EN EL INTERIOR DE LA VIVIENDA CON CONEXIÓN A DESAGÜE EN PATIO 92

ESQUEMA 9. SISTEMA SANITARIO EN EL INTERIOR DE LA VIVIENDA CON CONEXIÓN DIRECTA AL DESAGÜE 93

ESQUEMA 10. CARACTERIZACIÓN DE LETRINA 95

ESQUEMA 11. CARACTERIZACIÓN DETALLADA DE LETRINAS CON PISO DE MADERA 111

ESQUEMA 12. REPRESENTACIÓN DE FOSA SÉPTICA DE LA VIVIENDA NVE014 123

ESQUEMA 13. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DESAGÜE PARA FOSA SÉPTICA 123

ESQUEMA 14. REDISEÑO DE FOSA SÉPTICA REQUERIDA PARA LA VIVIENDA NVE014 126

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. VIVIENDAS DE ACUERDO CON LA UBICACIÓN DE SUS DESAGÜES 103

GRÁFICA 2. VIVIENDAS CON PROBLEMAS DE INUNDACIÓN 117

GRÁFICA 3. PORCENTAJE DE VIVIENDAS CON SIMILITUD A PRODUCCIÓN DE DESECHOS 128

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la mancha urbana en las ciudades de México refleja procesos de urbanización caracterizados por la ocupación ilegal de áreas situadas fuera de los límites del desarrollo urbano. Se estima que en el país existen alrededor de cinco millones de lotes habitacionales en esta condición y que, a nivel nacional, se fracciona un promedio de 90 mil lotes por año, involucrando aproximadamente a 360 mil habitantes (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2014).

La ocupación informal del suelo en tierras ubicadas más allá de las fronteras urbanizables se ha convertido en una práctica recurrente entre la población de bajos recursos económicos, a quienes se les ha negado el acceso a un terreno o vivienda en las áreas urbanas consolidadas. Esta situación se manifiesta cuando la población opta por terrenos más accesibles a sus posibilidades económicas, generalmente situados en la periferia de las ciudades, siendo las tierras ejidales la alternativa más frecuente, ofrecida por los propios ejidatarios.

En este proceso, una vez adquirida la propiedad del terreno, inicia el proceso de construcción de la vivienda y la instalación de los servicios básicos, como el suministro de agua potable, el drenaje sanitario y la electricidad. En lo que respecta a la vivienda, la opción inicial suele ser la autoconstrucción, generalmente de carácter provisional o precario.

El asentamiento irregular El Edén, localizado al norte de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, constituye un ejemplo representativo de esta problemática, ya que su ocupación supera los límites permitidos para la urbanización. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020), la ciudad contaba con una población aproximada de 169,028 habitantes. De

acuerdo con la Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Quintana Roo (Congreso de Quintana Roo, 2018), en su artículo 127, “quedan prohibidos en el Estado, los asentamientos humanos irregulares; y las autoridades estatales y municipales adoptarán las medidas necesarias para prevenir y evitar que tengan lugar, así como para corregir los que ilegalmente ocurran y sancionar a los responsables de ello”.

No obstante, la realidad social ha superado las disposiciones legales, dando lugar al desarrollo de este asentamiento, que enfrenta múltiples desafíos, especialmente en materia de drenaje sanitario. La ausencia de un sistema adecuado, tanto en su diseño como en su funcionamiento, propicia la acumulación de desechos en las áreas habitacionales, afectando la calidad de vida de sus residentes.

El objetivo principal de esta investigación es analizar los sistemas de saneamiento en el asentamiento El Edén, mediante la comparación con la normatividad establecida por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la evaluación de su estado operativo, con el fin de identificar los principales problemas y proponer soluciones viables.

La justificación de este estudio radica en la generación de datos que permitan comprender el funcionamiento y la calidad de la infraestructura de saneamiento existente —sistema de construcción del desagüe—, con el objetivo de optimizar su operación y mejorar su eficiencia.

La presente investigación se estructura en seis capítulos, los cuales abordan de manera secuencial los diversos aspectos de la problemática y el análisis de las infraestructuras de saneamiento. El primer capítulo presenta la introducción, contextualizando la problemática de la infraestructura en asentamientos irregulares, con un enfoque específico en El Edén. Asimismo, se exponen los

objetivos de la investigación, la justificación del estudio, el planteamiento del problema y el estado de la cuestión.

El segundo capítulo comprende una revisión exhaustiva de los conceptos y teorías clave relacionadas con el saneamiento, abordando aspectos como la autoconstrucción y la eficiencia de las infraestructuras en contextos informales. El tercer capítulo detalla la metodología adoptada, describiendo el enfoque cuantitativo empleado, los métodos de recolección de datos y las herramientas analíticas utilizadas.

En el cuarto capítulo se presenta el diagnóstico de la infraestructura de saneamiento, sustentado en la información recopilada y el análisis de las condiciones actuales de los sistemas de desagüe. El quinto capítulo incluye una caracterización detallada de los sistemas existentes en el asentamiento, considerando aspectos técnicos, sociales y ambientales, y analizando las particularidades de la autoconstrucción.

Finalmente, el sexto capítulo expone las conclusiones derivadas del análisis y ofrece recomendaciones específicas para la intervención en los sistemas de saneamiento, considerando la realidad del asentamiento y las condiciones particulares de la autoconstrucción.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021) define un *asentamiento humano irregular* como un conglomerado demográfico ubicado en un área geográfica específica o en predios fraccionados sin la autorización legal correspondiente. La proliferación de asentamientos irregulares es un fenómeno común en numerosas ciudades de México, particularmente en aquellas

con alta densidad poblacional y escasez de viviendas asequibles. Las personas que habitan en estos asentamientos suelen carecer de acceso a servicios básicos como agua potable, electricidad, saneamiento y recolección de residuos sólidos, lo que agrava sus condiciones de vida y aumenta la vulnerabilidad de estas comunidades.

En este contexto, el Instituto Nacional del Suelo Sustentable (INSUS, 2020) señala que las ciudades mexicanas crecieron a una tasa promedio anual del 2.4 %, lo que fomentó un patrón de expansión disperso y una disminución de la densidad urbana promedio. Este crecimiento desordenado propició la ocupación irregular del suelo, impulsada por los elevados costos del suelo en zonas consolidadas y por políticas basadas en el subsidio al crédito para la vivienda. Desde una perspectiva legal, el principal detonante de este proceso fue la desregulación de la tierra ejidal, concretada con la Ley Agraria de 1992, la cual permitió nuevos usos y precios para dichas tierras, generando una oferta accesible de suelo. Como resultado, los predios con alto valor económico quedaron dentro de las ciudades, mientras que la población de menores recursos buscó terrenos más asequibles en la periferia, generando procesos de urbanización acelerados, espontáneos y carentes de planeación, lo que derivó en problemáticas ambientales, sanitarias y socioeconómicas (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2020).

En el ámbito socioeconómico, la pobreza constituye un desafío significativo en los asentamientos irregulares, ya que no solo afecta el nivel económico, sino también otros aspectos fundamentales de la calidad de vida. De acuerdo con McCoy Cador (2020), la pobreza puede clasificarse en tres categorías principales:

- **Pobreza alimentaria:** Afecta a la población cuyo ingreso per cápita es insuficiente para adquirir una alimentación mínimamente aceptable.
- **Pobreza de capacidades:** Se refiere a aquellos hogares que, aunque pueden cubrir sus necesidades alimentarias básicas, carecen de los recursos económicos necesarios para realizar inversiones mínimas en educación y salud.
- **Pobreza de patrimonio:** Incluye a las familias que, a pesar de satisfacer sus necesidades de alimentación, educación y salud, no cuentan con ingresos suficientes para adquirir una vivienda digna, vestimenta adecuada, calzado y transporte básico para cada integrante del hogar.

La conceptualización de estos tipos de pobreza permite comprender cómo la población de los asentamientos irregulares enfrenta problemas de desigualdad social, evidenciados por su limitada capacidad para acceder a servicios esenciales en comparación con otras áreas urbanas. Ante estas condiciones, las comunidades suelen desarrollar soluciones improvisadas; en el caso de las infraestructuras de saneamiento, estas suelen construirse de manera rudimentaria y con condiciones mínimas de adaptabilidad.

Desde una perspectiva ambiental, la supervivencia y la salud humana dependen directamente de los recursos naturales. La sobreexplotación de dichos recursos y la contaminación derivada de prácticas inadecuadas representan riesgos considerables para la calidad de vida y la salud pública. La población que reside en asentamientos irregulares enfrenta condiciones poco saludables, expuesta a enfermedades y riesgos sanitarios, lo que convierte a estos asentamientos en focos de vulnerabilidad. La ausencia de infraestructura adecuada para el manejo de residuos sólidos y el

tratamiento de aguas residuales incrementa la degradación del suelo, creando un entorno propicio para la propagación de enfermedades.

Asimismo, la deforestación y la destrucción de las áreas donde se ubican las viviendas contribuyen al deterioro ambiental, afectando la biodiversidad y el equilibrio del ecosistema. La pérdida de vegetación reduce la capacidad del suelo para absorber el agua, lo que incrementa el riesgo de inundaciones durante la temporada de lluvias.

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) advierte que la falta de tratamiento adecuado de las aguas residuales puede propagar enfermedades como el cólera, la diarrea, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea, la poliomielitis y la esquistosomiasis, así como infecciones por lombrices intestinales, tracoma y otros padecimientos transmitidos por vectores. A nivel mundial, se registran aproximadamente 1,700 millones de casos anuales de enfermedades diarreicas infantiles, vinculados principalmente a la presencia de organismos bacterianos, víricos y parásitos en aguas residuales sin tratamiento. Estas infecciones suelen propagarse a través de los alimentos, insectos vectores y la falta de agua limpia para el consumo, la higiene y las actividades cotidianas básicas y de recreación del ser humano donde intervenga el agua contaminada.

En particular, la carencia de instalaciones de saneamiento adecuadas y la limitada sensibilización sobre la importancia de la higiene incrementan significativamente el riesgo de infecciones y enfermedades relacionadas con los lodos fecales provenientes de letrinas, fosas sépticas y aguas residuales urbanas (OMS, 2017). Naciones Unidas (ONU, 2019) advierte que un solo gramo de heces puede contener hasta 10 millones de virus, un millón de bacterias, mil quistes de parásitos y

cien huevos de parásitos, lo que evidencia la magnitud del riesgo sanitario en contextos de saneamiento deficiente.

En Chetumal, Quintana Roo, el crecimiento desordenado de asentamientos irregulares y la ocupación ilegal del suelo urbano han generado un desafío significativo para la planificación urbana y el acceso a servicios básicos. La mayoría de estos asentamientos se encuentran en áreas naturales, contribuyendo al crecimiento desorganizado en la zona norte de la ciudad. Un ejemplo claro es el asentamiento El Edén, caracterizado por la carencia de infraestructura y equipamiento público para satisfacer las necesidades de la población.

Esta situación está estrechamente vinculada al nivel socioeconómico de sus habitantes, quienes, según McCoy Cador (2020), enfrentan condiciones de pobreza patrimonial. Aunque pueden cubrir sus necesidades mínimas de alimentación, educación y salud, sus ingresos resultan insuficientes para acceder a la regularización de la tierra. Esta incapacidad económica ha llevado a las autoridades correspondientes a emitir oficios dirigidos a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), instruyendo la no procedencia para la construcción de infraestructuras en esta área (Municipio de Othón P. Blanco, 2014).

Dada la limitada capacidad económica de los residentes para acceder a servicios formales, el sistema de saneamiento se convierte en un factor determinante que afecta directamente las condiciones de vida de la comunidad. En este contexto, surge la interrogante:

- **¿Cómo influye un sistema de saneamiento en un asentamiento irregular como El Edén?**

Comprender esta relación resulta crucial para la implementación de soluciones integrales que permitan el desarrollo de infraestructuras de saneamiento adecuadas.

La falta de regulación de la tierra y las prohibiciones impuestas por las autoridades para la construcción de infraestructuras esenciales, como el suministro de agua potable y el saneamiento, han llevado a los residentes a recurrir a la autoconstrucción de sistemas rudimentarios. Estas soluciones improvisadas generan diversas problemáticas, lo que plantea interrogantes clave:

- **¿De qué manera afecta la autoconstrucción las condiciones de saneamiento?**
- **¿Qué características definen el desarrollo de estos sistemas?**

Entender cómo influyen el diseño y el funcionamiento de los sistemas de saneamiento autoconstruidos es fundamental para diseñar estrategias de intervención que aborden la falta de infraestructura adecuada. Esta problemática no solo afecta el medio ambiente, sino también la salud pública, convirtiéndose en una cuestión prioritaria tanto a nivel social como ambiental.

1.2. HIPÓTESIS

1.2.1. Hipótesis general

La infraestructura de saneamiento utilizada por la población del asentamiento irregular El Edén presenta deficiencias significativas en su diseño estructural, mientras que la falta de mantenimiento afecta negativamente la eficiencia en la recolección y el tratamiento de residuos.

1.2.3. Hipótesis específicas

- Los sistemas de infraestructura sanitaria en las viviendas, evaluados conforme a la normatividad establecida por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), revelan que una proporción significativa carece de sistemas sanitarios adecuados.
- Se estima que una parte considerable de los sistemas de saneamiento son autoconstruidos y que su operación resulta ineficiente debido a la utilización de materiales deficientes o técnicas inapropiadas.
- Se prevé que las viviendas que generan una mayor cantidad de desechos requieran sistemas de saneamiento con características específicas, cuya implementación adecuada incremente su eficiencia y asegure su correcto funcionamiento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Analizar la infraestructura de saneamiento utilizada por la población del asentamiento irregular El Edén para proponer técnicas que optimicen su eficiencia.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar los sistemas de infraestructura sanitaria existentes conforme a la normatividad establecida por la CONAGUA.
- Caracterizar los tipos de sistemas de saneamiento presentes y evaluar su estado operativo.

- Cuantificar la cantidad de desechos generados por vivienda, con el fin de determinar las características óptimas para el diseño de sistemas de saneamiento eficientes y adecuados.

1.4. JUSTIFICACIÓN

En América Latina se han realizado importantes esfuerzos para ampliar el acceso a los sistemas de saneamiento y abastecimiento de agua potable. Sin embargo, las condiciones varían según el contexto de cada país, y, aunque los niveles de cobertura en el suministro de agua son razonables, persisten deficiencias significativas en el tratamiento de aguas residuales. Aproximadamente el 91 % de la población de la región tiene acceso a servicios de abastecimiento de agua potable, ya sea a través de conexiones domiciliarias o mediante el fácil acceso a una fuente pública. No obstante, solo el 51 % de la población está conectada a sistemas convencionales de alcantarillado, mientras que otro 26 % utiliza sistemas de saneamiento in situ, es decir, construidos por la propia población. Como resultado, aproximadamente 50 millones de personas carecen de acceso al suministro de agua potable, y cerca de 130 millones no cuentan con sistemas de saneamiento adecuados, siendo la mayoría de bajos recursos económicos y residentes en zonas rurales. Además, los sistemas de alcantarillado y los sistemas autoconstruidos suelen encontrarse en condiciones precarias y, con frecuencia, descargan aguas residuales sin tratamiento previo al medio receptor (Anda Sánchez, 2017).

En este contexto, la presente investigación se centra en el asentamiento irregular El Edén, donde, según sus antecedentes, no se dispone de instalaciones para la provisión de servicios básicos. La identificación de las deficiencias en el sistema de desagüe de este asentamiento, a través del análisis, diagnóstico y caracterización de su infraestructura sanitaria, constituye un paso

fundamental para comprender su estado operativo y anticipar la presencia de fallas significativas. Asimismo, el estudio permitirá identificar la variedad de sistemas sanitarios existentes y evaluar su impacto potencial en términos de contaminación ambiental y riesgos para la salud de la población.

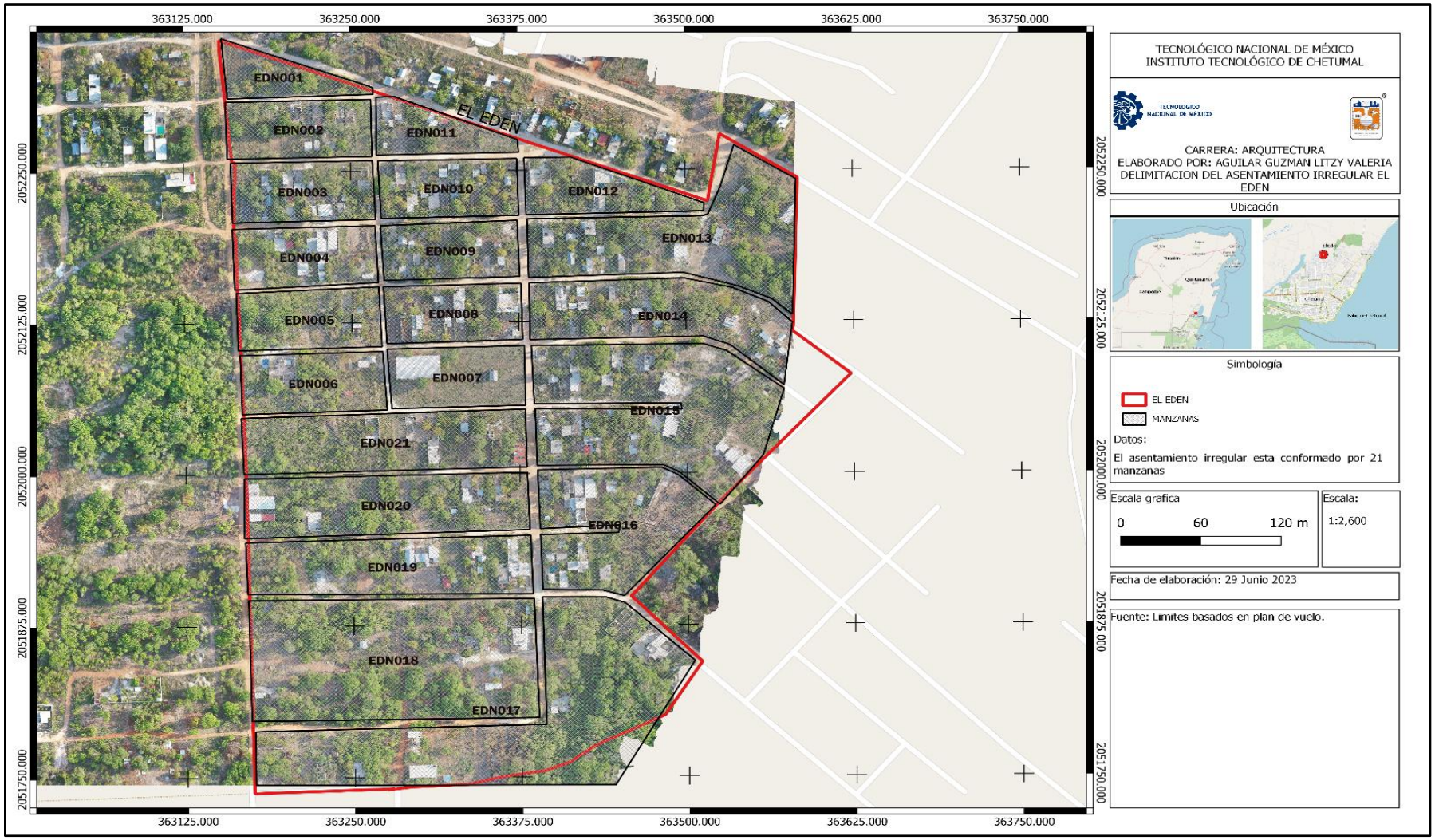
En conjunto, estos elementos posibilitarán una evaluación integral de la situación actual de los servicios sanitarios en El Edén, proporcionando información clave para la formulación de estrategias orientadas a mejorar la infraestructura de saneamiento y, con ello, la calidad de vida de sus habitantes.

1.5. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Chetumal, capital del estado de Quintana Roo, cuenta con una población de 169,028 habitantes, de los cuales el 50.7 % corresponde a mujeres y el 49.3 % a hombres. La ciudad se localiza a 388 kilómetros al sur del centro turístico de Cancún, a 388 kilómetros al sureste de Mérida, Yucatán, y a aproximadamente 1,550 kilómetros al sureste de la Ciudad de México.

Según datos estadísticos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020), en el estado de Quintana Roo existen 575,489 viviendas particulares. En el municipio de Othón P. Blanco se registran 70,735 viviendas, mientras que en la ciudad de Chetumal hay un total de 61,713. De estas, el 98.3 % cuenta con sistema de drenaje, lo que representa 69,065 viviendas, de las cuales 50,816 se ubican en la ciudad. Asimismo, el 98.6 % de las viviendas particulares dispone de sanitarios, sumando un total de 69,333 viviendas, de las cuales 50,834 se encuentran en la zona urbana de Chetumal.

Mapa 1. Delimitación geográfica del área de estudio



Fuente: Elaboración propia con base en análisis de campo (2022).

El área de estudio corresponde al asentamiento irregular denominado El Edén, el cual alberga a un total de 152 habitantes, entre los cuales se contabilizan 63 mujeres y 90 hombres. Este asentamiento se distingue por su alto nivel de migración, ya que la mayoría de sus residentes provienen de fuera del estado, lo que refleja una dinámica poblacional vinculada a procesos migratorios recientes.

El Edén se compone de un total de 52 viviendas, de las cuales un 86.54 % —equivalente a 45 hogares— cuenta con muebles de baño. Esta cifra resulta significativa, ya que refleja el nivel de acceso a instalaciones sanitarias dentro del asentamiento. A continuación, se presenta la tabla 1, que ilustra los indicadores mencionados.

Tabla 1. Indicador de viviendas equipadas con infraestructura sanitaria

INDICADOR	OTHÓN. P BLANCO	CHETUMAL	EL EDÉN
Total de viviendas	70,735	61,713	52
Viviendas particulares que disponen de drenaje	69,065	50,816	45
Viviendas particulares que disponen de excusados o sanitario	69,333	50,834	45

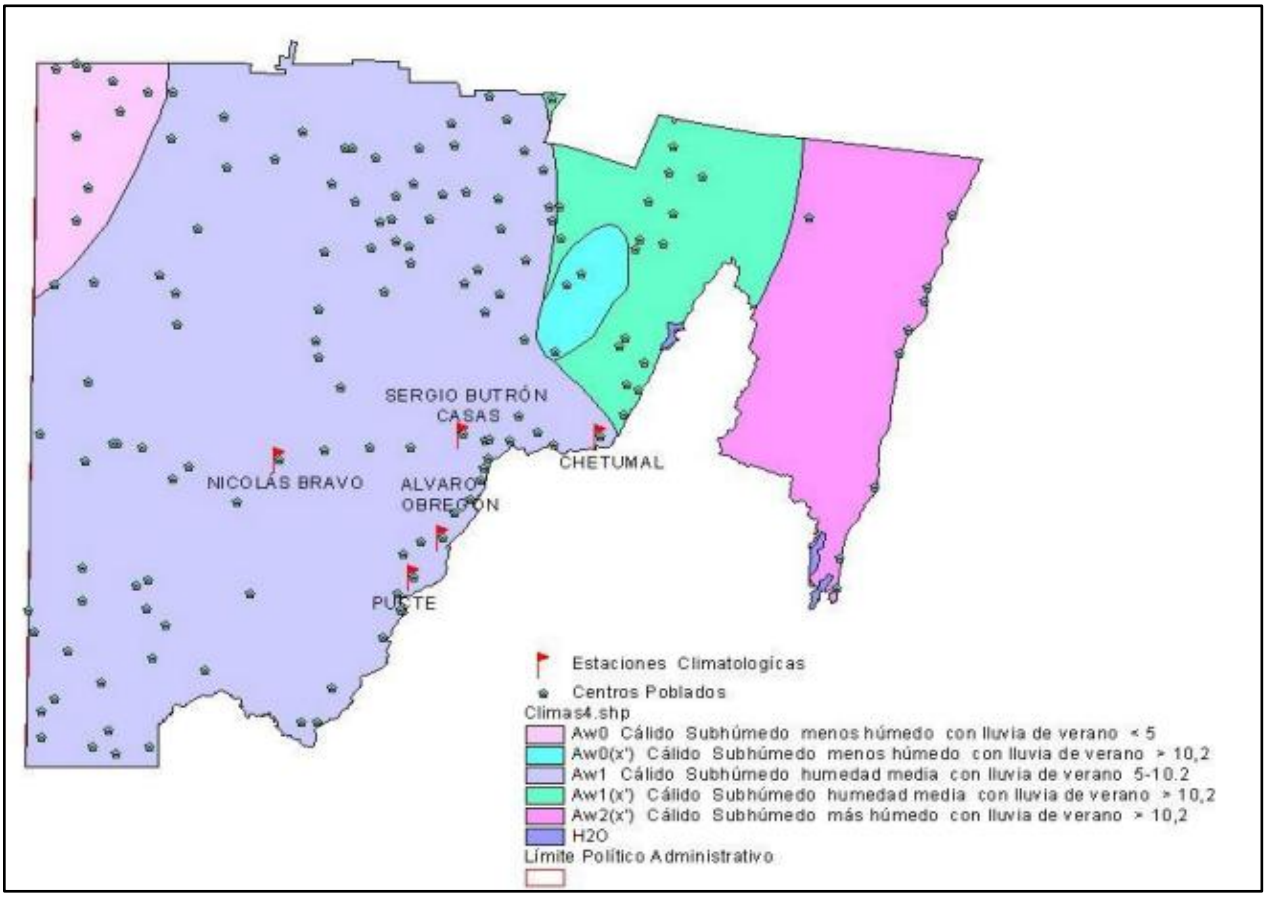
Fuente: Elaboración propia con base en información de INEGI (2020).

1.6. ANÁLISIS CLIMÁTICO DEL ÁREA

El clima de Chetumal se caracteriza por sus elevadas temperaturas durante la mayor parte del año y una alta humedad ambiental. Generalmente, se registra un calor intenso durante la mañana y el mediodía, seguido de lluvias ligeras por la tarde, lo que propicia un descenso de la temperatura y noches relativamente frescas.

De acuerdo con la clasificación climática, Chetumal presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, predominante en la totalidad continental del estado de Quintana Roo. La temperatura media anual es de 26.7 °C, mientras que la precipitación pluvial promedio anual asciende a 1,307.5 mm (véase Figura 1). Cabe destacar que, aunque Chetumal es susceptible a la afectación por huracanes, su ubicación geográfica la expone en menor grado en comparación a la zona norte, donde se encuentran Cancún y la Riviera Maya (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, s.f.).

Figura 1. Clima del municipio de Othón P. Blanco



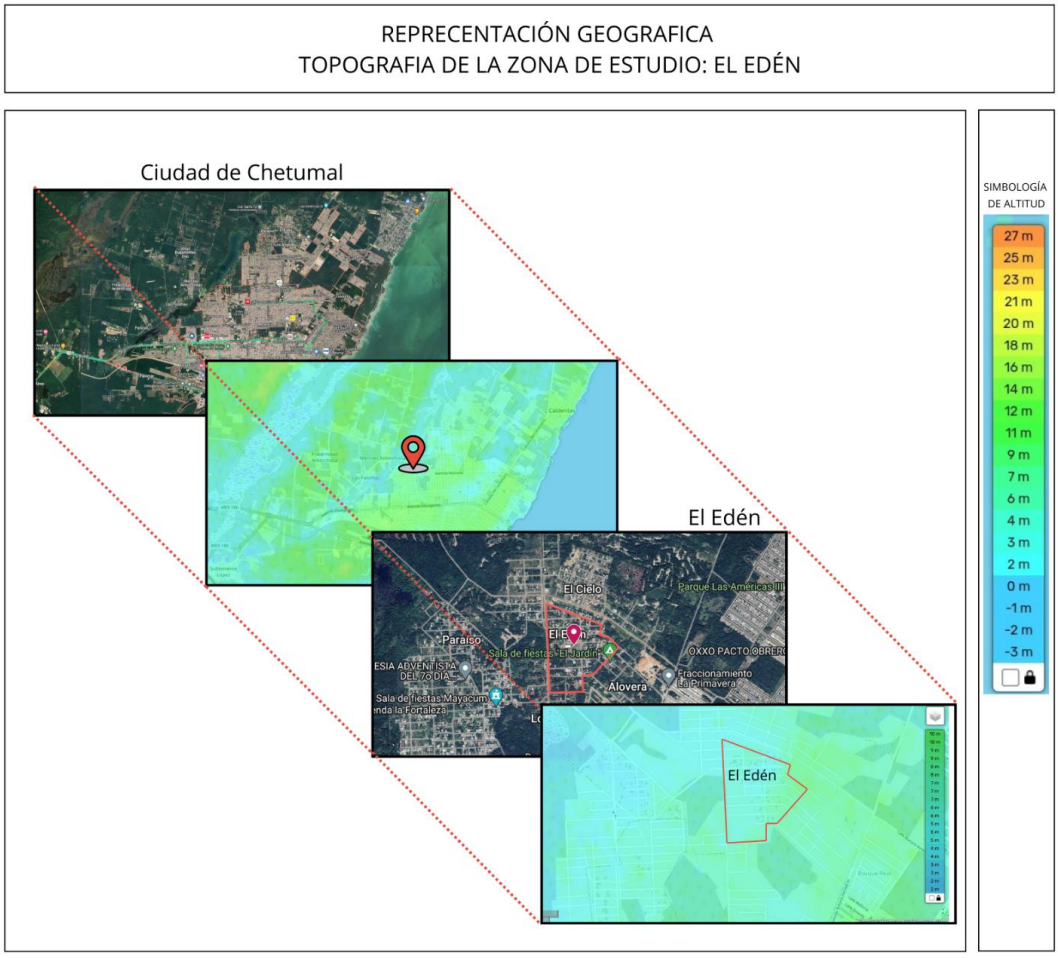
Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del municipio de Othón P. Blanco (2021).

1.7. TOPOGRAFÍA

La topografía en un radio de tres kilómetros alrededor de Chetumal es esencialmente llana, con un cambio máximo de altitud de 23 metros y una altitud promedio de 9 metros sobre el nivel del mar. En un radio de 16 kilómetros, el terreno continúa siendo predominantemente plano, con una altitud máxima de 49 metros, mientras que, en un radio de 80 kilómetros, las variaciones altimétricas son modestas y alcanzan hasta 246 metros.

Respecto a la cobertura del suelo, el área comprendida en un radio de tres kilómetros alrededor de Chetumal está dominada por superficies artificiales (71 %) y tierras de cultivo (21 %). En un radio de 16 kilómetros, la cobertura se distribuye entre cuerpos de agua (43 %) y áreas arboladas (32 %), mientras que en un radio de 80 kilómetros, predominan las áreas forestales (47 %) y los cuerpos de agua (25 %) (Weather Spark, 2024) (véase Figura 2).

Figura 2. Topografía de la Ciudad de Chetumal



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Mapa Topográfico Chetumal (2023).

1.8. ENTORNO URBANO

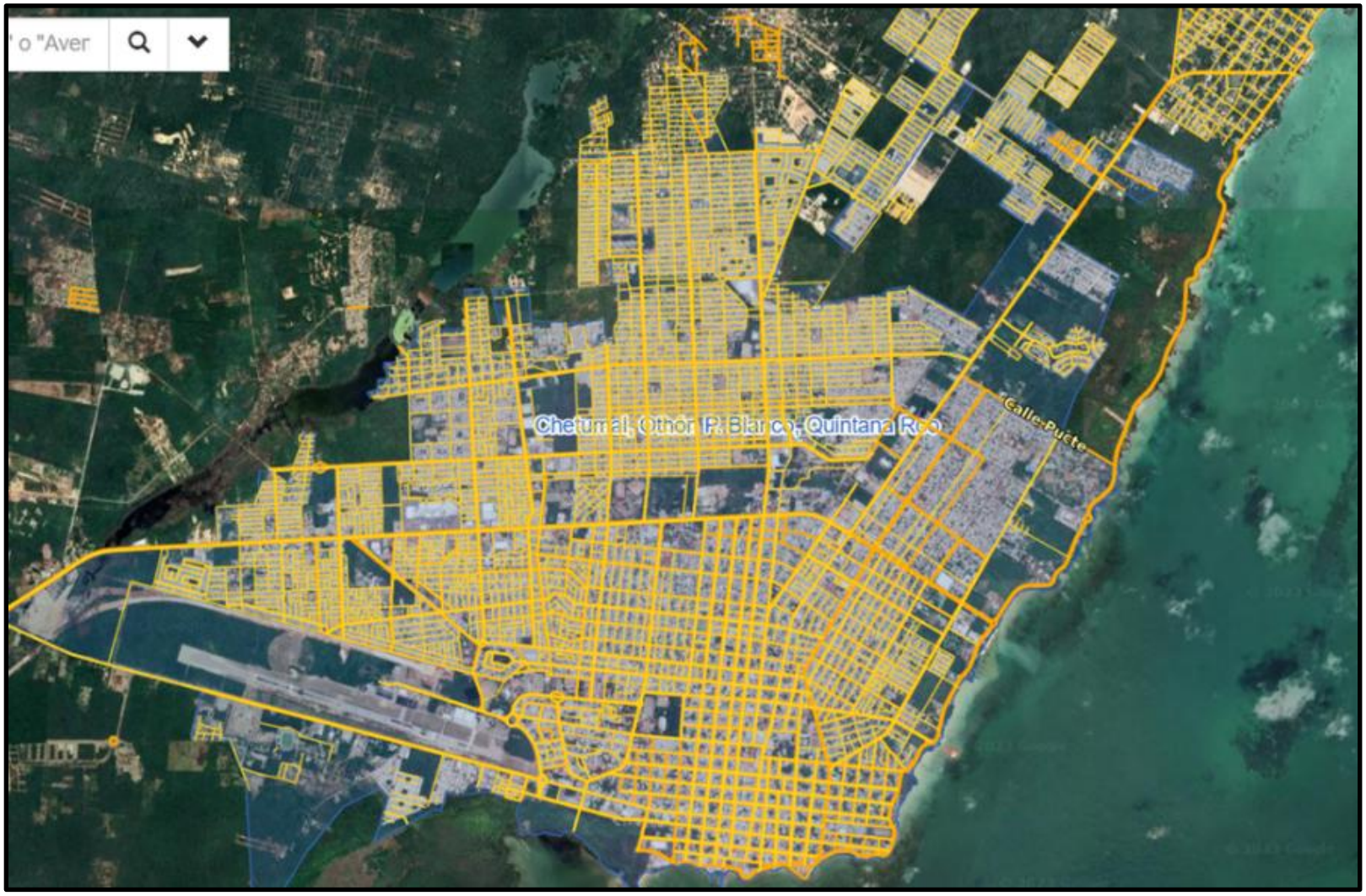
En el entorno urbano de Chetumal, la disponibilidad de alcantarillado o drenaje pluvial se limita a 279 vialidades, dejando un total de 1,282 sin acceso a este servicio esencial. Esta carencia de infraestructura afecta significativamente la calidad de vida de la población y puede derivar en problemas de salud pública, especialmente durante la temporada de lluvias, cuando la acumulación

de agua incrementa el riesgo de inundaciones y la proliferación de enfermedades transmitidas por el agua.

En la zona urbana de Chetumal destacan dos vialidades primarias de acceso, las cuales son cruciales para la conectividad y el flujo vehicular. Estas rutas principales no solo facilitan el transporte de personas y mercancías, sino que también contribuyen a la accesibilidad y al desarrollo económico de la región (véase Figura 3).

Si bien la infraestructura vial de Chetumal continúa en desarrollo, enfrenta retos significativos que deben ser abordados para garantizar un crecimiento urbano sostenible. La ausencia de un sistema de drenaje pluvial adecuado en gran parte de la ciudad subraya la necesidad de inversiones en infraestructura que fortalezcan la resiliencia urbana y mejoren la calidad de vida de sus habitantes. En este sentido, un enfoque integral que contemple la expansión de los sistemas de alcantarillado y drenaje, junto con el mantenimiento y la modernización de las vialidades existentes, resulta esencial para el desarrollo urbano futuro de la ciudad.

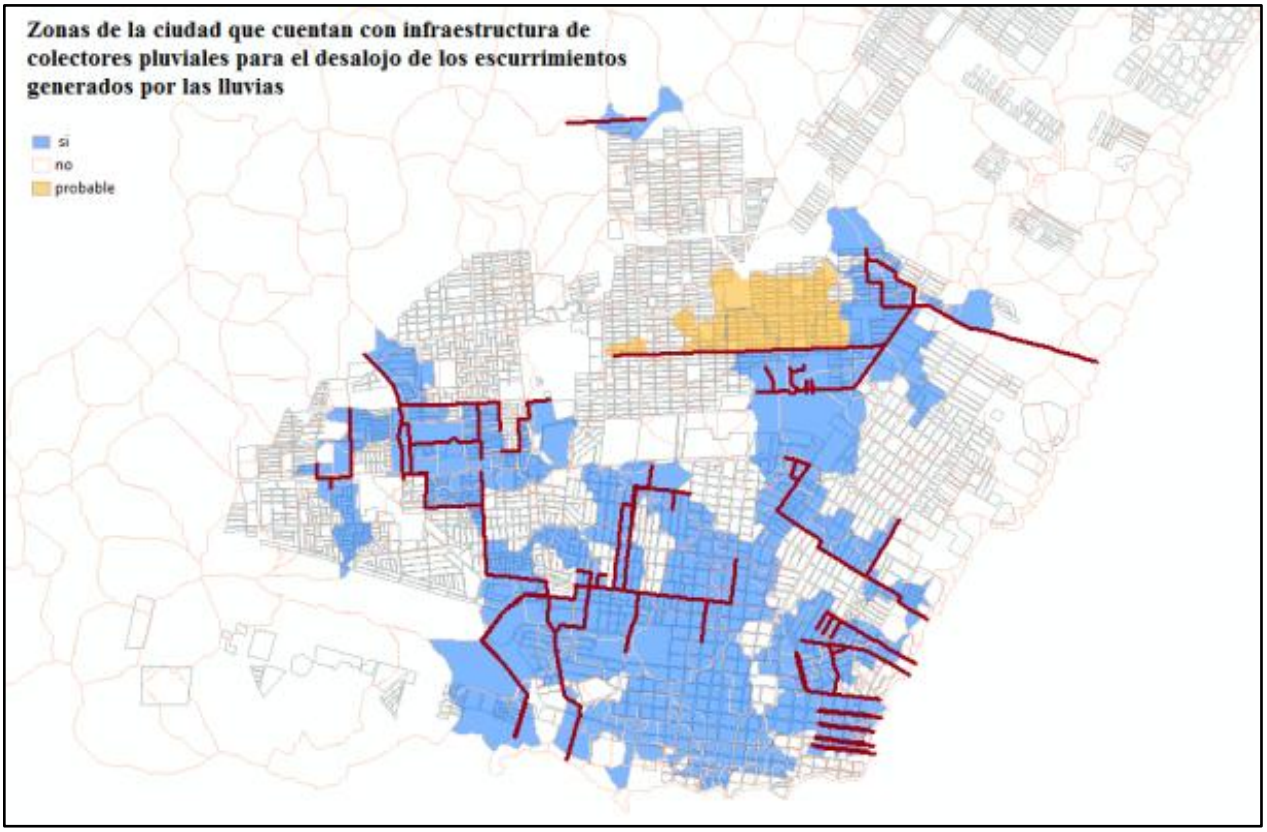
Figura 3. Sistema de vialidades, ciudad de Chetumal



Fuente: INEGI (2014).

En relación con los sistemas de manejo de agua pluvial, la Figura 4 presenta un mapa de la ciudad de Chetumal que identifica las zonas dotadas de infraestructura de colectores, de acuerdo con el programa para el manejo del agua pluvial de la ciudad.

Figura 4. Zonas de Chetumal con sistema pluvial



Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del municipio de Othón P. Blanco (2021).

1.9. GEOLOGÍA

La geología del área de estudio se caracteriza, principalmente, por la presencia de una unidad litológica conformada por roca caliza, cuya parte inferior corresponde a un cuerpo coquinero poco compacto, cubierto por calizas laminares con estratificación cruzada. Las capas horizontales

observadas están compuestas por margas calizas de unos cuantos centímetros de espesor, las cuales, con frecuencia, se alternan con rocas que presentan un mayor contenido de arcillas.

Entre las margas presentes, algunas exhiben grietas y orificios de diversos tamaños, en los cuales se encuentran laminillas muy delgadas de óxido de hierro y siderita. Asimismo, se identifican ciertos depósitos e inclusiones de material arcilloso de tonalidad café claro (véase Figura 5).

Figura 5. Geología de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo



Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del municipio de Othón P. Blanco (2021).

1.10. Identificación de asentamientos irregulares en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo

Conforme al Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal-Calderitas-Subteniente López-Huay-Pix y Xul-Ha, publicado por la Dirección de Desarrollo Urbano del H. Ayuntamiento de Othón P.

Blanco (2014), en la ciudad de Chetumal se han identificado un total de catorce asentamientos irregulares establecidos en tierras de origen social.

A continuación, se presenta la Tabla 2, que detallan la ubicación y características principales de dichos asentamientos.

Tabla 2. Identificación de asentamientos irregulares en Chetumal

NÚM.	NOMBRE	SUPERFICIE	HABITANTES	UBICACIÓN
1	El Edén	8.80 ha	450	Calderitas (norte del Fracc. Caribe)
2	Santa Fátima	6.90 ha	70	Calderitas (norte del Fracc. Caribe)
3	Desconocido	11.80 ha	350	Calderitas (norte del Fracc. Caribe)
4	Desconocido	6.50 ha	60	Calderitas (norte del Fracc. Caribe)
5	Palomos	5.20 ha	280	Calderitas (norte del Fracc. Caribe)
6	Cordobés	3.90 ha	80	Calderitas (norte del Fracc. Caribe)
7	La Virtud	9.30 ha	750	Norponiente (paso torres alta tensión CFE)
8	Fraternidad	7.80 ha	700	Norponiente (predio El Gaucho)
9	Espíritu Santo	2.0 ha	400	Extremo sur del Fracc. Payo Obispo
10	Nuevo Progreso	19.50 ha	1200	Norte del Fracc. Payo Obispo
11	Tamal Cab	11.00 ha	150	La Sabana (al noroeste del Fracc. Payo Obispo)
12	Sin nombre	1.0	50	La Sabana (al noroeste del Fracc. Payo Obispo)

13	La Franja	10.0	700	Extremo norte de los Bicentenario y territorio federal
14	CTM	6.50 ha	400	Al este del Chedraui Multiplaza y Fracc. El Encanto

Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del municipio de Othón P. Blanco (2014).

Al norte de la ciudad de Chetumal se encuentran ubicados seis asentamientos irregulares, cada uno con una distribución geográfica particular. Entre estos, destacan El Edén (1) y Santa Fátima (2), los cuales se localizan de manera contigua, formando un bloque habitacional continuo. Una situación similar se observa en otros tres asentamientos: dos de ellos sin denominación oficial (3 y 4) y uno identificado como Los Palomos (5), que, al igual que los anteriores, conforman un conjunto habitacional adyacente. En contraste con estos asentamientos agrupados, el sexto asentamiento, conocido como Cordobés, se encuentra más alejado, ocupando una posición aislada dentro del área norte de la ciudad.

En conjunto, los seis asentamientos irregulares de esta zona albergan a una población total de 1,290 habitantes, cuya distribución varía entre los diferentes asentamientos, reflejando la diversidad y complejidad social de estas comunidades (véase Figura 6).

Al oeste de la ciudad de Chetumal se localizan dos asentamientos irregulares: Los Antorchistas (7), también conocido como La Virtud, con una población de 750 habitantes, y Antorchistas, o Fraternidad (8), que alberga a 700 habitantes. A diferencia de los asentamientos ubicados en la zona norte, estos no presentan continuidad geográfica ni mantienen una relación directa entre sí (véase Figura 7).

Figura 6. Ubicación de asentamientos irregulares al norte de la ciudad



Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del municipio de Othón P. Blanco (2014).

Figura 7. Ubicación de los asentamientos irregulares al oeste de la ciudad



Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del municipio de Othón P. Blanco (2014).

Según se ilustra en la Figura 8, el asentamiento irregular La Franja (9) está al norte del Fraccionamiento Bicentenario y cuenta con 400 habitantes. Colinda con el ejido Calderitas y el asentamiento irregular Cordobés.

Figura 8. Ubicación zona norte del Fraccionamiento Bicentenario



Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del municipio de Othón P. Blanco (2014).

La Figura 9 muestra la ubicación del asentamiento irregular denominado Espíritu Santo (10), con 400 habitantes, e la zona sur del Fraccionamiento Bicentenario.

Figura 9. Ubicación zona sur del Fraccionamiento Bicentenario

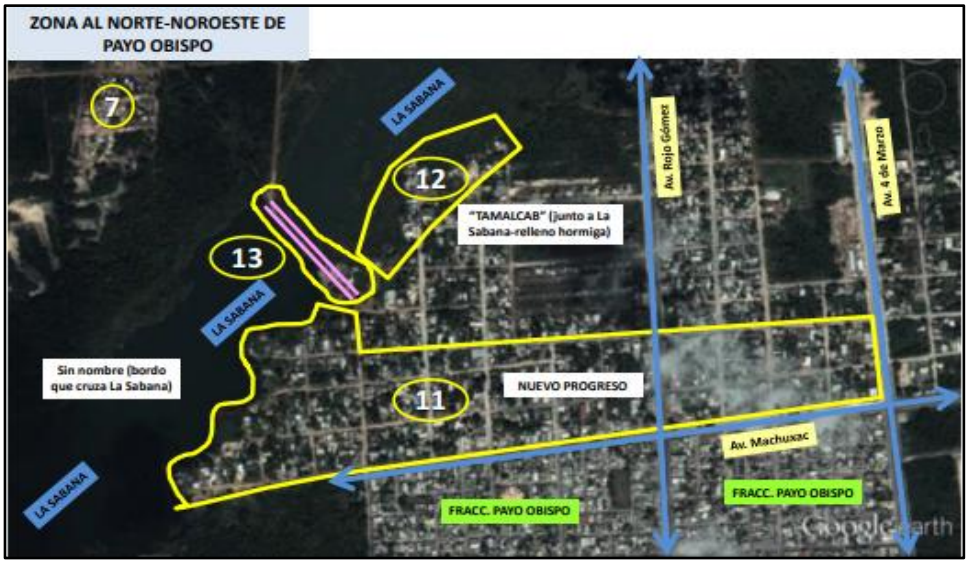


Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del municipio de Othón P. Blanco (2014).

En la zona norte de Chetumal se localizan tres asentamientos irregulares, cuyas áreas de expansión se encuentran interrelacionadas (Figura 10). El primero de ellos es Nuevo Progreso (11), que alberga a un total de 1,200 habitantes. El segundo, denominado Tamalcab (12), registra 150 habitantes y se sitúa en una zona limítrofe a la sabana de la ciudad. El tercero, identificado como El Número 13 o Innominado (13), cuenta con una población de 50 habitantes.

Por otro lado, al este de la Multiplaza se encuentra el asentamiento irregular CTM (14), con una población de 400 habitantes (Figura 11).

Figura 10. Ubicación de asentamientos irregulares en zona norte-noroeste de Payo Obispo



Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del municipio de Othón P. Blanco (2014).

Figura 11. Ubicación de asentamiento irregular al este de la Multiplaza



Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del municipio de Othón P. Blanco (2014).

1.11. Impacto de la omisión en la identificación de asentamientos irregulares: un análisis de casos no publicados en el Programa de Desarrollo Urbano

La omisión en la identificación de asentamientos irregulares puede atribuirse a diversos factores, entre ellos, la rapidez con la que se forman y expanden estas comunidades. Ante esta situación, se llevó a cabo un análisis enfocado en la identificación de asentamientos irregulares que no fueron registrados en el Programa de Desarrollo Urbano.

Como resultado de esta investigación, se identificaron un total de diez asentamientos irregulares, cuyas principales características se presentan a continuación:

Tabla 3. Análisis comparativo de asentamientos irregulares

Núm.	Nombre	Superficie	Habitantes	Ubicación
1	El Cielo	7.77 ha	27	Calderitas (norte del Frac. Caribe)
2	San Judas Tadeo	7.98 ha	4	Calderitas (norte del Frac. Caribe)
3	Los Hermanos	16 ha	10	Calderitas (norte del Frac. Caribe)
4	Los Ángeles	7.86 ha	5	Calderitas (norte del Frac. Caribe)
5	Col. Santa Fe	13.8 ha	8	Calderitas (norte del Frac. Caribe)
6	Villas Bugambilias I	4.80	12	Norponiente (paso torres alta tensión CFE)
7	Villas Bugambilias II	4.86	20	Norponiente (paso torres alta tensión CFE)
8	Chiquina	6.28 ha	90	Noroeste de Fracc. Payo Obispo
9	Pericos	6.32	112	Noroeste de Fracc. Payo Obispo
10	Las Palomas	11.6 ha	23	Extremo Este (Fracc. Payo Obispo)

Fuente: Elaboración propia con base en datos de “Localidades de Othón P. Blanco (Quintana Roo, México)” (2024).

1.11.1. Distribución de asentamientos irregulares en la zona norte

En la zona norte de Chetumal se localizan cinco asentamientos irregulares, organizados en dos bloques habitacionales (véase Mapa 2). El asentamiento irregular Los Hermanos (3) es el de mayor superficie, con un total de 16 hectáreas; sin embargo, su población es moderada, al registrar únicamente 10 habitantes. En contraste, el asentamiento El Cielo (1), aunque relativamente pequeño, con una extensión de 7.77 hectáreas, alberga a 27 habitantes.

Los asentamientos San Judas Tadeo (2) y Los Ángeles (4) presentan características similares en términos de superficie y población, ya que cada uno abarca aproximadamente ocho hectáreas y cuenta con menos de 10 habitantes. Por su parte, la colonia Santa Fe (5) destaca por su extensión de 13.8 hectáreas y su baja densidad poblacional, con solo ocho habitantes, ubicándose en una zona más aislada y rodeada de vegetación.

En cuanto a su distribución geográfica, El Cielo y San Judas Tadeo, al igual que Los Hermanos y Los Ángeles, se encuentran de manera contigua, formando dos bloques habitacionales de mayor superficie.

1.11.2. Distribución de asentamientos irregulares en la zona norte poniente

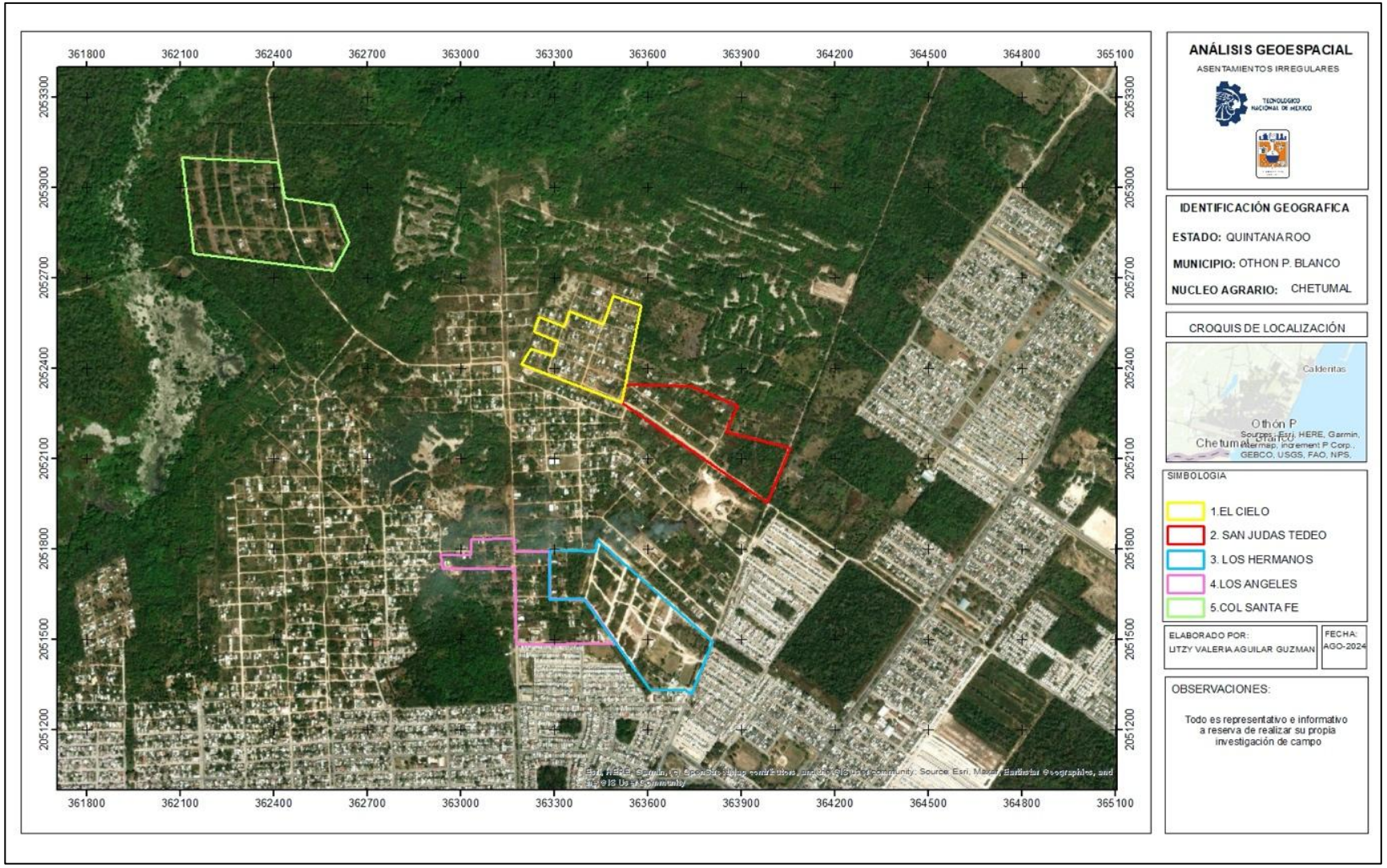
De igual manera, en la zona norte poniente de Chetumal se localizan cuatro asentamientos irregulares, organizados en dos bloques habitacionales (véase Mapa 3). El primer bloque está conformado por Villas Bugambilias I (6) y Villas Bugambilias II (7), los cuales presentan superficies similares, pero con una notable diferencia en su densidad poblacional: Villas Bugambilias II (7) alberga a 20 habitantes, mientras que Villas Bugambilias I (6) cuenta con 12.

El segundo bloque está integrado por los asentamientos Chiquina (8) y Pericos (9). Aunque ambos comparten una ubicación contigua, Pericos (9) presenta la mayor densidad poblacional, con un total de 112 habitantes, en comparación con Chiquina (8), que registra 90 habitantes.

1.11.3. Distribución de asentamientos irregulares en la zona este

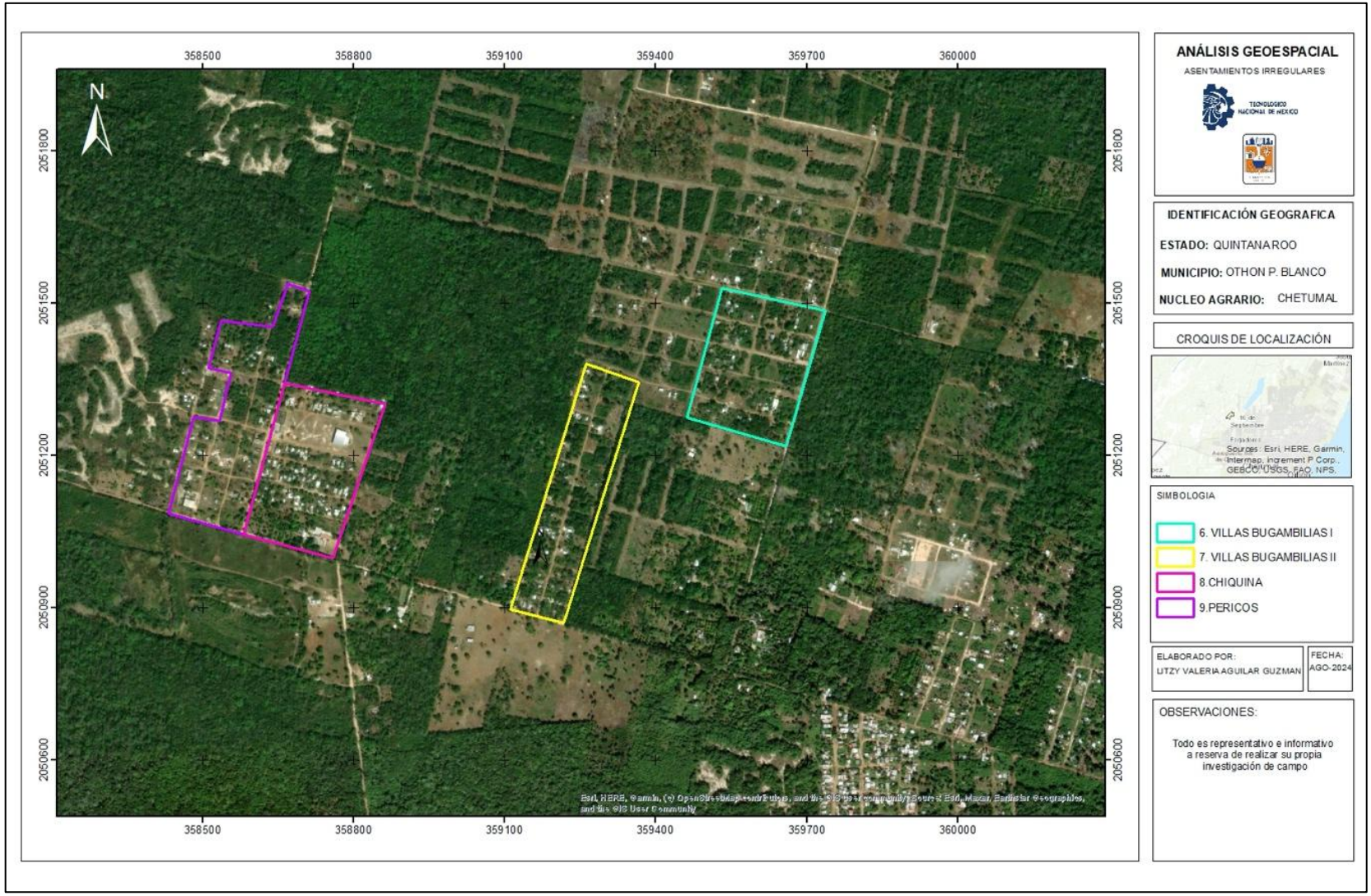
En la zona este del fraccionamiento Payo Obispo se encuentra el asentamiento irregular Las Palomas (10) cuenta con una superficie total de 11.6 hectáreas y 23 habitantes (véase Mapa 4).

Mapa 2. Distribución de asentamientos irregulares en la zona norte



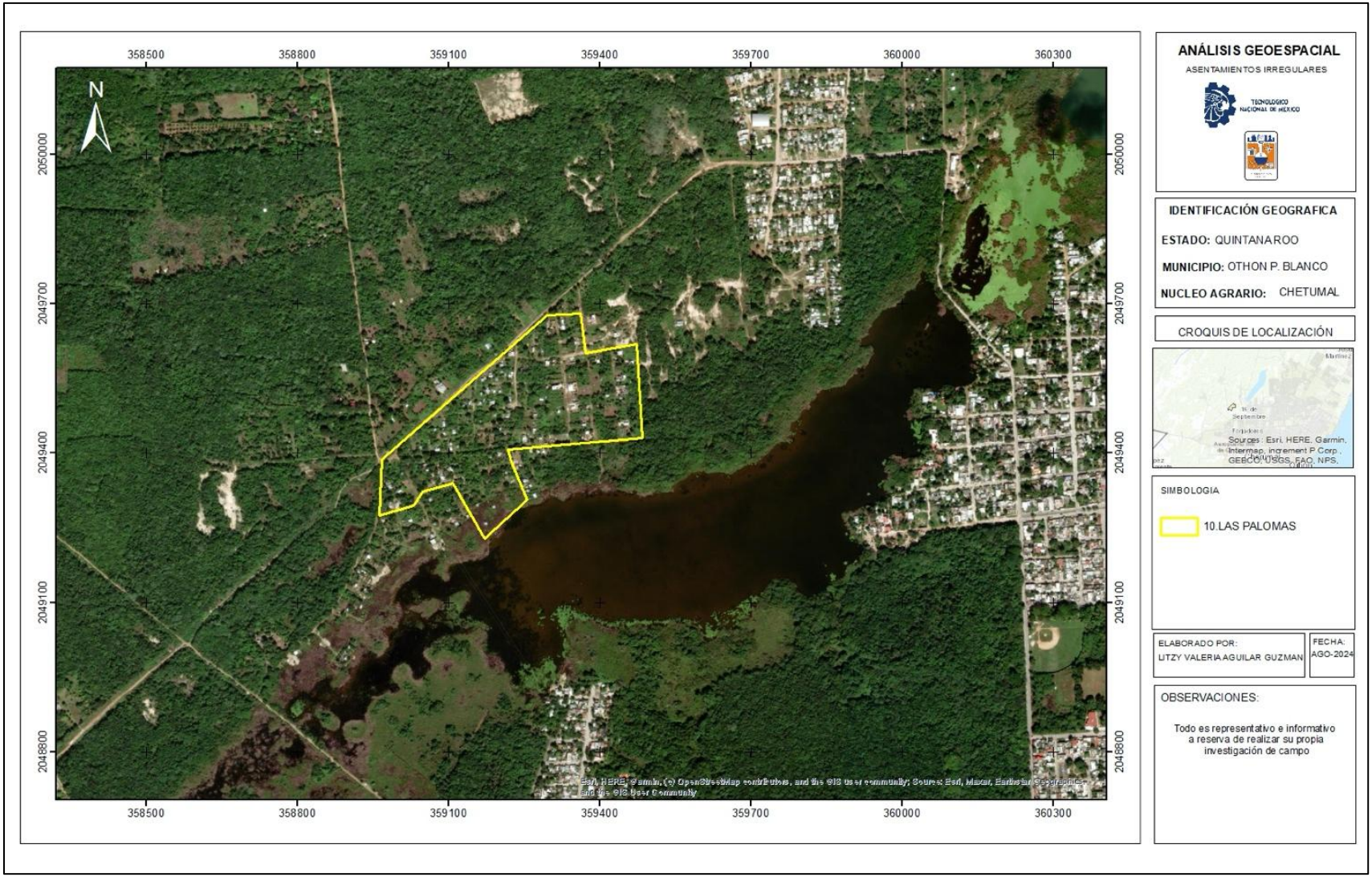
Fuente: Elaboración propia con base en datos de “Localidades de Othón P. Blanco (Quintana Roo, México)” (2024).

Mapa 3. Distribución de asentamientos irregulares en la zona norte poniente



Fuente: Elaboración propia con base en “Localidades De Othón P. Blanco (Quintana Roo, México)” (2024).

Mapa 4. Distribución de asentamientos irregulares en la zona oeste



Fuente: Elaboración propia con base en “Localidades De Othón P. Blanco (Quintana Roo, México)” (2024).

1.12. REVISIÓN DE LITERATURA Y ESTADO DEL ARTE

En el presente apartado se realizó un análisis bibliográfico de informes, libros y textos relacionados con el saneamiento en asentamientos irregulares a nivel global, nacional y local, a partir de investigaciones realizadas por diversos autores. El propósito fue establecer un marco de referencia sustentado en estudios previos que permita comprender la magnitud y las implicaciones de esta problemática.

A nivel global, el saneamiento en asentamientos irregulares se ha identificado como un desafío persistente en países en desarrollo, debido a la existencia de sistemas poblacionales ubicados en las periferias urbanas, donde la planificación enfrenta limitaciones significativas. Esta situación coloca a las comunidades en condiciones de vulnerabilidad y dificulta su acceso a servicios básicos.

Uno de los estudios relevantes en este ámbito es el realizado por Rueda Morales y Zambrano (2018), titulado “Análisis de la gestión de saneamiento en el asentamiento informal Bajo Los Anonos, San José, Costa Rica, desde una visión social, técnica e institucional”. Las autoras identificaron que el manejo inadecuado de las aguas residuales constituye una de las principales problemáticas, afectando al 82 % de la población de la comunidad y generando riesgos para la salud pública. Los factores determinantes de esta situación incluyen la falta de acceso a sistemas de saneamiento de calidad, las prácticas inadecuadas por parte de los residentes y la ausencia de apoyo institucional. Además, se destacó la escasa comprensión de los procesos operativos y de mantenimiento de las infraestructuras sanitarias.

Desde un enfoque técnico, el estudio reveló la presencia de altos niveles de contaminación en las aguas residuales, determinados mediante análisis de muestras recolectadas en puntos específicos

de la comunidad. Estos niveles superaban los límites permitidos por las normativas locales. Asimismo, se observó que la descarga de aguas residuales se realizaba a través de tanques sépticos y vertidos a cielo abierto, ya fuera en calles, lotes baldíos, acequias o ríos, dependiendo de la ubicación de cada vivienda.

Las autoras concluyeron que es imperativo integrar a los asentamientos informales en la planificación y el desarrollo urbano, implementando trabajos preliminares que permitan el tratamiento adecuado de las aguas residuales, dado que estas comunidades continuarán expandiéndose con el tiempo.

Otro estudio significativo es el realizado por Gold, Namupolo y Muller (2021), enfocado en la *Prevención de riesgos de desastres en asentamientos informales de la región de Ashana, Namibia*. Esta investigación examinó el impacto de las inundaciones en dichas comunidades y destacó varios factores que incrementan su vulnerabilidad frente al cambio climático, como la pobreza, la degradación del suelo, los bajos ingresos, la precariedad de los sistemas de saneamiento y la escasez de oportunidades laborales. A medida que la población crece, la combinación de estos factores intensifica el impacto de las inundaciones, dejando inhabilitadas algunas áreas de los asentamientos durante los periodos de lluvia intensa.

En particular, el estudio concluyó que la falta de oportunidades económicas y la deficiente infraestructura sanitaria agravan la vulnerabilidad de estas comunidades. En este sentido, se sugirió que la planificación de la infraestructura debe adaptarse al contexto del crecimiento poblacional y del riesgo climático. No obstante, las autoras señalaron la necesidad de profundizar en las

estrategias de adaptación comunitaria, el fortalecimiento institucional y el desarrollo de tecnologías innovadoras que puedan mitigar eficazmente estos riesgos.

Por su parte, el artículo publicado por UNICEF (2023), titulado “Mapeo de asentamientos humanos y condiciones WASH (agua, saneamiento e higiene) en los departamentos de Atlántico y La Guajira”, resaltó la inexistencia de datos oficiales sobre asentamientos irregulares, lo cual limita la capacidad de los gobiernos y las organizaciones para atender las necesidades de estas poblaciones. En respuesta a esta situación, se han impulsado proyectos colaborativos que integran *sistemas de información geográfica* (SIG), herramientas sectoriales y la recolección de datos en campo.

Uno de los estudios más relevantes citados en dicho artículo fue realizado por el Programa de Gestión de Información y Acción contra Minas (iMMAP, 2020), el cual examinó 327 asentamientos informales. Los resultados revelaron que el 66 % de estas comunidades carecía de infraestructura sanitaria básica y que el 82 % no tenía acceso a agua potable proveniente de fuentes mejoradas, lo que representa un riesgo significativo para la salud pública.

La ausencia de información confiable sobre las necesidades de la población en asentamientos irregulares, las condiciones deficientes de la infraestructura de servicios públicos y las dificultades para avanzar en los procesos de regularización o reubicación constituyen barreras para la implementación de iniciativas WASH con enfoque de desarrollo.

En este sentido, las iniciativas que integran sistemas SIG y la recopilación de datos en campo representan un avance crucial para comprender mejor la realidad de estos asentamientos. Dichas

herramientas no solo permiten identificar las carencias en términos de agua, saneamiento e higiene, sino también mapear otras vulnerabilidades, como la exposición a riesgos naturales y la inseguridad alimentaria.

En México, los asentamientos irregulares han experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, impulsado por la migración hacia zonas periféricas de las ciudades y la falta de acceso a vivienda formal. Esta expansión ha estado acompañada por una limitada provisión de servicios básicos, resultado de la informalidad de la tenencia de la tierra, la ausencia de planeación urbana y la escasa inversión pública en infraestructura.

Flores Lucero (2020), en su estudio “Alternativas técnicas y de gestión para el saneamiento en asentamientos irregulares: El caso de San Juan Tulcingo, Puebla”, identifica la infraestructura de saneamiento como uno de los principales desafíos que enfrentan estas comunidades en términos de servicios urbanos. Los gobiernos locales en Puebla han intentado mejorar la infraestructura sanitaria; sin embargo, los altos costos y la falta de una planificación adecuada han limitado su capacidad de acción. Frecuentemente, las soluciones implementadas son de corto plazo y se basan en tecnologías convencionales que no responden de manera efectiva a las necesidades particulares de los asentamientos irregulares.

Una alternativa emergente es la implementación de tecnologías alternativas para el tratamiento de aguas residuales, como los biodigestores. Estas soluciones son económicamente accesibles, no dependen de redes convencionales de saneamiento y se basan en procesos naturales de depuración (Braatz, 1993, citado en Rosas, 2012). No obstante, la adopción de estas tecnologías ha sido

limitada, en gran parte debido a la falta de participación comunitaria y al escaso apoyo institucional.

El estudio de caso de San Juan Tulcingo destaca la importancia de involucrar a la comunidad en la solución de sus problemáticas de saneamiento. A través de una metodología basada en un enfoque sistémico y sustentable, se propuso la implementación de biodigestores como tecnología alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Esta propuesta incluyó la revisión de documentos oficiales, entrevistas con autoridades y habitantes, así como trabajo de campo para evaluar la viabilidad de la intervención. La participación activa de la comunidad fue un factor clave en el proceso, demostrando que un enfoque colaborativo entre investigadores, autoridades y residentes puede generar soluciones más efectivas y sostenibles.

Por su parte, Ruiz Hernández (2015), en su artículo “Identificación de asentamientos irregulares y diagnóstico de sus necesidades de infraestructura en Ciudad Juárez, Chihuahua, México”, destaca la prevalencia de la ocupación irregular del suelo como un fenómeno recurrente en diversas ciudades. A pesar de la magnitud de esta problemática, no existen métodos estandarizados que permitan estimar, de manera confiable y expedita, las características de estos asentamientos. Ante esta carencia, el autor también propone el uso de SIG para evaluar con mayor precisión los asentamientos irregulares, considerando tres dimensiones principales: la organización espacial, las condiciones físicas y las condiciones socioeconómicas.

En términos de organización espacial, Ruiz Hernández analiza factores clave que influyen en la distribución y planificación de los asentamientos, como la dispersión de las viviendas, los materiales de construcción —que en su mayoría reflejan la vulnerabilidad de las estructuras—, la

orientación de las edificaciones, la infraestructura disponible, los sistemas de transporte y la disposición de los espacios públicos.

Respecto a las condiciones físicas, el autor examina el crecimiento y la expansión de los límites urbanos, así como la separación entre áreas consolidadas y asentamientos informales. A nivel habitacional, el análisis considera el número de personas por hogar, la cantidad de dormitorios y los ingresos familiares, lo que permite comprender de manera integral las necesidades en términos de acceso a servicios básicos.

Finalmente, las condiciones socioeconómicas evaluadas incluyen el valor del suelo y la cobertura de servicios esenciales, como el acceso al agua potable y el sistema de drenaje, los cuales presentan, con frecuencia, un bajo nivel de desarrollo. En conclusión, el estudio ofrece una perspectiva integral y detallada, destacando la utilidad de las herramientas SIG para la obtención de datos precisos que faciliten la toma de decisiones en materia de infraestructura y desarrollo urbano.

En un contexto similar, Domínguez Serrano (2010), en su artículo “Acceso al agua y saneamiento: un problema de capacidad institucional local. Análisis en el estado de Veracruz”, reconoce el derecho al agua como un derecho humano fundamental. La autora argumenta que la falta de saneamiento no solo debe considerarse como un síntoma de pobreza, sino como un obstáculo que impide el desarrollo y la superación de la misma, ya que el acceso a sistemas de saneamiento adecuados es esencial para garantizar la calidad del agua y prevenir riesgos para la salud.

Desde una perspectiva social, Domínguez Serrano señala que no existe una percepción generalizada entre la población sobre el derecho al saneamiento adecuado. Además, destaca que, en muchos casos, las autoridades locales no consideran la provisión de estos servicios como una responsabilidad prioritaria, llegando incluso a percibir que la calidad de vida de la población no depende directamente de su gestión.

En la zona de estudio analizada, que abarca las áreas metropolitanas de Córdoba y Orizaba, se identificó que el acceso al saneamiento presenta una cobertura extremadamente baja o inexistente. De acuerdo con el análisis geoespacial, la cobertura de alcantarillado en estas áreas se sitúa en apenas el 78.1 %, lo que impide alcanzar los objetivos de desarrollo del milenio, afectando a un total de 2,239,026 habitantes que carecen de este servicio esencial.

El saneamiento resulta fundamental para la prevención de enfermedades, y las áreas rurales beneficiadas por la implementación de infraestructura básica han experimentado una disminución de enfermedades de origen hídrico, beneficiando a aproximadamente 265,705 personas. No obstante, el rezago en la infraestructura sanitaria continúa afectando a miles de habitantes, lo que evidencia la necesidad de intervenciones integrales y sostenibles en el ámbito del saneamiento.

El estado de Quintana Roo, ubicado en el sureste de México, ha sido objeto de diversas investigaciones debido a su rápida urbanización, el crecimiento turístico y el impacto ambiental asociado. El saneamiento, que comprende el acceso a sistemas de alcantarillado, el tratamiento de aguas residuales y la disposición adecuada de desechos, constituye un tema crucial en la región, dado que las aguas subterráneas y los ecosistemas costeros son particularmente vulnerables a la contaminación.

En este contexto, Granel Castro y Galez Hita (2002), en su artículo “Deterioro de la calidad de agua subterránea por el desarrollo poblacional: Cancún, Q. Roo”, abordan los efectos del crecimiento urbano y demográfico en la calidad de los recursos hídricos de la región. El estudio se enfoca específicamente en la ciudad de Cancún, donde la falta de infraestructura sanitaria adecuada ha generado un deterioro significativo en la calidad del agua subterránea.

Los autores destacan que los sistemas de descarga de desechos en la región dependen predominantemente de fosas sépticas y pozos pluviales. Las fosas sépticas son señaladas como una fuente significativa de contaminación de los mantos acuíferos, ya que, lejos de constituir una solución efectiva para el tratamiento de aguas residuales, permiten la filtración de grandes cantidades de materia orgánica al subsuelo. A pesar de que Cancún es uno de los destinos turísticos más importantes de México, la infraestructura de saneamiento no ha avanzado al mismo ritmo que el desarrollo urbano y turístico.

Asimismo, se señala que los pozos pluviales, diseñados originalmente para la absorción del agua de lluvia, también han sido utilizados de manera inapropiada para la descarga de aguas residuales, incrementando la contaminación del subsuelo. Este estudio evidencia la necesidad urgente de reevaluar y modernizar los sistemas de saneamiento en áreas de alto crecimiento demográfico, no solo para proteger los recursos hídricos, sino también para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del desarrollo regional y la preservación de los ecosistemas.

Por su parte, Rojas Castillo (2016), en su tesis “Estrategias para la gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU) de la ciudad de Bacalar, Quintana Roo”, analiza, desde la perspectiva del nuevo institucionalismo, el impacto del manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos

(RSU) en la salud pública, el medio ambiente y las esferas económica y política. El autor señala que la implementación de diversos programas y políticas de gestión de residuos en la región no ha producido los resultados esperados, debido principalmente a la deficiente planeación y a la ineficaz ejecución de dichos programas.

En la ciudad de Chetumal, por ejemplo, los esfuerzos para implementar un programa de separación selectiva de residuos han fracasado, producto de una planificación inadecuada y de la falta de continuidad en su aplicación. En el contexto de la zona de estudio, se ha identificado un déficit considerable en la disposición final de los residuos, dado que la compactación, como parámetro final del manejo de los RSU, no se lleva a cabo conforme a los estándares requeridos.

Otro factor que agrava la situación es la actitud de indiferencia prevalente entre la sociedad local frente a la gestión inadecuada de los RSU. Tanto los residentes permanentes como la población flotante, incluidos los turistas y las empresas privadas, contribuyen a este problema. A ello se suma la escasa participación ciudadana en las actividades de manejo de residuos y una cultura ambiental aún incipiente, lo que refleja la falta de conciencia sobre la responsabilidad compartida en esta problemática ambiental.

En un estudio complementario, Jiménez Sánchez y Rosas Ferrusca (2003), en su trabajo “Procesos urbanos informales y actividades sociales que han determinado la eutrofización del Humedal La Sabana, Chetumal, Quintana Roo”, analizan el impacto del crecimiento desordenado de la mancha urbana sobre este ecosistema. Los autores destacan que la expansión de asentamientos irregulares en áreas no aptas para el desarrollo urbano ha sido facilitada por la ausencia de planificación y el escaso respaldo gubernamental, tanto a nivel estatal como municipal. Este vacío en la gestión

territorial ha propiciado la ocupación de zonas de alto riesgo, cercanas a ecosistemas naturales y cuerpos acuáticos, afectando su equilibrio ecológico.

Entre los principales procesos antrópicos que contribuyen a la eutrofización del humedal, destacan el aporte excesivo de nutrientes provenientes de drenajes pluviales y descargas de aguas residuales sin tratamiento adecuado. Factores adicionales, como el uso intensivo de fertilizantes y la carencia de infraestructura sanitaria apropiada, agravan esta problemática.

Jiménez Sánchez y Rosas Ferrusca identifican al humedal La Sabana como un cuerpo de agua en proceso de eutrofización, caracterizado por un crecimiento desmesurado de vegetación acuática. Este fenómeno es consecuencia del aumento en la disponibilidad de nutrientes, producto de la descarga de materia orgánica e inorgánica, tales como aguas residuales, detergentes y fertilizantes asociados a actividades urbanas informales. Además, la planta de tratamiento El Centenario contribuye al problema, al verter residuos directamente en el cuerpo de agua, intensificando el proceso de eutrofización.

En síntesis, el análisis bibliográfico presentado en este capítulo evidencia que la problemática del saneamiento en asentamientos irregulares no solo afecta la calidad de vida de sus habitantes, sino que también representa un riesgo ambiental significativo. A nivel global, nacional y local, diversos estudios han demostrado que la falta de infraestructura sanitaria adecuada, la gestión deficiente de residuos y la ausencia de planeación urbana han propiciado la degradación ambiental y la vulnerabilidad social en estas comunidades.

En particular, el caso de Chetumal y sus alrededores destaca la necesidad de implementar soluciones integrales que combinen la participación comunitaria, el uso de tecnologías sostenibles y la coordinación interinstitucional. La identificación y comprensión de estas problemáticas permiten plantear propuestas viables para la mejora del saneamiento, la protección de los recursos naturales y el desarrollo urbano sostenible, aspectos que serán abordados en los capítulos subsecuentes de la presente investigación.

2. MARCO CONCEPTUAL

La comprensión de las complejidades que configuran un asentamiento irregular requiere una exploración detallada de los conceptos asociados a la urbanización y el desarrollo urbano. En este marco conceptual se presentan los términos fundamentales para abordar dichos fenómenos, comenzando por la definición de *asentamiento irregular*. Es importante señalar que, en América Latina, este término se designa de diversas maneras, incluyendo expresiones como *barrios marginales*, *conventillos*, *colonias populares*, *solares*, *bohíos*, *cuarterías*, *villa miseria*, *bidonvilles*, *taudis*, *hábitat espontáneo*, *favelas*, *morros* y *corticos*. Esta diversidad terminológica refleja las múltiples manifestaciones y percepciones del mismo fenómeno en diferentes regiones.

El presente marco conceptual expuesto proporciona una base sólida para analizar y comprender los desafíos y características específicas del asentamiento irregular El Edén, contextualizado en el marco de la urbanización y las políticas de desarrollo urbano.

2.1. URBANIZACIÓN

La *urbanización*, en su sentido más amplio, abarca todos aquellos procesos que transforman las agrupaciones rurales en entornos urbanos, eliminando gradualmente las diferencias entre las ciudades y las áreas rurales —pueblos o aldeas—. Este proceso puede originarse a partir del desarrollo de actividades no agrícolas o mediante la modernización de la agricultura, basada en técnicas avanzadas y fundamentos sociales renovados (Stefanovich, 2009).

Por su parte, Jean Gottmann (1965) define la *urbanización* como un proceso económico, social, político y cultural que conduce a la humanidad hacia nuevas formas de civilización, cada vez más

urbanizadas. En la misma línea, Jaime Sobrino (2011), en la revista del Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía, describe la *urbanización* como el proceso de concentración poblacional en áreas urbanas y la transformación dicotómica de las conductas sociales y culturales de la población.

2.2. ASENTAMIENTOS IRREGULARES

No existe una definición técnica o legal universalmente aceptada para el término *asentamiento irregular*, *precario* o *informal*; sin embargo, estos conceptos se han vuelto comunes en el discurso urbano contemporáneo. Esta popularización se debe, por un lado, al notable aumento en el número de asentamientos y, por otro, al creciente interés que han suscitado en la sociedad, abarcando desde círculos académicos hasta instancias gubernamentales y partidos políticos.

Definir claramente qué se entiende por *asentamiento irregular* y si este término es equiparable a otros, como *asentamientos precarios* o *cantegriles*, no es solo una cuestión semántica. La forma en que se conceptualiza determina el enfoque para abordar y solucionar el problema, ya sea desde la perspectiva de la irregularidad en la tenencia de la tierra, las características físicas de las viviendas o la falta de servicios básicos.

Por ello, el presente trabajo de investigación considera para el cumplimiento de sus objetivos a un *asentamiento irregular* como un conjunto de viviendas que no reúne las condiciones consideradas necesarias y deseables, conforme a los estándares culturales vigentes, para garantizar una vida familiar y social adecuada. Estas condiciones incluyen el mínimo indispensable de confort, así como seguridad física y jurídica (González & Nahum, 2011).

De acuerdo con la Ley General de Asentamientos Humanos (DOF, 2000), un *asentamiento irregular* se define como un conglomerado demográfico carente de planeación y regulación en su fundación, caracterizado principalmente por problemas jurídicos relacionados con la tenencia de la tierra por parte de sus ocupantes. En estos asentamientos, el acceso a sistemas de transporte, servicios domésticos y públicos, infraestructura adecuada, educación, áreas recreativas y espacios públicos suele ser deficiente o inexistente.

Cabe destacar que, si bien las condiciones de vida en estos asentamientos pueden variar entre sus habitantes, todos reflejan carencias habitacionales importantes y deficiencias en la dotación de servicios básicos. Estas áreas, comúnmente denominadas *zonas invisibles*, se localizan predominantemente en las periferias urbanas, conocidas como *cinturones de miseria*, así como en áreas centrales degradadas y zonas ambientalmente vulnerables, tanto dentro como fuera de los límites urbanos (ONU-Hábitat, 2014).

2.3. ASENTAMIENTOS INFORMALES

Los *asentamientos informales*, conocidos coloquialmente como *invasiones*, se caracterizan por la autoconstrucción de viviendas bajo condiciones de vida precarias. Estos asentamientos surgen de manera espontánea, sin reconocimiento ni derechos legales, y se expanden en las periferias urbanas, ocupando terrenos marginados dentro de los límites de las zonas urbanas (Politécnico Nacional, s.f.).

Estas áreas residenciales presentan tres características principales:

- **Irregularidad en la tenencia de la tierra:** Los habitantes no poseen derechos formales sobre la tierra o las viviendas que ocupan, ya sea por ocupación ilegal o arrendamiento informal.
- **Carencia de servicios básicos:** Los asentamientos suelen carecer de infraestructura esencial, como agua potable, drenaje, electricidad y recolección de residuos.
- **Incumplimiento normativo:** Las viviendas no cumplen con las regulaciones edilicias y de planificación urbana y, generalmente, se ubican en áreas ambientalmente riesgosas.

Además, los asentamientos informales pueden convertirse en un espacio para la especulación inmobiliaria, afectando tanto a residentes de bajos recursos como a aquellos con mayor capacidad económica.

Entre los asentamientos informales, los barrios marginales representan las comunidades más necesitadas y excluidas. Estas áreas se caracterizan por la pobreza extrema, la alta densidad de viviendas en condiciones precarias y su ubicación en terrenos vulnerables. Además de la inestabilidad en la tenencia de la tierra, los habitantes enfrentan la ausencia de infraestructura básica y servicios básicos, espacios públicos y áreas verdes, lo que los expone a riesgos constantes, como el desalojo, las enfermedades y la violencia (Asentamientos Informales, 2016).

La Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Quintana Roo define un *asentamiento irregular* como un núcleo poblacional establecido en áreas o predios ocupados, fraccionadas, lotificados, subdivididos o construidos sin las autorizaciones urbanísticas correspondientes, independientemente del régimen de tenencia de la tierra. Incluso

cuando dichas autorizaciones existen, las obras ejecutadas suelen no coincidir con los proyectos aprobados.

En caso de identificar asentamientos irregulares, la normativa establece la promoción de procesos de regularización y legitimación de la tenencia de la tierra, mediante la expedición de escrituras públicas o títulos de propiedad a favor de poseedores legítimos. Este marco legal tiene como finalidad reducir y abatir los procesos de ocupación irregular, especialmente en zonas de riesgo, a través de la oferta de tierra formalizada que responda a las necesidades de los grupos de bajos ingresos.

2.4. CONCEPTUALIZACIÓN DEL SANEAMIENTO

La Real Academia Española (RAE, 2025) define el *saneamiento* como el conjunto de técnicas y sistemas destinados a mejorar las condiciones higiénicas de un edificio, comunidad o ciudad. Esta definición abarca una serie de prácticas y procedimientos orientados a la gestión adecuada de las aguas residuales y la disposición correcta de desechos sólidos, con el objetivo de garantizar un entorno saludable y libre de contaminantes. Entre las infraestructuras clave del saneamiento se incluyen las redes de alcantarillado, los sistemas de recolección de basura, las plantas de tratamiento y la promoción de prácticas higiénicas. De este modo, el propósito principal del saneamiento radica en la prevención de enfermedades y la promoción del bienestar general de la población, consolidándose como un campo amplio de medidas y sistemas esenciales para la higiene en diversos entornos.

Por su parte, el Programa Conjunto de Monitoreo para el Abastecimiento de Agua, el Saneamiento y la Higiene, desarrollado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), define el *saneamiento* como el conjunto de instalaciones destinadas a asegurar la separación higiénica de los excrementos y el contacto humano. Esta definición destaca la importancia de establecer barreras entre los desechos humanos y la sociedad, a fin de prevenir la propagación de enfermedades. Se enfatiza la implementación de infraestructuras como sistemas de alcantarillado y fosas sépticas, las cuales permiten la recolección, el tratamiento y la disposición segura de los excrementos. Además, se subraya la relevancia de una adecuada operación y mantenimiento de estas infraestructuras para garantizar su efectividad a largo plazo (OMS-UNICEF, 2021).

La Dirección contra Riesgos Sanitarios de Quintana Roo (2020) considera el *saneamiento* como un conjunto de acciones mínimas necesarias para la adaptación de una localidad urbana o rural, con el propósito de que sus habitantes vivan en ambientes saludables. Este proceso implica la identificación y evaluación de factores de riesgo para la salud, condicionados por prácticas y actitudes inadecuadas que pueden afectar negativamente la calidad de vida de la población.

2.5. MANEJO DE AGUAS RESIDUALES

Espigares y Pérez (1985) definen las *aguas residuales* como aquellas que, tras su uso por el ser humano, representan un riesgo para la salud y deben ser desechadas. Esta definición destaca que el nivel de contaminación de las aguas residuales depende de su origen, lo que determina el tipo de tratamiento necesario para su correcta gestión (Acuatécnica, 2016).

Las aguas residuales pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- **Aguas residuales domésticas o aguas negras:** Provienen de las actividades cotidianas del hogar, como el aseo personal, la limpieza de la vivienda y la cocina. Contienen altos niveles de materia orgánica (heces y orina humana) y microorganismos, además de residuos de jabones, detergentes, lejía y grasas.
- **Aguas blancas:** Se originan principalmente de precipitaciones atmosféricas, como la lluvia, la nieve y el deshielo, así como del riego y la limpieza de calles, parques y espacios públicos. En regiones con precipitaciones abundantes, es común evacuar estas aguas por canales independientes para evitar la saturación de los sistemas de depuración.
- **Aguas residuales industriales:** Son generadas por los procesos productivos en fábricas y establecimientos industriales. Pueden contener aceites, detergentes, antibióticos, ácidos, grasas y otros subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal, cuya composición varía según la actividad industrial específica.
- **Aguas residuales agrícolas:** Proceden de las actividades agrícolas y, en muchos casos, se utilizan para el riego de cultivos, con o sin tratamiento previo. Suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas Estas aguas suelen contener elevadas concentraciones de nutrientes, microorganismos y residuos agroquímicos (Espigares & Pérez, 1985).

Las aguas residuales no solo representan un riesgo por su contenido de microorganismos patógenos, sino también por los malos olores y las sustancias tóxicas que liberan durante su descomposición. Dichos elementos pueden afectar tanto a la flora como a la fauna de las masas hídricas receptoras. El impacto se intensifica cuando estas aguas son utilizadas para consumo

indirecto, es decir, riego agrícola sin un tratamiento adecuado, provocando efectos tóxicos que se clasifican en las siguientes categorías:

- **Letales:** Provocan la muerte por envenenamiento directo.
- **Subletales:** No causan la muerte inmediata, pero afectan el crecimiento, la reproducción o la actividad de los organismos.
- **Agudos:** Generan un efecto adverso, generalmente letal, en un corto periodo de tiempo.
- **Crónicos:** Causan daños prolongados, ya sea letales o subletales, durante un tiempo prolongado.
- **Acumulativos:** El efecto se intensifica con la exposición repetida a dosis sucesivas.

El agua contaminada por aguas residuales o excretas de origen humano y animal puede intervenir, de manera directa o indirecta, en la propagación de enfermedades. Esta contaminación favorece el desarrollo de artrópodos y moluscos que actúan como vectores en las cadenas epidemiológicas, además de diseminar agentes infecciosos presentes en las excretas de personas enfermas o portadoras. Dichos patógenos pueden contaminar el agua potable o las hortalizas regadas con aguas residuales sin tratamiento previo.

Finalmente, el vertido de aguas residuales al mar contribuye al envenenamiento de peces y mariscos en estuarios y plataformas costeras, afectando criaderos de ostras y zonas dedicadas a la pesca, lo que genera no solo un impacto ambiental, sino también económico y social (Espigares & Pérez, 1985).

2.6. CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE INSTALACIÓN SANITARIA

Las instalaciones sanitarias están conformadas por un conjunto de tuberías y accesorios diseñados para facilitar el desagüe de aguas residuales, cuyo funcionamiento se basa en la acción de la gravedad. Por esta razón, dichas instalaciones deben contar con pendientes mínimas que eviten el estancamiento de líquidos y garanticen el flujo continuo hacia el sistema de recolección y disposición final. Las redes sanitarias tienen como objetivo recolectar y evacuar tanto las aguas pluviales como las residuales generadas por el uso doméstico, provenientes de lavabos, inodoros, duchas, fregaderos y otros elementos sanitarios.

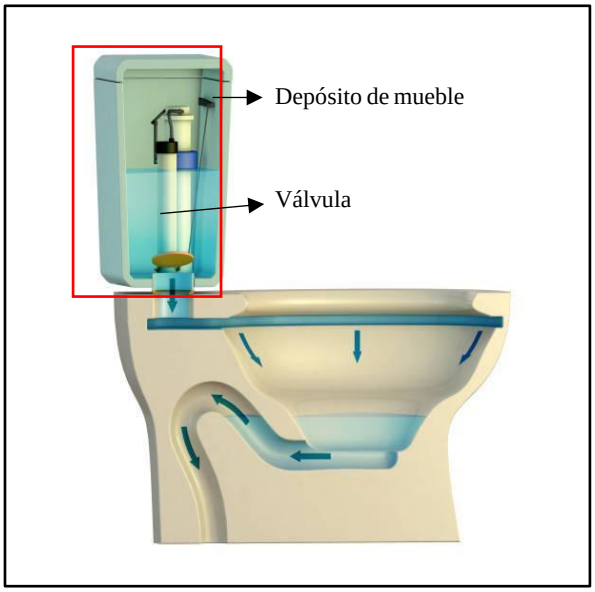
La correcta instalación de estas redes sanitarias no solo busca asegurar su operatividad inicial, sino también minimizar la necesidad de reparaciones y refacciones frecuentes. Para alcanzar este propósito, es fundamental llevar a cabo un mantenimiento preventivo regular, el cual consiste en la limpieza periódica de las tuberías, especialmente en puntos críticos como sifones y bajantes. Esta limpieza no solo responde a las necesidades higiénicas básicas, sino que también contribuye a mantener la eficiencia y funcionalidad del sistema, garantizando su correcto desempeño a largo plazo (Arquitectura Pura, s.f.).

Las infraestructuras de saneamiento desempeñan un papel crucial en la preservación de la salud pública y el medio ambiente, ya que permiten la gestión adecuada de aguas residuales y desechos sólidos. Estas instalaciones constituyen componentes esenciales para la creación de entornos habitables y sostenibles, al prevenir la contaminación y mitigar riesgos sanitarios. A continuación, se describen las principales categorías de instalaciones sanitarias, de acuerdo con su función y aplicación específica.

2.6.1. Estructura y funcionamiento de instalación de inodoro

Las instalaciones de inodoro operan mediante un mecanismo de descarga que funciona a través de un depósito integrado en el mueble sanitario, el cual se llena de agua con la ayuda de una válvula (véase Figura 12). Este sistema permite la expulsión de los residuos por medio de una descarga controlada, que debe complementarse con un sistema de ventilación adecuado para garantizar la fluidez durante el proceso de evacuación. Finalmente, el agua residual es conducida hacia una caja de desagüe conectada a la red pública, asegurando la eliminación eficaz de las aguas servidas sin interferir en los espacios habitacionales.

Figura 12. Inodoro de sifón



Fuente: Shutterstock (s.f.).

En las viviendas ubicadas en pequeñas poblaciones o zonas alejadas de las áreas urbanas, las instalaciones suelen ser más convencionales, incluyendo inodoros conectados a fosas sépticas. Este tipo de sistema se basa en la excavación de un pozo de menos de 20 metros de profundidad, cubierto por una losa de hormigón armado. Para la correcta instalación y funcionamiento de estos sistemas de depuración, es esencial considerar su ubicación, evitando terrenos pantanosos, rellenos o propensos a inundaciones, así como áreas expuestas al tránsito vehicular. Estas precauciones garantizan la estabilidad estructural y el adecuado desempeño del sistema.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-006-CONAGUA-2022, los sistemas de depuración prefabricados que no estén conectados a la red de alcantarillado sanitario con relación al distanciamiento de las viviendas, deben cumplir con las siguientes especificaciones generales:

Si existe un cuerpo de agua contiguo, la construcción debe ubicarse al menos a 15 metros de distancia y a más de 3 metros de la vivienda.

a. La pendiente del conducto de conexión debe oscilar entre el 2 % y el 4 %.
b. El sistema debe contar con un respiradero para la evacuación de los gases generados por la fermentación biológica de las aguas residuales, con un diámetro mínimo de 100 mm en las canalizaciones de evacuación.
c. Se deben incluir accesos para el control y la extracción de lodos.
d. El tiempo de retención hidráulico (TRH) debe ser de al menos un día.
e. La extracción de lodos debe realizarse, como mínimo, una vez cada tres años.
f. El sistema debe construirse sobre un lecho de arena compactada para evitar daños estructurales o problemas de estabilidad.
g. En suelos difíciles (impermeables o arcillosos), el lecho de asentamiento deberá ser de arena estabilizada, elaborada en seco mediante la mezcla de 200 kg de cemento por cada metro cúbico de arena, con un grosor mínimo de 20 cm.

Es fundamental que los sistemas de saneamiento reciban el mantenimiento adecuado, conforme al tipo de instalación, para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil. La disponibilidad y calidad del servicio son aspectos clave para asegurar el confort dentro y fuera de

la vivienda, ya que las filtraciones o el desbordamiento de residuos pueden comprometer la habitabilidad del espacio y generar riesgos sanitarios como enfermedades de gravedad.

Según la NOM-006-CNA-1997, el buen funcionamiento de la fosa séptica requiere una inspección visual del contenido cada seis meses, así como la limpieza de los desechos antes de que estos se acumulen en las entradas o salidas de las tuberías. Las recomendaciones específicas incluyen las siguientes medidas:

- Adoptar precauciones durante la inspección para evitar la inhalación de gases provenientes del interior de la fosa, dado que estos pueden provocar asfixia o incluso explosiones.
- Realizar la limpieza mediante un camión o tanque equipado con una bomba de extracción, asegurando que la ubicación de la fosa permita el acceso del equipo especializado.

2.6.2. Estructura y funcionamiento de instalación de letrinas

Las letrinas sanitarias constituyen un mecanismo básico para la eliminación segura de desechos humanos, cuyo propósito es prevenir riesgos para la salud de las familias y comunidades. Este tipo de instalación es común en viviendas ubicadas en zonas rurales o semiurbanas que carecen de sistemas de alcantarillado, ya que representa una solución más sencilla y económica. Su

Figura 13. Letrina



Fuente: Construcción de letrinas en la comunidad de El Majagual, El Río, Constanza - Plan Yaque, Inc. (s.f.).

funcionamiento se caracteriza por la ausencia de agua, razón por la cual se les denomina *baños secos*.

Según estimaciones internacionales, aproximadamente 2.6 mil millones de personas en el mundo no cuentan con acceso a sistemas de saneamiento adecuados, mientras que 1.2 mil millones se ven obligadas a defecar al aire libre, lo que incrementa significativamente el riesgo de enfermedades. Además, la falta de higiene y de instalaciones sanitarias apropiadas contribuye a 1.8 millones de muertes anuales a nivel global (véase Figura 13).

La idoneidad de las letrinas depende de las necesidades y condiciones específicas de las personas que las utilizan, considerando sus hábitos, comportamientos y, principalmente, sus posibilidades financieras. Estas instalaciones pueden clasificarse según diversos criterios, entre los cuales destacan:

- Modo de funcionamiento: Con o sin agua.
- Tipo de construcción: Pozos simples o dobles.
- Características estructurales: Con losa o sin losa.
- Sistema de ventilación: Con o sin ventilación.

La correcta selección del tipo de letrina debe basarse en las condiciones ambientales y socioeconómicas del entorno, así como en la disponibilidad de materiales y recursos para su instalación y mantenimiento.

2.7. NORMATIVAS DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO DE ACUERDO CON CONAGUA

El *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* (CONAGUA, 2019), específicamente en su Libro 37, establece que la calidad de vida y el desarrollo integral de las familias están directamente relacionados con la disponibilidad y eficiencia de los sistemas de saneamiento y abastecimiento de agua. Este manual detalla las técnicas, avances tecnológicos y estándares de calidad necesarios para la implementación de una infraestructura sanitaria eficiente, segura y sostenible.

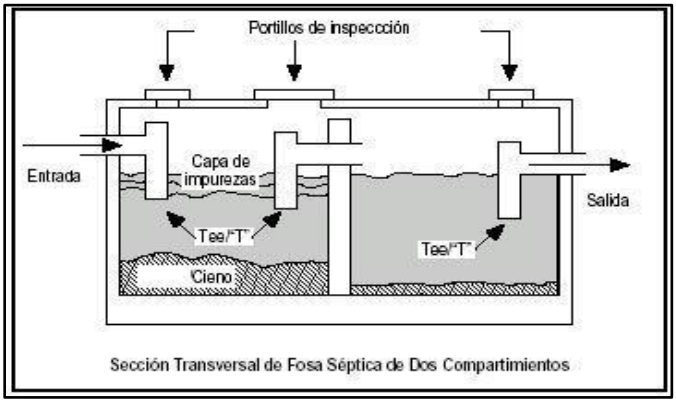
Las normativas incluidas en el manual abarcan desde el diseño y la instalación de sistemas de alcantarillado y saneamiento hasta las prácticas de mantenimiento y operación, con el objetivo de garantizar la funcionalidad continua y la protección de la salud pública. Asimismo, se promueve el uso de tecnologías apropiadas que permitan la adaptación de los sistemas a las condiciones específicas de cada comunidad, considerando factores geográficos, climáticos y socioeconómicos.

En este contexto, la CONAGUA subraya la importancia de la planeación integral y la supervisión continua para asegurar la sostenibilidad y eficacia de las infraestructuras sanitarias, tanto en áreas urbanas como rurales.

2.7.1. Regulaciones para fosa séptica

Las fosas sépticas están diseñadas para cumplir tres funciones principales: sedimentación, almacenamiento y digestión de sólidos.

Figura 14. Compartimentos y funcionalidad de la fosa séptica



Fuente: Línea (2023).

Para la correcta ejecución de la primera función, el agua residual debe fluir por gravedad desde la vivienda hasta el tanque séptico, a través de tuberías. Una vez en el interior del tanque, el agua circula lentamente para permitir la precipitación de la materia sedimentable, la cual se acumula en el fondo del depósito, mientras que los sólidos más ligeros, como las grasas, permanecen en la superficie, formando una capa de nata o espuma. Esta capa no solo reduce los movimientos bruscos del fluido, sino que también actúa como una barrera que limita el contacto del agua con el aire externo (véase Figura 14).

Los sólidos retenidos en el tanque séptico permanecen en su interior entre dos y tres años, dependiendo de la capacidad del sistema y del volumen de aguas residuales generado. Durante este periodo, se lleva a cabo la digestión anaerobia de la materia orgánica, un proceso mediante el cual los sólidos se descomponen y se transforman en gases y líquidos, reduciendo así la cantidad de lodo acumulado. No obstante, la acumulación de lodo es inevitable y puede disminuir el volumen efectivo del tanque, afectando el tiempo de retención del agua residual.

Una vez clarificado, el líquido fluye por gravedad a través de una tubería dispuesta en el extremo opuesto a la entrada, penetrando aproximadamente un 40 % por debajo del nivel del agua. Para mejorar la eficiencia del sistema, es posible incorporar difusores o pantallas, que retienen la capa

de espuma en el interior del tanque y favorecen una mayor sedimentación. La ventilación del sistema se garantiza mediante la instalación de una tubería en el espacio libre entre la cara inferior de la cubierta que permite la liberación de los gases generados por la fermentación biológica.

Es importante señalar que, en las fosas sépticas, el caudal de entrada debe ser igual al caudal de salida, lo que asegura un equilibrio hidráulico en el sistema. La disposición final del efluente dependerá de las condiciones del terreno y de la proximidad a cuerpos receptores, como ríos, lagos o suelos permeables (CONAGUA, 2019).

El íntimo contacto del agua residual con la espuma y el lodo, en conjunto con la agitación de este último por el gas que asciende, tienden a hacer que el efluente del tanque tenga un alto contenido de nutrientes, gérmenes entéricos y, en general, materia orgánica finamente dividida y maloliente. Es importante señalar que, en las fosas sépticas, el gasto de escurrimiento del líquido de entrada debe ser igual al caudal de salida, lo que asegura un equilibrio hidráulico en el sistema. La disposición final del efluente dependerá de las condiciones del terreno y de la proximidad a cuerpos receptores —como ríos, lagos o suelos permeables— (CONAGUA, 2019).

El diseño de la fosa séptica debe garantizar la dispersión uniforme de los desechos y evitar la generación de turbulencias en su interior. Las estructuras de salida deben estar diseñadas para retener los lodos y las natas, asegurando que el efluente liberado cumpla con los estándares ambientales establecidos. La capacidad del tanque séptico debe ser suficiente para retener adecuadamente las aguas residuales, considerando el número de usuarios que utilizan el servicio y el volumen de agua generada diariamente.

Según la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-006-CONAGUA-2022, el diseño de las fosas sépticas debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Ubicación:** Se recomienda instalar la fosa en terrenos estables, alejados de cuerpos de agua (mínimo 15 m) y de la vivienda (mínimo 3 m).
- **Ventilación:** Es necesario instalar un tubo de ventilación para la evacuación de gases generados durante la fermentación biológica.
- **Tiempo de retención:** El tiempo mínimo de retención hidráulica debe ser de un día.
- **Espacio para acumulación de lodos:** Debe contemplarse un espacio adicional para la acumulación de nata y lodos.
- **Mantenimiento:** Se recomienda la extracción de lodos al menos una vez cada tres años.
- **Condiciones del terreno:** En zonas rurales, deben considerarse factores como el clima, la hidrología, las costumbres, las actividades, posición socioeconómica de la población (ya que se presenta insuficiencia del abastecimiento del agua), existencia de alcantarillado, así como la disponibilidad y el costo del agua.

En términos de consumo promedio, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2019) establece que el volumen de agua residual generada por persona es de 100 litros diarios. Este valor puede variar según la ubicación geográfica y la clase socioeconómica de la población (véase Tabla 4).

Tabla 4. Consumo de agua potable en viviendas del medio urbano

USO	CONSUMO DIARIO (L/HABITANTE)
Bebida, cocina y limpieza	30 l
Eliminación de excretas	40 l
Aseo personal	30 l

Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA (2019).

El consumo promedio de agua en zonas urbanas se determina de acuerdo con el tipo de usuarios y se clasifica según su uso en dos categorías principales: doméstico y no doméstico. El consumo doméstico se refiere al agua utilizada en las viviendas y varía principalmente en función de la clase socioeconómica de la población, ya sea alta, media o baja, así como de las condiciones climáticas de la región.

El consumo promedio de agua en los hogares puede presentar variaciones significativas debido a diversos factores, entre los que destacan la presión en la red de distribución, la intermitencia en el servicio, la suficiencia del abastecimiento, la existencia de sistemas de alcantarillado sanitario y el costo del agua.

En este contexto, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en colaboración con el Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), llevó a cabo un estudio titulado *Estimación de factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México*, en el cual se especifican los datos relativos al consumo de agua en zonas urbanas, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5. Promedio de consumo de agua potable estimado según nivel socioeconómico y condiciones climáticas

CLIMA	CONSUMO L/HAB/D			SUBTOTAL POR CLIMA
	Bajo (l/Hab)	Medio (l/Hab)	Alto (l/Hab)	
Cálido Húmedo	198	206	243	201
Cálido Subhúmedo	175	203	217	191
Seco o Muy seco	184	191	202	190
Templado o Frío	140	142	145	142

Fuente: CONAGUA (2019).

De acuerdo con las características presentadas en las tablas, el volumen del tanque séptico se determina mediante la siguiente fórmula:

$$V_t = A_p Pt$$

Donde:

V_t = Volumen del tanque (L)

A_p= Aportación de aguas negras L/ (hab*d)

P= Población usuaria, en número de habitantes

t= Tiempo de retención hidráulica (días)

Cálculo de acumulación de lodo

El volumen calculado mediante la Ecuación 2.1 no incluye la acumulación de lodo, por lo que debe considerarse un margen adicional de 70 litros de lodo por habitante al año. En consecuencia, el volumen total del tanque séptico se determina mediante la siguiente expresión:

$$V_T = V_t + V_l P t_{vu}$$

Donde:

V_t= Volumen total del tanque séptico (L)

V_L= Volumen de lodos por año por año (70 L/hab/año)

t_{vu} = Tiempo de vida útil del tanque séptico (años)

Cálculo de dimensionamiento de tanque

Es fundamental determinar con precisión la capacidad de almacenamiento y la retención de lodos, ya que, a partir de estos cálculos, es posible optimizar el diseño y las dimensiones de la fosa séptica. La eficiencia del proceso de sedimentación del tanque está directamente relacionada con el área superficial del tanque, mientras que su capacidad de almacenamiento depende principalmente de la profundidad.

De acuerdo con los lineamientos establecidos por la CONAGUA (2019), el diseño de una fosa séptica debe ajustarse a las siguientes pautas:

1. **Relación largo-ancho:** La proporción recomendada debe considerarse a escala 2:1 a 3:1.
2. **Altura:** Debe corresponder al 80 % de la capacidad total del volumen calculado.

3. **Profundidad mínima:** Se establece según el número de personas usuarias, conforme a los datos presentados en la Tabla 6.

La adecuada consideración de estos parámetros permite garantizar un funcionamiento óptimo del sistema, minimizando la acumulación de lodos y asegurando la correcta depuración de las aguas residuales.

Tabla 6. Profundidades mínimas para sistemas sanitarios en función del número de habitantes

PROFUNDIDAD EN METROS	NÚMERO DE HABITANTES
5	1.50
6-10	1.80
11-15	1.85
16-20	1.90

Fuente: Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-006-CONAGUA (2022).

Para un rango de población de 1 a 20 habitantes, se recomienda el uso de tanques sépticos con dos compartimentos y una capacidad mínima de 2,000 litros, ya que los tanques de menor volumen son más sensibles a las oscilaciones provocadas por el flujo de agua entrante. Como se mencionó anteriormente, la capacidad de la primera cámara debe representar entre la mitad y dos terceras partes del volumen total del tanque.

Los dispositivos de entrada y salida cumplen funciones diferenciadas y deben instalarse a niveles específicos para garantizar el flujo continuo de las aguas residuales. En el caso de los dispositivos de entrada debe considerarse tanto su profundidad como su dimensionamiento; la profundidad no debe exceder los 35 cm, mientras que los de salida deben ubicarse a una profundidad máxima de 40 cm.

Los materiales empleados en la construcción de las fosas sépticas deben ser resistentes a la corrosión y la putrefacción. Entre los materiales más recomendados se encuentran el concreto, el polietileno y las fibras de vidrio, debido a su durabilidad y resistencia. No obstante, la opción más confiable es la construcción en concreto, la cual implica el vaciado de una losa en el fondo y otra en la parte superior, con un grosor mínimo de 65 mm para garantizar la estabilidad.

2.7.2. Normas para instalaciones de letrinas

Las instalaciones de letrinas son comunes en zonas rurales donde el abastecimiento de agua es escaso. En estos contextos, las letrinas representan un sistema de saneamiento de bajo costo para el tratamiento de excretas, capaz de reducir significativamente el riesgo de enfermedades y mejorar las condiciones de vida de la población, siempre que su construcción se realice de manera adecuada y conforme a los requerimientos técnicos establecidos.

Según la CONAGUA (2019), las letrinas simples se componen de una losa colocada sobre una fosa cuya profundidad puede ser de 2 metros o más. La losa debe estar firmemente apoyada y elevada por encima del terreno circundante para evitar la infiltración de agua en la fosa. Los componentes básicos de las letrinas incluyen:

- **Brocal:** Es la estructura que delimita y eleva el piso o la losa, evitando el contacto con el suelo. Se recomienda una altura mínima de 30 centímetros.
- **Losa:** Su función principal es cubrir la fosa y servir de soporte para la taza de baño. Cuando se construye en concreto, debe contar con un grosor mínimo de 7 centímetros.
- **Sistema constructivo:** Los materiales de construcción pueden variar e incluir zacate, cartón, piedra, adobe, block, tabique o madera.
- **Distancia:** La ubicación de la fosa debe cumplir con ciertas disposiciones para evitar la contaminación de fuentes de agua. En el caso de las fosas secas, la distancia mínima recomendada a 3 metros respecto a las fuentes de agua destinadas al consumo humano. Por su parte, las fosas húmedas deben ubicarse a una distancia mínima de 10 metros de dichas fuentes.

El diseño de la fosa de las letrinas debe considerar la relación entre su capacidad, la población usuaria y la vida útil estimada. Cuando la fosa tenga un diseño cuadrado, se recomienda un área de 1 m^2 y una profundidad de 2 metros, lo que garantiza la separación del nivel freático. En el caso de diseños rectangulares, la fosa no debe exceder un metro de ancho por 1.5 metros de largo.

El volumen requerido está directamente relacionado con la vida útil de la fosa. La Tabla 7 correspondiente presenta los datos específicos para una vida útil estimada de cinco años.

Tabla 7. Requerimiento de construcción para fosas en instalación de letrinas

HABITANTES	TASA DE ACUMULACIÓN DE SÓLIDOS M^3/ (HAB*AÑO)	VIDA ÚTIL EN AÑOS	FACTOR DE VOLUMEN VACÍO	VOLUMEN (M^3)	PROFUNDIDAD EN LOSA CUADRADA (M)	PROFUNDIDAD EN LOSA RECTANGULAR (M)	PROFUNDIDAD EN LOSA CILÍNDRICA (M)
2	0.06	5	1.33	0.80	0.80	0.40	1.02
4				1.60	1.60	0.80	2.03
6				2.39	2.40	1.20	3.05
8				3.19	3.20	1.60	4.06
10				3.99	4.00	2.00	5.08

Fuente: CONAGUA (2019).

Tabla 8. Distancia requerida entre sistemas sanitarios a sistemas de desechos

TIPO DE SUELO	PARA FOSA DENTRO DE INSTALACIONES		PARA FOSAS DE INSTALACIONES	
	Profundidad total de la fosa (m)	**Distancia de la fosa con respecto a estructuras (m)**	**Profundidad total de fosa (m)**	**Distancia de la fosa con respecto a estructuras (m)**
Areno-Arcilloso (Arena> 50%)	1.3	0.22	1.96	0.54
	1.73	0.43	2.27	0.72
	2.05	06	2.56	0.88
Arcillo-arenoso (arcilla y limo>50%)	1.3	0.32	1.96	0.8
	1.73	0.6	2.27	1.06

Fuente: CONAGUA (2019).

2.8. CONCLUSIONES PARTICULARES

El presente marco conceptual abordó los fundamentos teóricos relacionados con la urbanización y su impacto en la formación de asentamientos irregulares, destacando cómo la falta de regulación y el acceso limitado a terrenos adecuados obligan a numerosos habitantes a recurrir a la autoconstrucción. Si bien esta práctica permite cubrir necesidades inmediatas de vivienda y saneamiento, también plantea desafíos significativos en términos de calidad y eficiencia de los sistemas de desagüe y saneamiento.

La revisión de las instalaciones sanitarias, tales como tanques sépticos y letrinas, junto con las normativas establecidas por la CONAGUA, evidencia la brecha existente entre las soluciones autoconstruidas y las regulaciones técnicas requeridas para garantizar sistemas de saneamiento seguros y eficaces. Esta discrepancia no solo afecta la calidad de vida de los habitantes, sino que también incrementa la vulnerabilidad ambiental y sanitaria en estos entornos.

En conjunto, los conceptos expuestos permiten comprender con mayor profundidad la realidad del asentamiento El Edén, donde los sistemas autoconstruidos, aunque funcionales en el corto plazo al responder a necesidades inmediatas, perpetúan la existencia de una infraestructura sanitaria inadecuada y susceptible a fallas. Esta base conceptual servirá como guía para el análisis detallado que se presentará en los capítulos siguientes, enfocado en identificar las deficiencias específicas y proponer soluciones adaptadas a las condiciones particulares del asentamiento.

3. METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

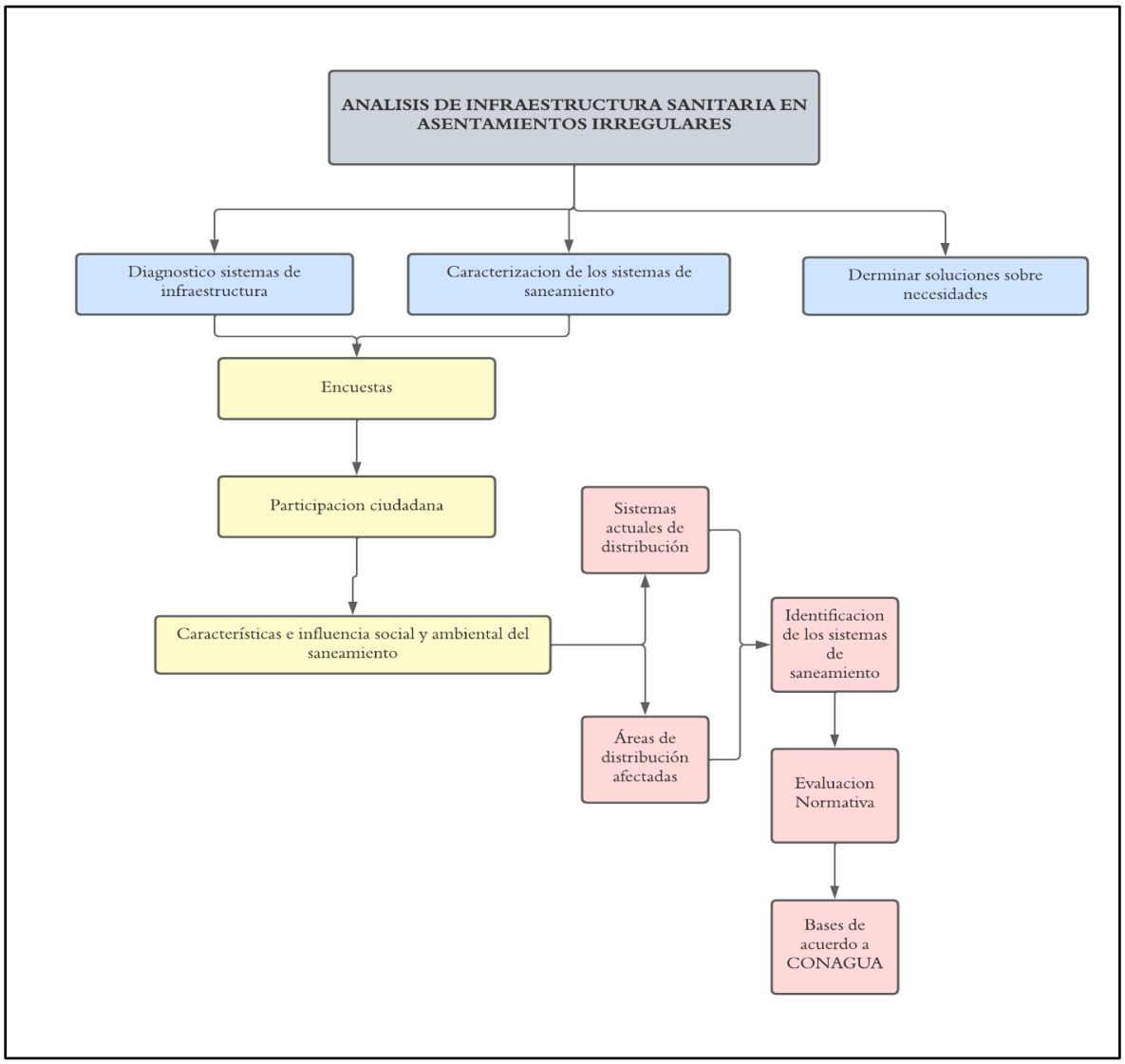
La metodología adoptada para el desarrollo de esta investigación se enmarca dentro del enfoque cuantitativo. Como primer paso, se recopiló información a partir de una investigación previa realizada en el Instituto Tecnológico de Chetumal (ITCH), donde se establecieron códigos diferenciados para la identificación de las manzanas, considerando únicamente un número provisional con fines analíticos. Esta clasificación permitió organizar la investigación y realizar el análisis mediante la aplicación de fichas técnicas y cuestionarios de opción múltiple en el área de estudio, con el objetivo de identificar las condiciones de las infraestructuras de saneamiento existentes.

Posteriormente, se llevó a cabo la sistematización, el procesamiento y el análisis de los datos obtenidos durante la investigación de campo. A continuación, se detalla el proceso metodológico seguido en cada etapa del estudio.

3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO

El diseño de la investigación se basó en un esquema metodológico que permitió el análisis detallado de la infraestructura sanitaria en asentamientos irregulares, tomando como caso de estudio el asentamiento El Edén. Este diseño incluyó la recolección de datos a través de encuestas, fichas técnicas y observación directa, permitiendo así una caracterización precisa de las condiciones existentes.

Esquema 1. Análisis de infraestructura sanitaria en asentamientos irregulares



Fuente: Elaboración propia con base en el desarrollo metodológico, 2022.

3.2. PROCESO DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA

La selección de la muestra se llevó a cabo mediante un muestreo no probabilístico, específicamente por conveniencia, con el objetivo de asegurar una cobertura amplia del área de estudio, considerando las características particulares del asentamiento El Edén.

Las encuestas fueron aplicadas en un total de 46 viviendas habitadas. De acuerdo con el Programa de Desarrollo Urbano (Ayuntamiento de Othón P. Blanco, 2021), el asentamiento cuenta con aproximadamente 52 viviendas, por lo que la muestra cubrió alrededor del 90 % del total de viviendas de la zona de estudio. El proceso de recolección de datos se realizó en dos etapas:

- **Primera etapa:** Se aplicó la primera encuesta durante un periodo de 15 días, utilizando un muestreo no probabilístico, abarcando un total de 30 viviendas.
- **Segunda etapa:** La segunda encuesta se llevó a cabo en un lapso de siete días, aplicándose a las 46 viviendas que conformaron la muestra final.

3.3. DISEÑO DEL INSTRUMENTO

Para el diagnóstico de los sistemas de infraestructura sanitaria, se elaboraron dos fichas técnicas conforme a las especificaciones básicas establecidas en el *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* (CONAGUA, 2019).

Tabla 9. Evaluación técnica de letrinas

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS LETRINAS		**NVE001**	
NÚMERO DE HABITANTES			
TIPO DE LETRINA			
Seca/Húmedas			
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS			
	SÍ	NO	OTROS
FOSA			
BROCAL			
LOSA			
CASETA			
TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN			
AÑOS	1-2	3-5	6-10

Fuente: Elaboración propia con base en los lineamientos de CONAGUA (2019).

Tabla 10. Evaluación técnica de fosas sépticas

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA FOSA SÉPTICA	**FOLIO. NVE001**
CAPACIDAD DE DISEÑO	
NÚMERO DE HABITANTES	

DIMENSIONAMIENTO	LARGO	ANCHO	PROFUNDIDAD (EN CASO DE QUE EL HABITANTE TENGA CONOCIMIENTO)	
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	CONCRETO	POLIETILENO	FIBRA DE VIDRIO	OTROS
NÚMERO DE CÁMARAS	1	2	3	
TRAMPA PARA GRASA	SÍ		NO	
TIPO DE TUBERÍAS				
	PVC		POLIETILENO	OTROS
VENTILACIÓN				
CONDUCTOS				

Fuente: Elaboración propia con base a los lineamientos de CONAGUA (2019).

Asimismo, para caracterizar los sistemas de saneamiento y su estado de operación, se diseñó un cuestionario de opción múltiple que permitió describir las infraestructuras sanitarias presentes en El Edén y verificar sus condiciones y estado operativo. Este instrumento permitió recopilar información detallada sobre el tipo de instalación sanitaria, su ubicación y el destino final de las aguas residuales, identificando el sistema o instalación en la que son vertidas.

Tabla 11. Cuestionario de identificación y caracterización de sistemas sanitarios

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	FOLIO. NVE001
1. ¿Qué tipo de instalación sanitaria utilizan habitualmente los miembros de su hogar?	a) Inodoro de descarga o sifón b) Compostaje c) Ninguna instalación d) Otro
2. ¿A dónde va la descarga?	a) Alcantarillado b) Tanque séptico c) Letrina con losa/sin losa d) Drenaje abierto
3. ¿En dónde se encuentra esta instalación?	a) En la vivienda propia b) En el patio o parcela c) En otro lugar d) No sabe
4. ¿Se filtran o desbordan los residuos de su instalación de saneamiento?	a) No, nunca b) Sí, a veces c) Sí, con frecuencia d) No lo sabe
5. ¿Se ha vaciado alguna vez su letrina de fosa o tanque séptico?	a) Sí b) Nunca c) No sé d) Tal vez
6. ¿Dónde se vertió el contenido la última vez que se vacío?	a) Recogido por proveedor de servicios b) Planta de tratamiento c) Desconocido d) Al aire libre

7. ¿Existe problemas durante la época de lluvias o las inundaciones?	a) No, nunca b) Sí, a veces c) Sí, con frecuencia d) No lo sabe

Fuente: Instrumento de diseño propio, 2022.

3.4. PROCESAMIENTO Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento de la información obtenida a través de las encuestas se desarrolló en tres fases. En la primera fase, se elaboraron bases de datos que organizaron las características identificadas durante el diagnóstico, permitiendo la creación de esquemas para una visualización clara y comprensible.

En la segunda fase, durante la caracterización de los tipos de sistemas de saneamiento, la información se organizó de acuerdo con los datos obtenidos en la segunda encuesta. Para facilitar su manejo, se realizó una separación por tipo de infraestructura sanitaria, lo que permitió sistematizar la información de manera eficiente. A partir de ello, se generaron bases de datos estructuradas, acompañadas de gráficos y mapas que ilustraron los hallazgos de manera detallada.

Finalmente, en la tercera fase, se organizaron los datos para cuantificar la cantidad de contaminantes. Este proceso implicó la aplicación de operaciones y algoritmos para la creación de nuevos datos, con el propósito de mejorar la comprensión y el análisis de la información. Como resultado, se elaboraron esquemas visuales que facilitaron la interpretación de los hallazgos y permitieron identificar las áreas críticas para la intervención.

3.5. CONCLUSIÓN

En síntesis, la metodología empleada, basada en un enfoque mixto y en la recolección de datos en campo mediante encuestas y fichas técnicas, resultó eficaz para identificar y caracterizar las condiciones de las infraestructuras de saneamiento en el asentamiento El Edén. Este enfoque permitió obtener información detallada sobre las instalaciones sanitarias: su tipo, su estado de operación, su ubicación y los problemas específicos que enfrentan, particularmente durante la temporada de lluvias.

La aplicación del muestreo por conveniencia, con encuestas realizadas en aproximadamente el 90 % de las viviendas del asentamiento, proporcionó una cobertura representativa de la zona de estudio, suficiente para representar las condiciones actuales. Asimismo, el procesamiento sistemático de la información, complementado con la creación de bases de datos y visualizaciones, facilitó la estructuración de los hallazgos, permitiendo una interpretación precisa y fundamentada para el desarrollo de soluciones específicas.

Esta metodología destaca la importancia de adaptar las herramientas y procesos de recolección de datos a las características particulares de los asentamientos irregulares, optimizando así la precisión del diagnóstico y la formulación de recomendaciones específicas para la mejora de la infraestructura sanitaria en estas comunidades.

4. DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA SANITARIA DEL EDÉN BASADO EN LA NORMATIVA DE CONAGUA

El diagnóstico de las infraestructuras sanitarias del asentamiento El Edén se realizó tomando como referencia los lineamientos de diseño establecidos por la CONAGUA, en su *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* (2019). Este enfoque permitió evaluar las condiciones actuales de los sistemas de saneamiento en función de parámetros técnicos, garantizando así la validez y pertinencia del análisis. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

4.1. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DESAGÜE CON TANQUE SÉPTICO

Los lineamientos de la CONAGUA establecen que, para determinar el dimensionamiento adecuado de un tanque séptico, es necesario conocer la cantidad de flujo de desechos domésticos generados por vivienda, el tiempo de retención de las aguas residuales en la fosa séptica y el espacio requerido para la acumulación de la nata y los lodos. El procesamiento de la información recopilada mediante las fichas técnicas permitió determinar las dimensiones de las infraestructuras sanitarias, cuyos resultados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Dimensionamiento de fosas sépticas por vivienda

CARACTERÍSTICAS DE LAS FOSAS SÉPTICAS			
Muestra	Ancho (m)	Largo (m)	Profundidad (m)
NVE001	2	2.5	Sin datos
NVE002	2	2.63	Sin datos
NVE003	1	2.35	Sin datos

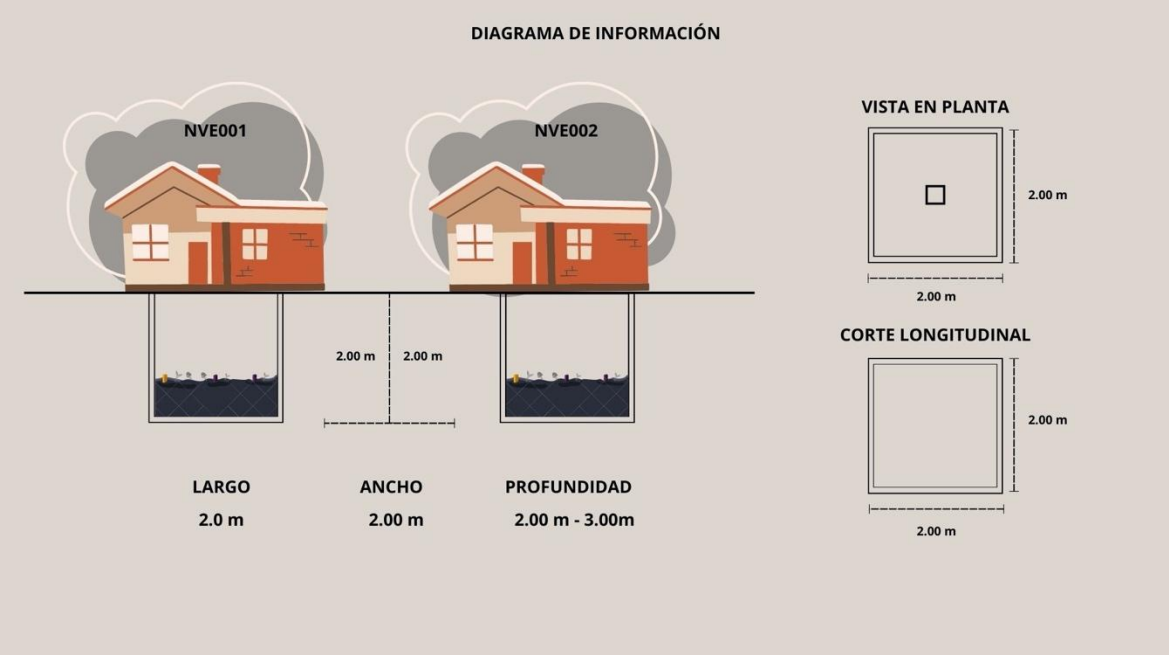
NVE004	Sin datos	Sin datos	Sin datos
NVE005	2.5	2.5	Sin datos
NVE006	2	2	Sin datos
NVE007	3	2.7	3
NVE008	3	2	Sin datos
NVE009	2.5	2.5	Sin datos
NVE010	2.5	2	3
NVE011	1.3	1.3	2
NVE012	2	3.5	Sin datos
NVE013	3	2.5	2.7
NVE014	2	3	3
NVE015	3	2	3
NVE016	2.5	2	Sin datos
NVE017	2	1.7	Sin datos
NVE018	3	2.7	Sin datos
NVE019	2.5	2.5	2.8
NVE020	2.67	2.5	Sin datos
NVE021	3	2	2.5
NVE022	2	2	Sin datos
NVE023	2	2.5	2
NVE024	2	1.8	2.5
NVE025	2.5	2	3
NVE026	2.7	2.5	Sin datos
NVE027	2	2.5	2.8
NVE028	1.8	1.2	Sin datos
NVE029	3.5	3	3
NVE030	2.5	2	Sin datos

Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de campo, 2023.

El análisis de los datos reveló una tendencia generalizada en cuanto a las dimensiones de las fosas sépticas. La mayoría de las infraestructuras presentan medidas de 2 metros de ancho por 2 metros de largo o superiores. Sin embargo, esta característica, según la información proporcionada por los

entrevistados, obedece a criterios aleatorios, ya que las construcciones no siguen ninguna normativa específica en su diseño y edificación.

Figura 15. Representación temática de viviendas con datos similares



Fuente: Elaboración propia en base a análisis de campo, 2023

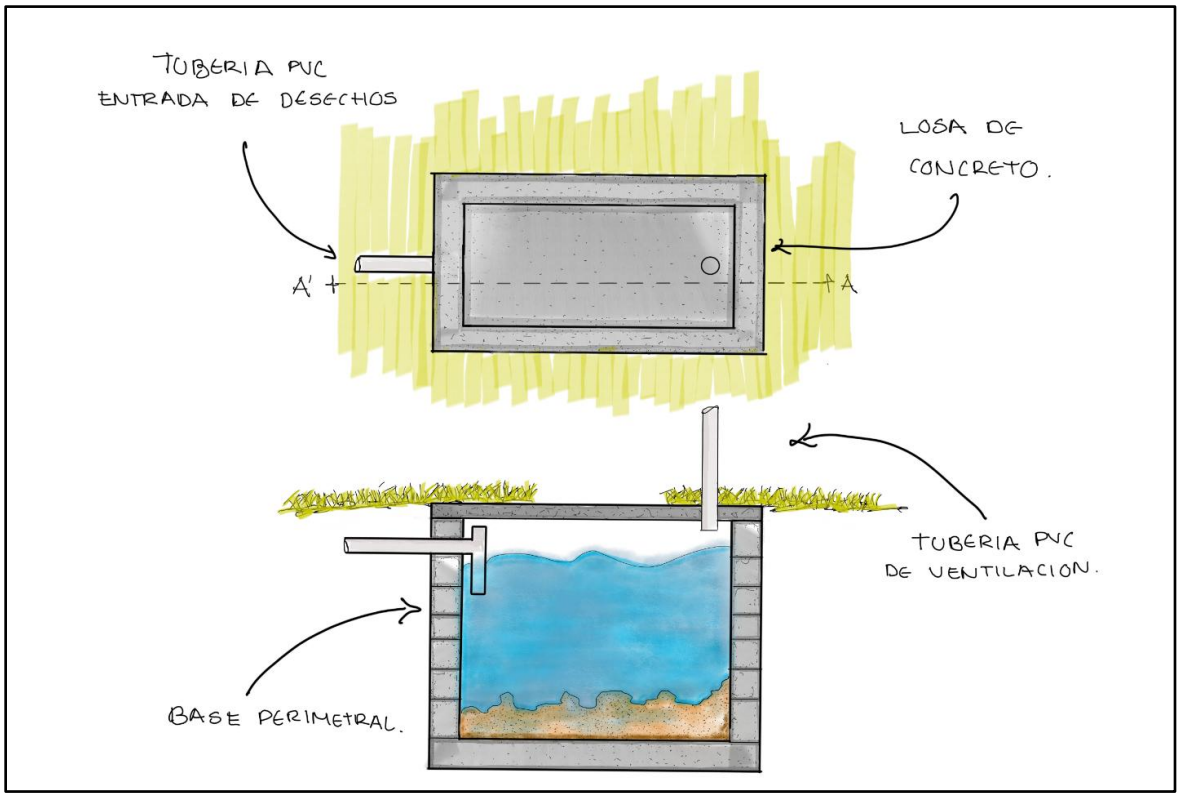
De manera particular, se identificaron cuatro viviendas cuyas fosas sépticas presentan dimensiones de 1 metro de ancho por 1 metro de largo. No obstante, la profundidad solo fue reportada en dos de estos casos, información proporcionada directamente por los habitantes.

El diagnóstico también permitió identificar diversas características constructivas de las infraestructuras sanitarias. Se observó que muchas de las instalaciones están conformadas por un solo compartimento, en el cual se acumulan todos los desechos provenientes del uso doméstico. Entre estos desechos se incluyen tanto las *aguas grises*, generadas por duchas, bañeras y

lavamanos (residuos de jabón y shampoo), como las *aguas negras*, que contienen heces fecales y orina.

En el esquema presentado a continuación, se ilustra cómo la acumulación de desechos sólidos y líquidos en un solo compartimento puede ocasionar que la infraestructura sanitaria se sobresature más rápidamente de lo habitual, incrementando el riesgo de desbordamientos y filtraciones.

Esquema 2. Diseño de infraestructura de saneamiento



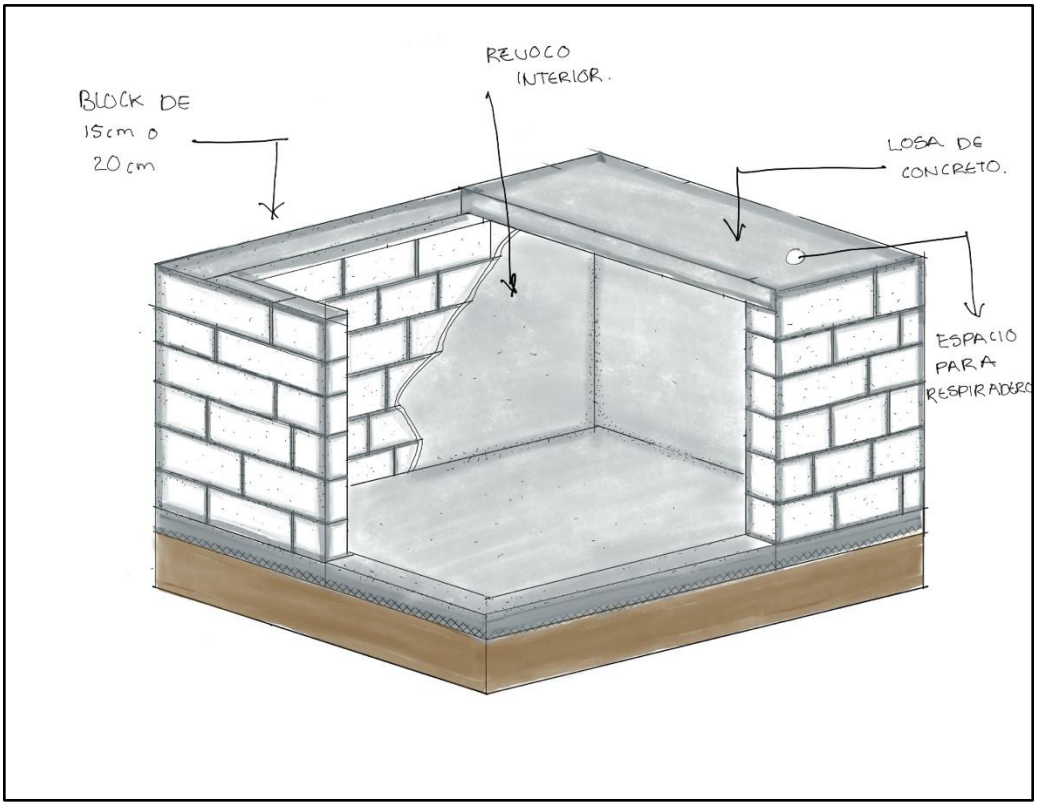
Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

El sistema de desagüe identificado está construido mediante una base perimetral conformada por muros de block, los cuales se encuentran por debajo del nivel del piso. El grosor de estos muros oscila entre 15 y 20 centímetros, dependiendo del tipo de block utilizado, y se encuentran

revestidos interiormente con una mezcla de cemento, tierra y agua, cuyo propósito es prevenir filtraciones de desechos al subsuelo.

Para evitar el contacto directo con las aguas residuales, se construye una losa de concreto, elaborada mediante un colado a nivel del terreno. Asimismo, para la liberación de gases, se dejó un espacio cilíndrico de aproximadamente 11 centímetros de diámetro, destinado a la instalación de un respiradero. Este respiradero está compuesto por un tubo de PVC de dos metros de largo, cuya función es ventilar la infraestructura sanitaria y prevenir la acumulación de contaminantes que puedan afectar la calidad del aire en las viviendas.

Esquema 3. Compartimento de almacenaje de desechos



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

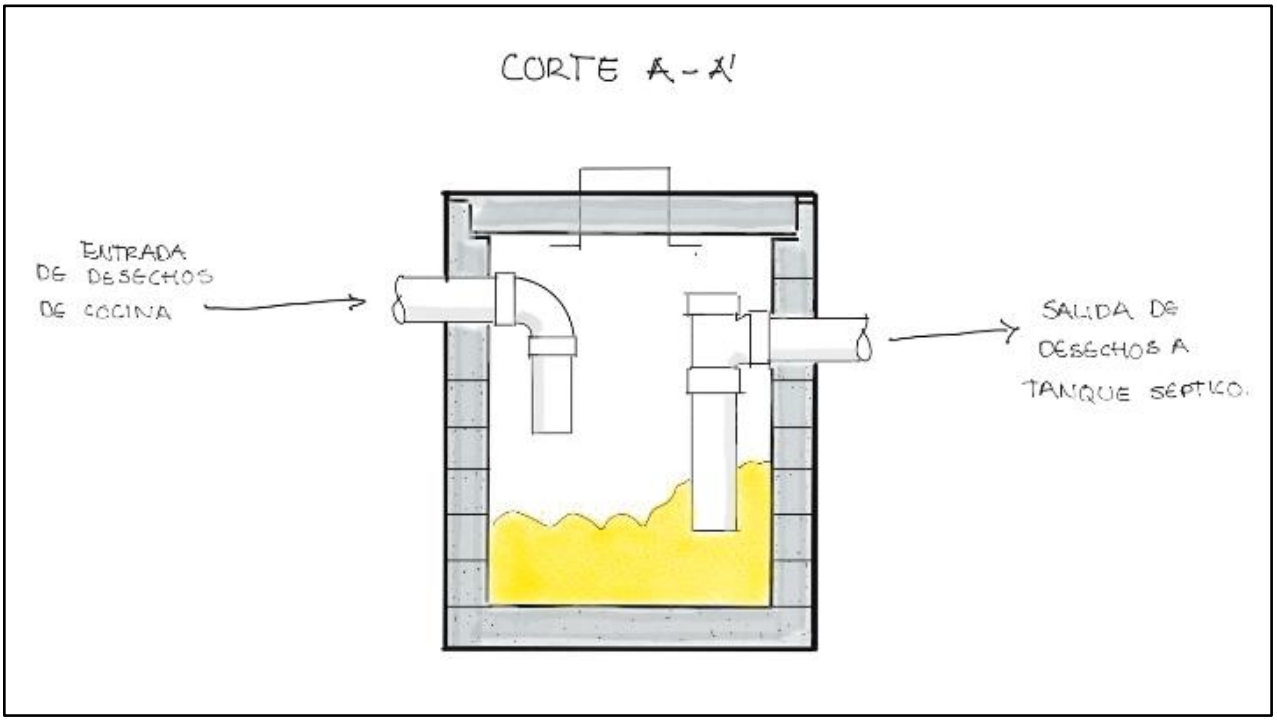
Por otra parte, las instalaciones de desagüe de las cocinas requieren la instalación de una trampa de grasa para la recolección de los aceites y residuos generados en el fregadero. Este dispositivo se conecta directamente a la tubería de desagüe de la cocina, permitiendo que los desechos ingresen a la trampa, donde se separan las grasas y sólidos antes de que el agua residual continúe su trayecto hacia el tanque séptico.

Esquema 4. Vista en planta de la trampa de grasa



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

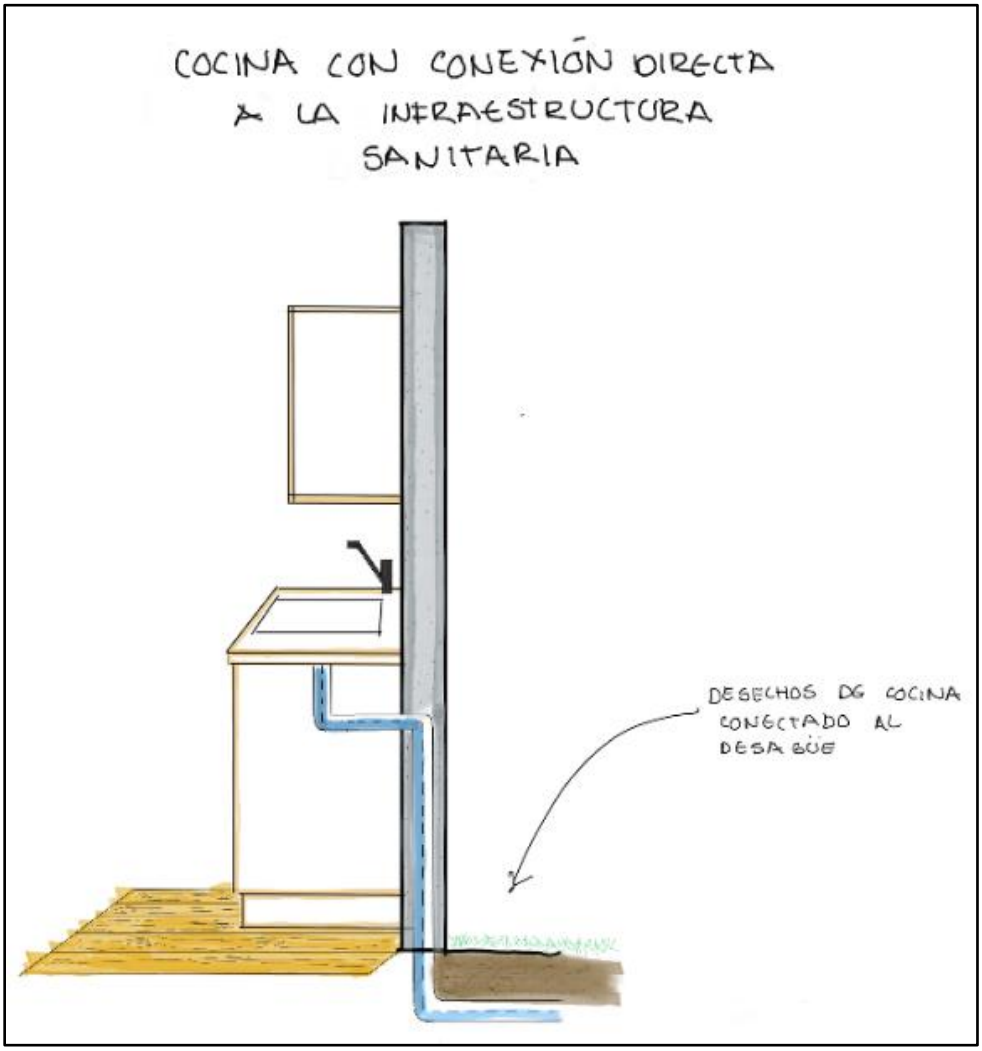
Esquema 5. Corte longitudinal de la trampa de grasa



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

Por lo tanto, las viviendas encuestadas carecen de trampas de grasa, ya que la conexión de las instalaciones de desagüe de las cocinas es directa hacia la infraestructura sanitaria. Esto implica que, además de las aguas residuales provenientes de los baños y las excretas, también se acumulan desechos de alimentos, restos de jabón para trastes, aceites y otros residuos, como se ilustra en el Esquema 6.

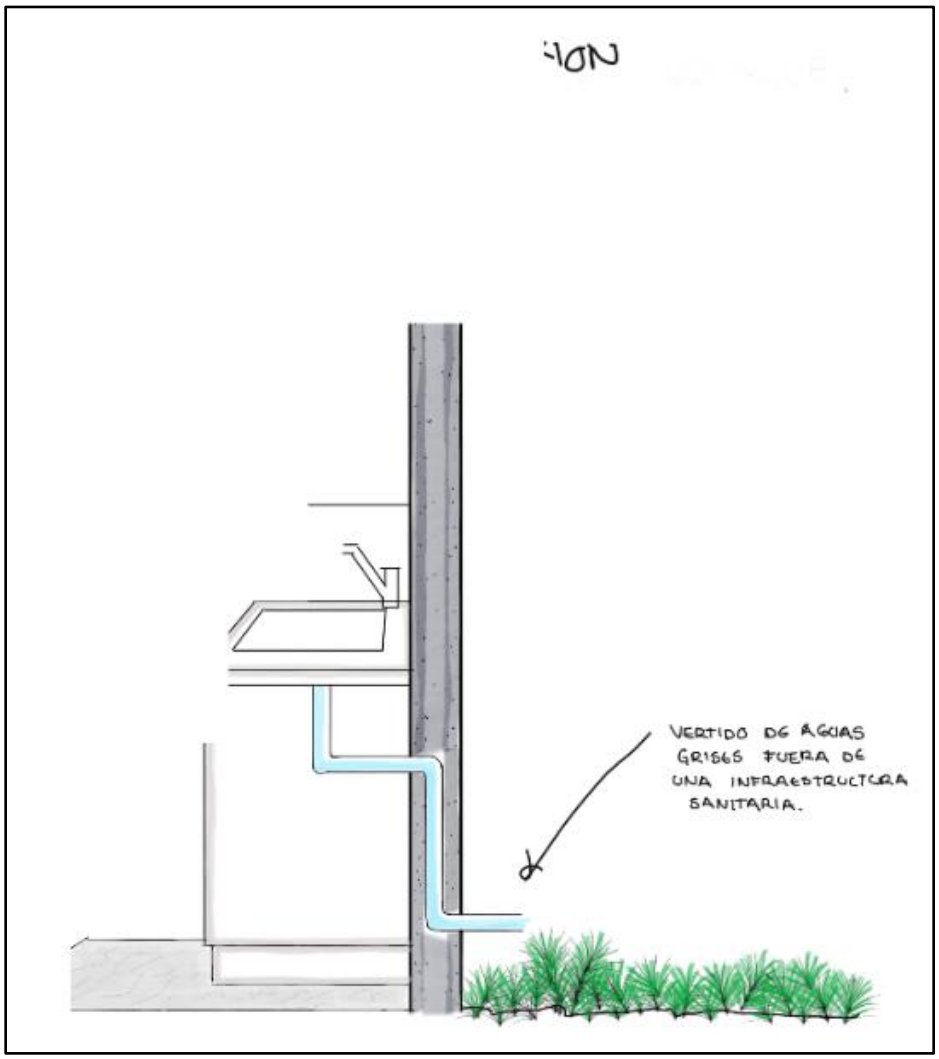
Esquema 6. Conexión directa de la cocina al sistema de desagüe



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

En algunas viviendas se identificó que los desechos generados exclusivamente por el uso del lavamanos se descargan directamente en una zona del patio, sin conexión alguna a un sistema de desagüe. Este vertido se realiza al aire libre, lo que incrementa el riesgo de contaminación y afecta las condiciones de salubridad en el entorno habitacional.

Esquema 7. Desagüe de cocina sin conexión al sistema de desagüe

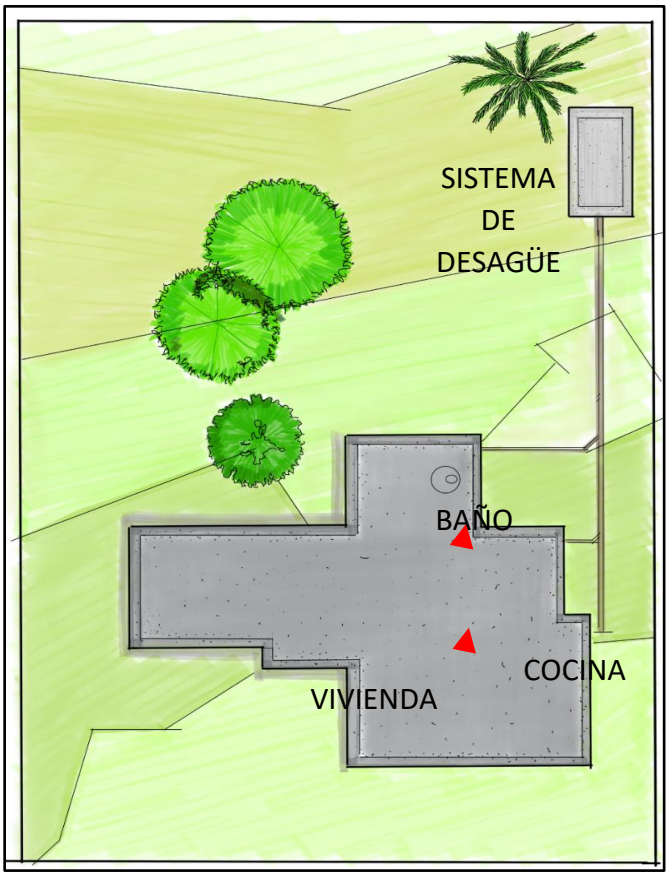


Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

Otra característica particular identificada fue la existencia de sistemas de desagüe sanitario tanto fuera como dentro de las viviendas. Los sistemas ubicados en el exterior corresponden a aquellos instalados fuera del área techada de la vivienda, donde las tuberías de PVC conectan los muebles de baño y, en algunos casos, los muebles de cocina.

Como se observa en el esquema a continuación, la conexión se establece a través de dos áreas diferenciadas, aunque la tubería únicamente se separa según la distribución de dichos espacios. No obstante, ambas conexiones convergen en la misma tubería de PVC, la cual dirige los desechos hacia un único sistema de desagüe.

Esquema 8. Sistema sanitario en el interior de la vivienda con conexión a desagüe en patio



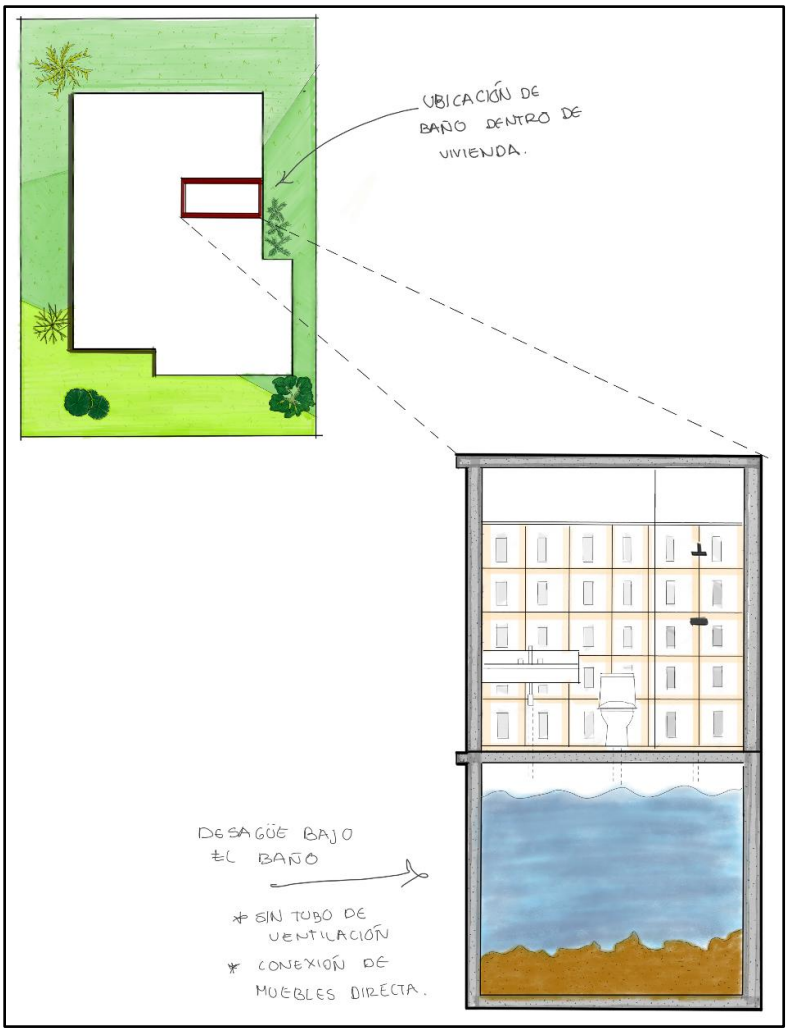
Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

Los sistemas de desagüe sanitario dentro de las viviendas, a diferencia de aquellos ubicados en el exterior, se encuentran integrados bajo el área techada y funcionan mediante una instalación subterránea. En estos casos, los muebles de baño suelen tener una conexión directa al desagüe sin

la intermediación de tuberías, lo que genera que la losa del tanque séptico se utilice como piso del baño.

Esta configuración constructiva favorece la filtración de olores a través de los espacios destinados a la recolección de agua, como la bañera o el lavamanos, afectando así las condiciones de salubridad y confort en el interior de la vivienda.

Esquema 9. Sistema sanitario en el interior de la vivienda con conexión directa al desagüe



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

4.2. ANÁLISIS DE LAS ESPECIFICACIONES DE DISEÑO EN LETRINAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

El análisis del procesamiento de las fichas técnicas permitió identificar la presencia de tres letrinas en el área de estudio, cuyas características constructivas se describen a continuación:

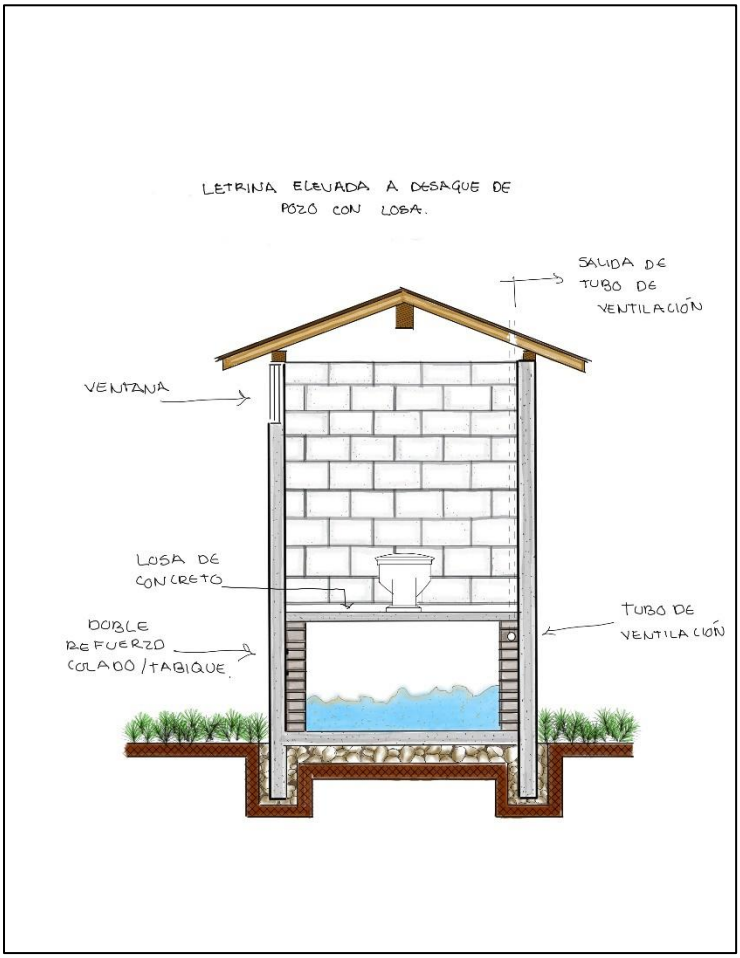
- **Sistema constructivo:** La estructura de las letrinas se basa en un muro perimetral de block y un tejado de madera. Uno de los componentes más relevantes es la instalación de un tubo de ventilación conectado a la losa de concreto, el cual se extiende hasta el tejado con el propósito de evitar la filtración de olores dentro del recinto.

- **Estructura del tanque de acumulación:** El tanque destinado a la acumulación de desechos presenta la particularidad de estar construido sobre el nivel del suelo. Esta infraestructura se encuentra doblemente reforzada mediante un muro perimetral de block, complementado con un colado de cemento que rodea la base y sirve como punto de partida para la construcción de los muros.

- **Equipamiento sanitario:** Cada letrina está equipada con un inodoro (WC) conectado directamente al tanque de acumulación de desechos, sin intermediación de un sistema de tuberías o tratamiento previo.

Estas características evidencian un diseño funcional, aunque limitado en términos de eficiencia sanitaria y control de residuos, lo cual podría generar problemas de salubridad si no se implementan medidas de mantenimiento y ventilación adecuadas.

Esquema 10. Caracterización de letrina



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

4.3. CONCLUSIONES PARTICULARES DEL DIAGNÓSTICO DE LAS INFRAESTRUCTURAS

El diagnóstico realizado permitió determinar el estado actual de las infraestructuras sanitarias y su grado de conformidad con las normas vigentes. El análisis abarcó el dimensionamiento y funcionamiento de los tanques sépticos, evidenciando que la mayoría no cumple con el diseño requerido, lo cual afecta significativamente su capacidad para manejar el volumen de desechos generados por las viviendas.

En cuanto a las letrinas, se evaluaron aspectos críticos como la ubicación, la capacidad de almacenamiento y las condiciones de mantenimiento. Los resultados revelaron que estas infraestructuras no cumplen con los estándares establecidos por la CONAGUA, presentando deficiencias en el diseño y la construcción que afectan su eficiencia operativa y su durabilidad.

El análisis detallado demostró que las infraestructuras sanitarias actuales no solo incumplen las normativas vigentes, sino que también presentan serios problemas estructurales y operativos que requieren atención urgente. La falta de adecuación en el diseño y la construcción, sumada a una infraestructura ineficaz para manejar el volumen de desechos, representa un desafío significativo para la gestión sanitaria en la región.

En conclusión, el capítulo 4 cumple con el objetivo específico 1, al proporcionar un diagnóstico detallado de las infraestructuras sanitarias del asentamiento El Edén conforme a la normatividad de la CONAGUA. Este análisis constituye una base fundamental para el desarrollo de propuestas orientadas a mejorar las condiciones sanitarias en la zona.

5. CARACTERIZACIÓN DE LOS TIPOS DE INSTALACIÓN SANITARIA EXISTENTE Y SU ESTADO DE OPERACIÓN

La identificación de las infraestructuras sanitarias en el asentamiento El Edén se llevó a cabo mediante la aplicación de un cuestionario diseñado específicamente para cada objetivo de la investigación. Este instrumento fue elaborado meticulosamente y dirigido a los habitantes de la zona de estudio, con el propósito de recopilar información detallada y precisa sobre las condiciones y necesidades de las instalaciones sanitarias existentes.

5.1. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO EN LA ZONA DE ESTUDIO

El análisis realizado permitió identificar dos tipos principales de sistemas de saneamiento. El primero corresponde al *inodoro de descarga o sifón*, que opera mediante una válvula diseñada para evacuar los desechos a través del desagüe. El segundo tipo está representado por los *sistemas de compostaje*, los cuales permiten la transformación de desechos orgánicos en material fertilizante.

No obstante, se identificaron también viviendas que carecen de instalaciones sanitarias formales, clasificadas como *sin válvula de descarga*, lo cual implica la ausencia de un mecanismo adecuado para la evacuación de desechos.

De acuerdo con la información recabada en las viviendas encuestadas, se identificaron las siguientes condiciones:

- **Inodoros de descarga:** Un total de 33 viviendas cuentan con instalaciones de inodoro de descarga, equipadas con válvula para el desagüe de los desechos. Este tipo de sistema representa el 71.74 % del total de las viviendas encuestadas.
- **Sanitarios sin válvula de descarga:** En 12 viviendas se detectó la presencia de muebles de baño sin válvula de descarga. En estos casos, el funcionamiento del inodoro requiere el vertido manual de agua mediante una cubeta para evacuar los desechos. Estas viviendas representan el 26.09 % del total encuestado.
- **Sistema de compostaje:** Se identificó una vivienda que opera mediante un sistema de compostaje, lo cual representa el 2.17 % de la muestra analizada

Tabla 13. Tipos de sistemas de saneamiento identificados en viviendas

INSTALACIONES SANITARIAS	NÚM. DE VIVIENDAS	PORCENTAJE %
Inodoro de descarga o sifón	33	71.74
Compostaje	1	2.17
Sin válvula de descarga	12	26.09
Total	**46**	**100**

Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de campo, 2023.

En conclusión, el análisis de las viviendas encuestadas reveló que la mayoría dispone de instalaciones de inodoro de descarga con válvulas para el desagüe de los desechos, lo que indica una predominancia de sistemas de saneamiento relativamente actualizados. No obstante, en aquellas viviendas que carecen de válvulas de descarga, resulta indispensable la implementación

de métodos alternativos, como el vertido manual de agua, para asegurar un funcionamiento adecuado del sistema sanitario.

5.2. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE DESCARGA

Durante la aplicación de las encuestas, se investigó el tipo de desagüe o sistema de descarga presente en cada vivienda. Los resultados obtenidos a partir de la evaluación de las 46 viviendas analizadas se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Clasificación de viviendas según tipo de descarga de aguas residuales

TIPOS DE DESCARGA	NÚM. DE VIVIENDAS	PORCENTAJE %
Alcantarillado	0	0.00
Tanque séptico	33	71.74
Letrina con losa	3	6.52
Letrina sin losa	2	4.35
Drenaje abierto	8	17.39
Total	**46**	**100**

Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de campo, 2023.

Con base en la información recopilada, se identificaron los siguientes aspectos relevantes:

- **Ausencia de alcantarillado:** La población del área de estudio no cuenta con acceso a un sistema de alcantarillado, lo que evidencia la inexistencia de esta infraestructura en la zona.
- **Predominio de tanques sépticos:** Un total de 33 viviendas, equivalentes al 71.74 % de las encuestadas, dispone de tanques sépticos como principal infraestructura para el manejo de desechos.

- **Uso de letrinas:** Cinco viviendas, que representan el 10.87 % del total encuestado, utilizan sistemas de letrinas. De estas, tres cuentan con letrinas con losa (6.52 %), mientras que dos operan con letrinas sin losa (4.35 %).

Los resultados obtenidos reflejan una tendencia predominante hacia el uso de tanques sépticos como sistema de descarga en las viviendas encuestadas. Las viviendas que utilizan letrinas, tanto con losa como sin losa, conforman un grupo minoritario pero significativo, representando una parte de las instalaciones sanitarias sin válvula de descarga. Asimismo, un número considerable de viviendas descarga sus aguas residuales en drenajes abiertos, lo que subraya la necesidad de optimizar las infraestructuras de saneamiento en la región estudiada.

5.3. UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS REGISTROS SANITARIOS

Para determinar la distribución y el grado de influencia de las infraestructuras sanitarias, se consideró relevante analizar la ubicación de los desagües en las viviendas. Con este propósito, se elaboró un mapa que representa la localización de las viviendas, clasificadas mediante simbología diferenciada según el tipo de infraestructura sanitaria presente.

El mapa presentado a continuación ilustra la ubicación de las viviendas equipadas con tanques sépticos, permitiendo observar algunos aspectos clave (véase Mapa 5).

Mapa 5. Localización de infraestructuras con fosa séptica en el área de estudio

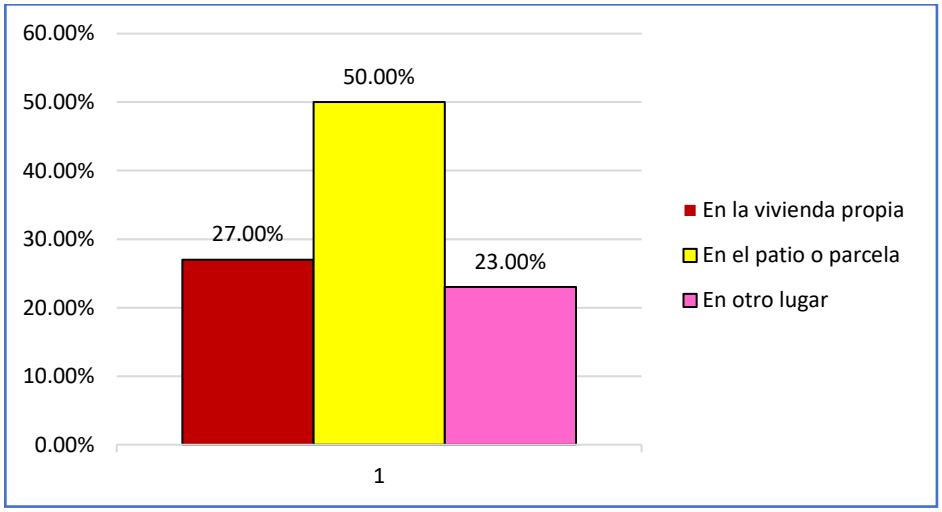


Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de campo, 2023.

- **Rombo color cian:** Representa las viviendas cuyo sistema de desagüe se encuentra directamente debajo del baño, con conexión subterránea directa. En total, se identificaron 9 viviendas bajo esta categoría, donde la losa del sistema de desagüe también funciona como piso del baño.
- **Rombo color fucsia:** Indica 23 viviendas cuyo sistema de desagüe se ubica fuera del área techada, específicamente en el patio. De estas, 16 se encuentran situadas en las manzanas más alejadas de la zona urbana.
- **Viviendas restantes:** Las 7 viviendas restantes, cuya infraestructura de desagüe también está ubicada en los patios, presentan una distribución geográfica dispersa dentro del área de estudio. No obstante, pese a su dispersión, estas viviendas se concentran principalmente en las proximidades de la zona urbana.

El análisis revela que aproximadamente la mitad de las viviendas han optado por ubicar sus infraestructuras de drenaje fuera de las áreas techadas, situándolas en los patios, mientras que el 27 % de las viviendas integra estas infraestructuras directamente bajo sus baños (véase Gráfica 1). Este patrón de distribución sugiere una preferencia por la ubicación externa de los sistemas de desagüe, posiblemente motivada por la facilidad de acceso para el mantenimiento y la construcción.

Gráfica 1. Viviendas de acuerdo con la ubicación de sus desagües



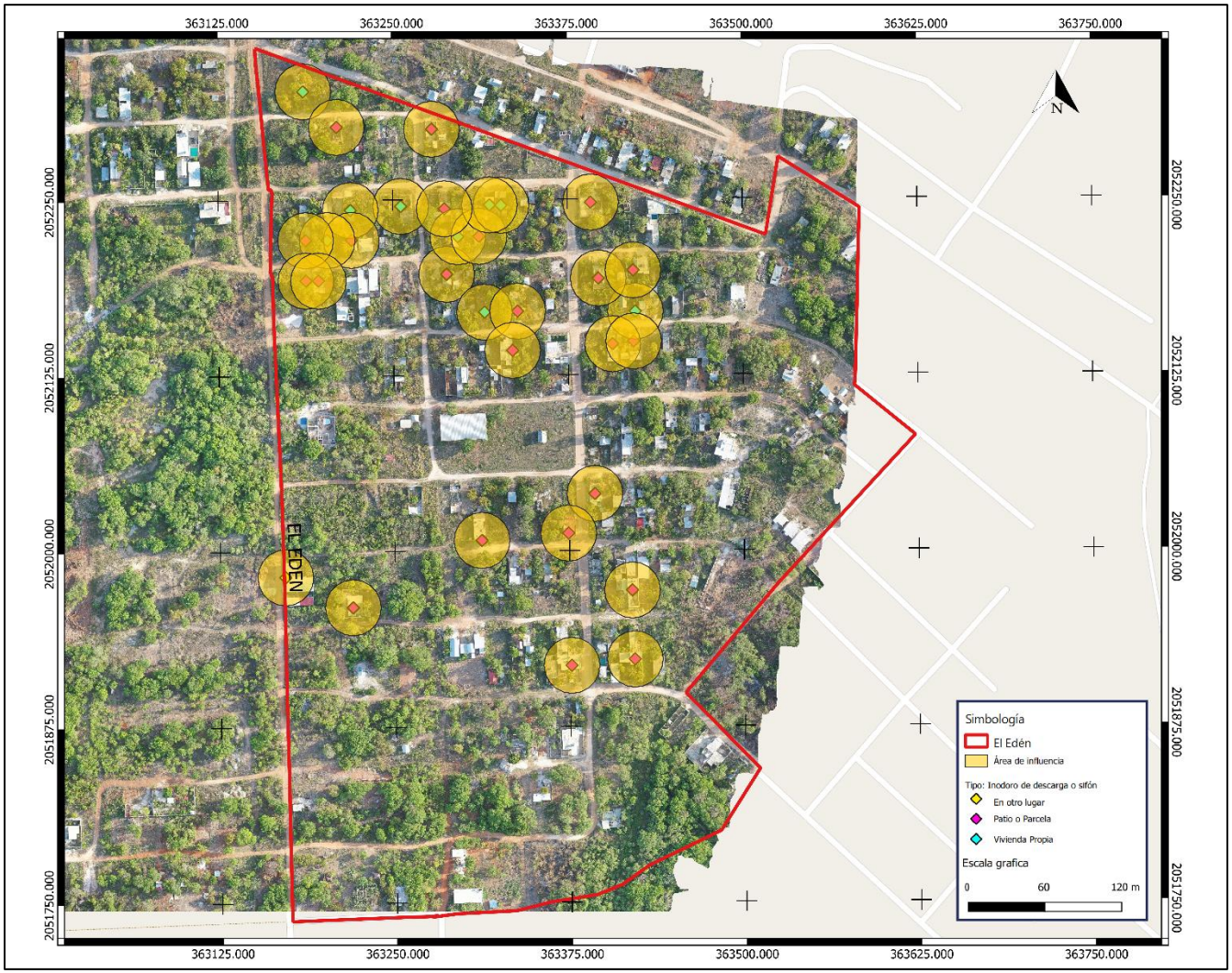
Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

5.3.1. Área de influencia de las fosas sépticas

Con base en la ubicación de las viviendas equipadas con tanques sépticos, se llevó a cabo un análisis del área de influencia, considerando un radio de 30 metros, conforme a la normativa vigente. Este análisis tuvo como objetivo determinar el nivel de contaminación potencial generado alrededor de cada infraestructura sanitaria.

Los resultados obtenidos revelaron zonas específicas con mayor riesgo de afectación ambiental y sanitaria, las cuales se presentan de manera detallada en el Mapa 6. Este mapa permite visualizar la superposición de áreas de influencia, lo que evidencia la concentración de posibles focos de contaminación, especialmente en aquellas zonas donde las viviendas se encuentran en mayor proximidad entre sí.

Mapa 6. Área de influencia de las fosas sépticas



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2022.

Se identificó una zona de influencia significativa compuesta por siete viviendas ubicadas en las manzanas EDN003 y EDN004, cuyos sistemas de desagüe generan un nivel considerable de contaminación. Este fenómeno se debe al entrelazamiento de las áreas de influencia entre viviendas cercanas, lo que incrementa la superposición de las zonas afectadas y provoca que la contaminación abarque gran parte de la manzana EDN003.

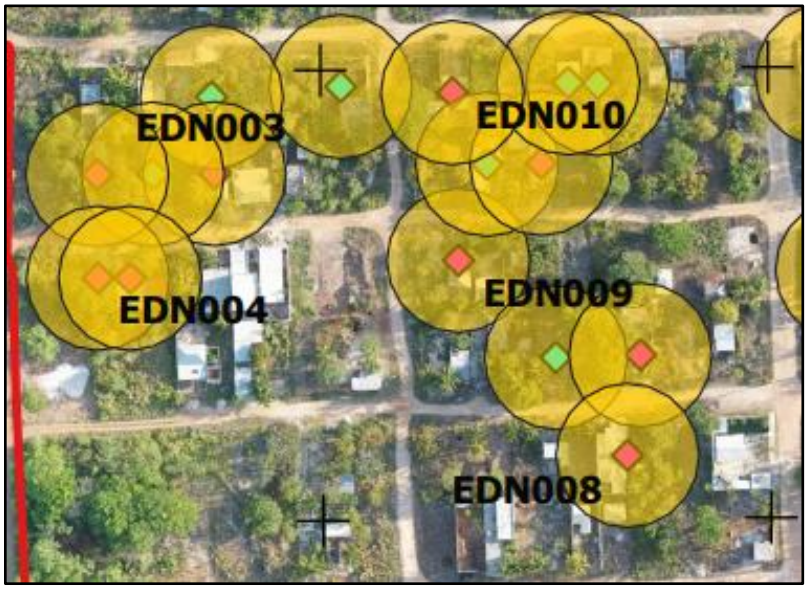
Figura 16. Viviendas con mayor influencia de contaminación



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2022.

Asimismo, se observó que la manzana EDN003 extiende su influencia hacia la manzana EDN010, generando un efecto de propagación que se expande a dos manzanas adicionales: EDN009 y EDN008. No obstante, en esta última la contaminación disminuye de manera considerable, dado que solo se identificó la presencia de una vivienda en dicha área.

Figura 17. Viviendas con interconexión contaminante



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2022.

En el lado este de la zona de estudio se identificó un conglomerado de cinco viviendas cuyas áreas de influencia se entrelazan entre sí. Una de estas viviendas, debido a su ubicación limítrofe entre dos manzanas, genera una superposición que conecta los diámetros de influencia de las demás viviendas. Este entrelazamiento incrementa la extensión de la zona afectada, convirtiendo este sector en un punto de **contaminación media**, según el análisis realizado.

La distribución de estas viviendas y la superposición de sus áreas de influencia resaltan la necesidad de implementar sistemas de saneamiento adecuados y estrategias de mitigación ambiental para reducir el impacto en la calidad del suelo y el agua circundantes.

Figura 18. Viviendas con influencia de contaminación media



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2022.

En la parte baja del asentamiento irregular, no se identificó un grado significativo de influencia entre las viviendas, dado que su distribución es más dispersa. A diferencia de las áreas con mayor concentración habitacional, las viviendas en esta parte del asentamiento no se agrupan dentro de las mismas manzanas, lo que limita la superposición de las áreas de influencia y, por ende, reduce el impacto potencial de contaminación sanitaria.

Figura 19. Viviendas con distribución dispersa entre contaminantes



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2022.

En conclusión, el grado de influencia de las fosas sépticas está directamente relacionado con la densidad habitacional en cada manzana. A mayor concentración de viviendas, mayor es la superposición de las áreas de influencia, lo que incrementa significativamente el riesgo de contaminación en una zona específica. Por el contrario, en áreas donde la distribución de las viviendas es más dispersa, como en la parte sur del asentamiento, el impacto ambiental se reduce debido a la menor interacción entre las infraestructuras sanitarias.

Estos hallazgos subrayan la importancia de planificar y regular la ubicación y el diseño de los sistemas de saneamiento para mitigar los efectos negativos asociados a la concentración de viviendas sin acceso a infraestructura formal de alcantarillado.

5.3.2. Ubicación de las letrinas y drenaje abierto

Las viviendas con instalaciones de letrinas fueron localizadas y georreferenciadas en el Mapa 7, donde se observa claramente la dispersión geográfica de estas infraestructuras, representadas con un color distintivo. La visualización cartográfica permite identificar y analizar los patrones de ubicación, lo que facilita la comprensión de su distribución en el área de estudio. Esta representación gráfica resulta una herramienta fundamental para los análisis demográficos y urbanísticos, ya que proporciona una perspectiva visual inmediata sobre la distribución de las letrinas en la región.

Con base en el análisis realizado, se identificaron los siguientes hallazgos:

- Se registraron cinco letrinas, de las cuales dos carecen de losa, contando únicamente con una cubierta de madera sobrepuesta que evita el contacto directo con los desechos de aguas negras (véase Esquema 11).

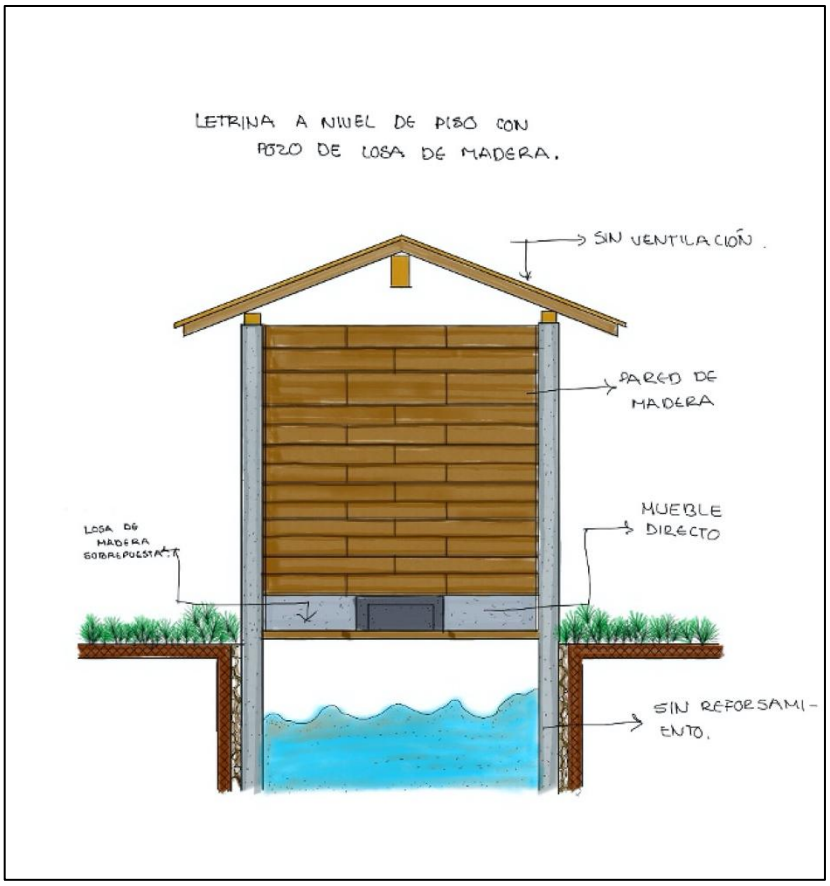
- El sistema constructivo de estas letrinas consiste en cuatro columnas de concreto colado, una en cada esquina, que brindan estabilidad a las maderas que cubren el área de la letrina.

Mapa 7. Ubicación de instalaciones de letrinas y drenaje a cielo abierto



Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de campo, 2022.

Esquema 11. Caracterización detallada de letrinas con piso de madera



Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de campo, 2022.

5.3.3. Ubicación de los desagües de las letrinas y drenaje abierto

En cuanto a las instalaciones con drenaje abierto, se realizó un registro detallado de la ubicación de viviendas que recurren a este método para la disposición de desechos. El análisis permitió identificar un total de ocho viviendas que utilizan este sistema, las cuales fueron georreferenciadas y representadas en el Mapa 8. En dicho mapa, estas viviendas se encuentran señaladas con romboides de color amarillo, lo que facilita su visualización y permite evaluar su distribución dentro del asentamiento.

Mapa 8. Distribución de letrinas y drenaje a cielo abierto en el área de estudio

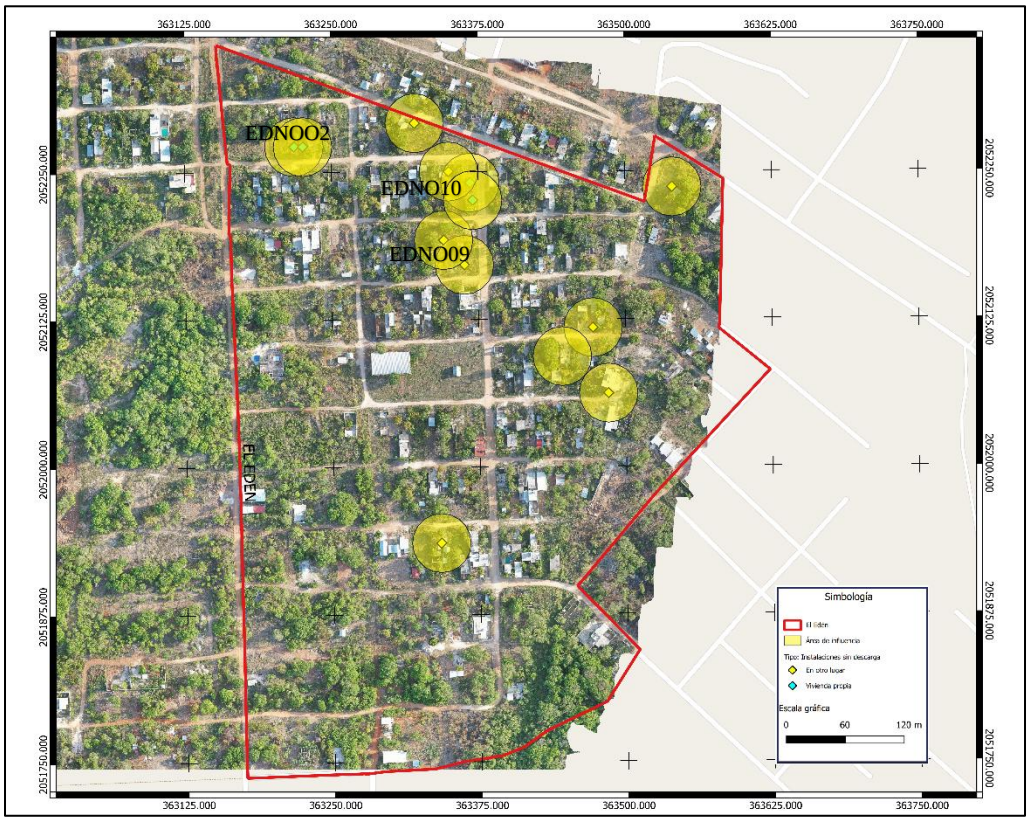


Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de campo, 2022.

5.3.4. Área de influencia de los desagües

El área de influencia fue determinada considerando la cantidad de viviendas identificadas con sistemas de desagüe mediante letrinas, tanto con losa como sin ella. A través del análisis realizado, se constató la presencia de este tipo de instalaciones en diversas zonas del asentamiento, destacándose particularmente en las manzanas **EDN010** y **EDN009** (véase **Mapa 9**).

Mapa 9. Influencias contaminantes en letrinas y drenaje a cielo abierto



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2022.

5.4. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN LOS DESAGÜES

Para comprender mejor las condiciones de las infraestructuras de saneamiento, se consideró relevante identificar si las instalaciones presentaban problemas de desbordamiento, dado que esta es una de las fallas más comunes, lo que sirvió como pregunta general. Con base en las encuestas aplicadas a las 46 viviendas, se obtuvieron los siguientes resultados:

- 16 viviendas indicaron que no presentan problemas de desbordamiento.
- 10 viviendas reportaron que, ocasionalmente, experimentan desbordamientos y filtraciones.
- 14 viviendas señalaron que enfrentan desbordamientos o filtraciones con frecuencia.
- 6 viviendas manifestaron no tener conocimiento sobre el estado de sus infraestructuras.

5.4.1. Clasificación de las viviendas con problemas de desbordamiento según su tipo de desagüe

El análisis detallado permitió clasificar las viviendas afectadas por desbordamientos, de acuerdo con el tipo de infraestructura sanitaria implementada:

- Tanque séptico:
    - 13 viviendas no presentan problemas de desbordamiento.
    - 10 viviendas reportaron desbordamientos ocasionales.
    - 4 viviendas desconocen si presentan este problema.
    - 6 viviendas enfrentas desbordamientos o filtraciones con frecuencia

- Letrina con losa:
    - 3 viviendas no reportan problemas de desbordamiento.
- Letrina sin losa:
    - 2 viviendas manifestaron no tener conocimiento sobre el estado de su infraestructura.
- Drenaje abierto:
    - 8 viviendas señalaron que enfrentan este problema con frecuencia

5.5. EVALUACIÓN DE LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO

Para profundizar en el análisis de las 46 viviendas, se consideró importante recabar información sobre si las infraestructuras de saneamiento han recibido algún tipo de mantenimiento o vaciado de los desagües. Los resultados obtenidos de las encuestas fueron los siguientes:

- 16 viviendas han contratado un servicio de vaciado para el mantenimiento de sus desagües.
- 20 viviendas nunca han recibido mantenimiento.
- 10 viviendas desconocen si es necesario realizar mantenimiento.

De las viviendas que han recibido mantenimiento, se identificaron los siguientes aspectos:

- La mayoría de las aguas residuales fueron vertidas en campo abierto.
- En contadas ocasiones, las aguas grises fueron trasladadas a una planta de tratamiento.
- Solo una vivienda reportó haber contratado un proveedor para realizar este servicio.

Tabla 15. Clasificación de viviendas según sistema de desagüe implementado

LUGARES DE VERTIDO DE CONTAMINANTES IDENTIFICADOS	
Planta de tratamiento	5
Recogido por proveedores de servicio	1
Pozo descubierto	0
Campo abierto	11
Cuerpo de agua	0
Total	**17**

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2022.

En resumen, el tratamiento de vaciado brindado a los desagües, así como el nivel de conocimiento de los habitantes respecto a su mantenimiento, ha revelado una práctica predominante de disposición en campo abierto. En contadas ocasiones, las aguas grises han sido trasladadas a una planta de tratamiento y, de manera excepcional, solo una vivienda contó con los recursos económicos suficientes para contratar un proveedor especializado en este servicio.

5.6. ANÁLISIS DE PROBLEMAS DERIVADOS DE INUNDACIONES

Durante la aplicación de las encuestas, se indagó sobre los problemas ambientales que afectan la región, destacándose la **inundación** como uno de los fenómenos más prevalentes y preocupantes. A partir de esta consideración, se procedió a la recolección de datos específicos con el objetivo de evaluar la incidencia de este problema en el asentamiento irregular.

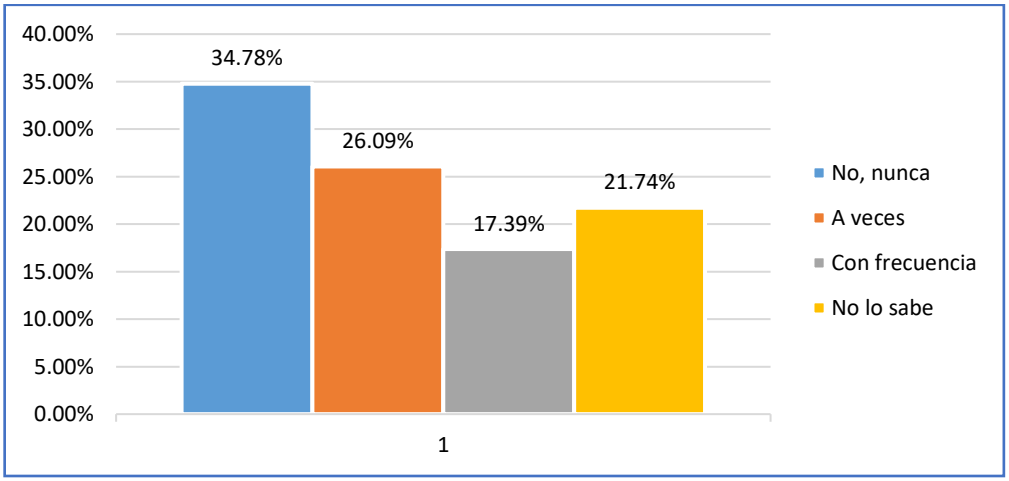
Los resultados fueron los siguientes:

- 16 viviendas no reportaron complicaciones en sus infraestructuras durante episodios de inundación.
- 12 viviendas indicaron que enfrentan problemas de manera ocasional.
- 8 viviendas señalaron que enfrentan problemas de manera frecuente.
- 10 viviendas manifestaron no tener conocimiento sobre este problema.

En términos porcentuales, se encontró de las 46 viviendas encuestadas que:

- El **34.78 %** de las viviendas no presenta problemas por inundaciones.
- El **26.09 %** de las viviendas experimenta problemas ocasionalmente.
- El **17.39 %** de las viviendas enfrenta problemas con frecuencia.
- El **21.74 %** de las viviendas desconoce si su infraestructura presenta fallas relacionadas con inundaciones.

Gráfica 2. Viviendas con problemas de inundación



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2022.

5.7. CONCLUSIONES PARTICULARES

El proceso de recolección y análisis realizado permitió identificar dos tipos principales de instalaciones sanitarias en el asentamiento: los **inodoros de descarga**, presentes en la mayoría de las viviendas, y las **letrinas**, que representan una minoría, pero mantienen su relevancia en determinadas áreas. En las viviendas con inodoros de descarga, se emplean sistemas de válvula y métodos convencionales, lo que evidencia la diversidad de soluciones adoptadas por la población.

La ausencia de acceso a un sistema de alcantarillado formal propicia el uso predominante de tanques sépticos, implementados en el **71.74 %** de las viviendas encuestadas. Esta realidad afecta directamente las condiciones de vida de los habitantes, ya que la falta de infraestructura adecuada incrementa la vulnerabilidad sanitaria.

Asimismo, la ubicación de los sistemas de desagüe resultó ser un factor clave en el estudio. Se identificó que las infraestructuras situadas dentro de los patios presentan una distribución dispersa, con algunas viviendas más cercanas a la zona urbana. El análisis del **grado de influencia** mostró que las áreas con cierto grado de concentración de infraestructuras sanitarias presentan los niveles más altos de contaminación, especialmente en aquellas manzanas donde la infraestructura de saneamiento está densamente entrelazada.

Adicionalmente, un número significativo de viviendas no realiza mantenimiento regular de sus infraestructuras, lo que agrava los problemas de desbordamiento. Este fenómeno es particularmente frecuente en las viviendas con drenaje abierto, donde el riesgo de contaminación es más elevado.

Finalmente, otro factor crítico identificado que afecta a los sistemas de desagüe fue la **inundación**, un problema ambiental recurrente que afecta tanto la infraestructura sanitaria como la habitabilidad de la zona. Aunque una parte considerable de las viviendas no reportó complicaciones, el **43.48 %** de los hogares encuestados indicó enfrentar este problema ocasional o frecuentemente, lo que sugiere la necesidad de corregir las infraestructuras y aumentar la conciencia sobre el mantenimiento y la correcta instalación de los sistemas de desagüe.

En conclusión, el análisis realizado permitió identificar las condiciones actuales de las infraestructuras sanitarias en el asentamiento El Edén, destacando la prevalencia de sistemas de saneamiento autoconstruidos y la ausencia de un sistema formal de alcantarillado. La predominancia de tanques sépticos y letrinas, junto con la práctica extendida de vertido a campo abierto, refleja las deficiencias en la gestión de desechos, lo que incrementa el riesgo de contaminación y afecta la calidad de vida de los habitantes. Además, la falta de mantenimiento y la limitada capacidad económica para acceder a servicios especializados agravan la problemática, especialmente en áreas con mayor densidad de viviendas. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar soluciones sostenibles y adaptadas a las condiciones socioeconómicas y ambientales de la zona.

6. DIMENSIONAMIENTO DE SOLUCIONES SANITARIAS BASADAS EN LA NORMATIVIDAD DE CONAGUA

Una vez realizado el diagnóstico y la caracterización de los servicios sanitarios, con base en el trabajo de campo, es posible proponer soluciones sostenibles. Como primer paso, resulta esencial determinar el nivel de contaminantes producidos por vivienda.

6.1. ESTIMACIÓN DE CONTAMINANTES DE USO DOMÉSTICO

Dado que El Edén es un asentamiento irregular ubicado fuera de una zona urbana, el cálculo de los contaminantes se realizó considerando la base de datos del Centro de Investigación y Docencia Económica (CIDE), clasificando el área con un nivel socioeconómico medio y un clima cálido subhúmedo. De acuerdo con la Tabla 4, que muestra el promedio del consumo de agua potable estimado según nivel socioeconómico y clima, se determinó que cada habitante consume, en promedio, 203 litros de agua por día. Para calcular el flujo de desechos que recibe cada tanque séptico, se aplicó la siguiente fórmula:

$$A_P = 0.75(203) = 152.25 \frac{l}{hab/dia}$$

Con base en estos resultados, se registró el número de habitantes por vivienda, multiplicado por $152.25 \frac{l}{hab}/dia$, para obtener el volumen total de desechos vertidos a la infraestructura sanitaria.

Los datos obtenidos se clasificaron según el volumen de desechos generados por día:

- **Celdas color rosa:** Viviendas que presentan un grado de desechos mayor a 600 litros por día.

- **Celdas color amarillo:** Viviendas con un volumen de desechos inferior a 480 litros diarios.
- **Celdas color verde:** Viviendas cuyo volumen de desechos oscila entre 480 y 600 litros diarios.

Tabla 16. Estimación de residuos generados por vivienda

CANTIDAD DE RESIDUOS POR VIVIENDA			
Vivienda	Núm. de habitantes	Actividad	Consumo L/Día
NVE001	4	Uso doméstico	609.00
NVE002	3	Uso doméstico	456.75
NVE003	5	Uso doméstico	761.25
NVE004	4	Uso doméstico	609.00
NVE005	5	Uso doméstico	761.25
NVE006	5	Uso doméstico	761.25
NVE007	5	Uso doméstico	761.25
NVE008	4	Uso doméstico	609.00
NVE009	4	Uso doméstico	609.00
NVE010	6	Uso doméstico	913.50
NVE011	4	Uso doméstico	609.00
NVE012	4	Uso doméstico	609.00
NVE013	3	Uso doméstico	456.75
NVE014	8	Uso doméstico	1,218.00
NVE015	2	Uso doméstico	304.50
NVE016	5	Uso doméstico	761.25
NVE017	4	Uso doméstico	609.00
NVE018	5	Uso doméstico	761.25
NVE019	2	Uso doméstico	304.50

NVE020	3	Uso doméstico	456.75
NVE021	3	Uso doméstico	456.75
NVE022	2	Uso doméstico	304.50
NVE023	7	Uso doméstico	1,065.75
NVE024	4	Uso doméstico	609.00
NVE025	6	Uso doméstico	913.50
NVE026	2	Uso doméstico	304.50
NVE027	5	Uso doméstico	761.25
NVE028	6	Uso doméstico	913.50
NVE029	2	Uso doméstico	304.50
NVE030	2	Uso doméstico	304.50
TOTAL DE RESIDUOS			18,879.00

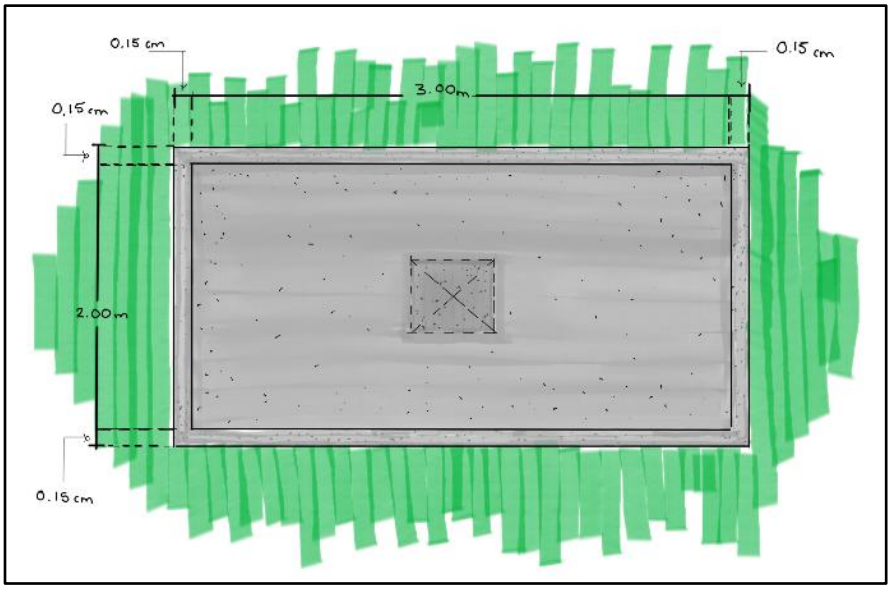
Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo y formulación de acuerdo a las especificaciones de CONAGUA (2023).

6.2. SOLUCIÓN TÉCNICA PARA VIVIENDAS CON MAYOR GENERACIÓN DE DESECHOS DOMÉSTICOS

Para identificar las viviendas con mayor producción de contaminantes, se consideraron los datos de la Tabla 16, referente al cálculo de residuos por vivienda. Entre los hallazgos destacan los siguientes:

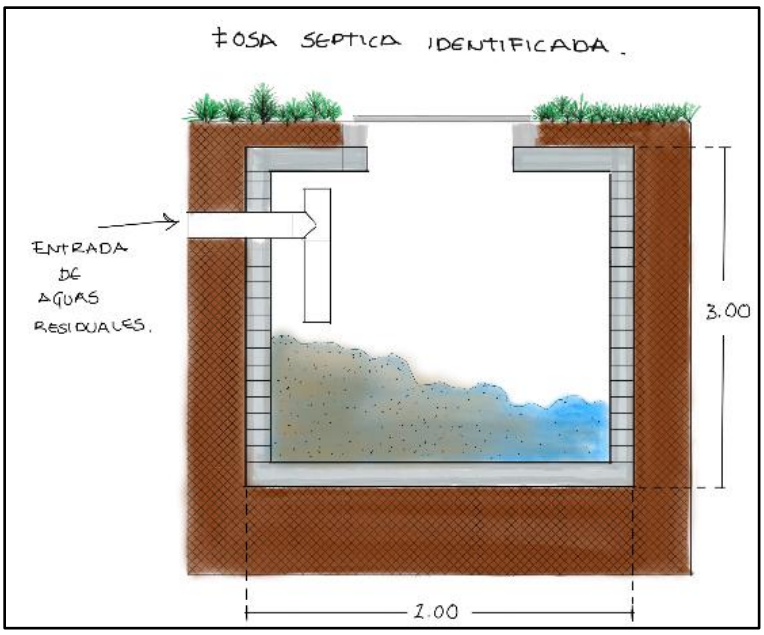
- Vivienda con número de identificación NVE014: alberga a ocho habitantes y produce un total de 1,218 litros diarios de desechos, siendo la vivienda con mayor producción en la zona de estudio.
- La infraestructura actual de esta vivienda cuenta con un tanque séptico de 2 metros de ancho por 3 metros de largo y 3 metros de profundidad.

Esquema 12. Representación de fosa séptica de la vivienda NVE014



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

Esquema 13. Tanque de almacenamiento de desagüe para fosa séptica



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

Para esta vivienda se requiere que el volumen del tanque séptico tenga la capacidad suficiente para manejar los 1,218 litros diarios de desechos, además de la producción de lodos, que, de acuerdo con la normatividad vigente, es necesario considerar el 70 % del volumen de lodos producidos, el número de habitantes de la vivienda y un periodo de operación de dos años que se le debe de dar a la infraestructura sanitaria sin necesidad de mantenimiento o de que llegue a presentar algún problema.

El análisis matemático para determinar el volumen del tanque requerido se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$V_t = V_{t+} V_L P_{tv}$$

$$= 1{,}218.00 + 70(8)(2)$$

$$= 1{,}218.00 + 70(16)$$

$$= 1{,}218.00 + 1{,}120$$

$$= 2{,}338\ litros$$

Ya identificado la capacidad de volumen necesario del tanque, se procedió a calcular su dimensionamiento, considerando la siguiente operación:

$$V_{t=} 3a^2 P_{vt}$$

Tabla 17. Cálculo de dimensionamiento para fosa séptica

OPERACIÓN MATEMÁTICA PARA LA ANCHURA DEL TANQUE SÉPTICO	OPERACIÓN MATEMÁTICA PARA LA MEDIDA DEL LARGO DEL TANQUE SÉPTICO
$a = \left(\frac{2.338}{3\ x\ 1.7}\right) 0.5$ $a = \left(\frac{2.338}{5.1}\right) 0.5$ $a = 0.458^{0.5}$ $= 0.70m$	$b = 3a$ $b = 3(0.68)$ $b = 2.04\ m$

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

Según los lineamientos de CONAGUA, el tanque debe tener aproximadamente 0.70 metros de ancho por 2.04 metros de largo. Es importante señalar que este dimensionamiento corresponde únicamente a una cámara. Dado que la vivienda alberga ocho habitantes, se recomienda el uso de dos compartimentos.

Para el cálculo de la segunda cámara, se considera la mitad de las dos terceras partes del volumen total, resultando en un dimensionamiento de **1.23 metros de largo por 0.70 metros de ancho**.

La profundidad del tanque se calculó de la siguiente manera:

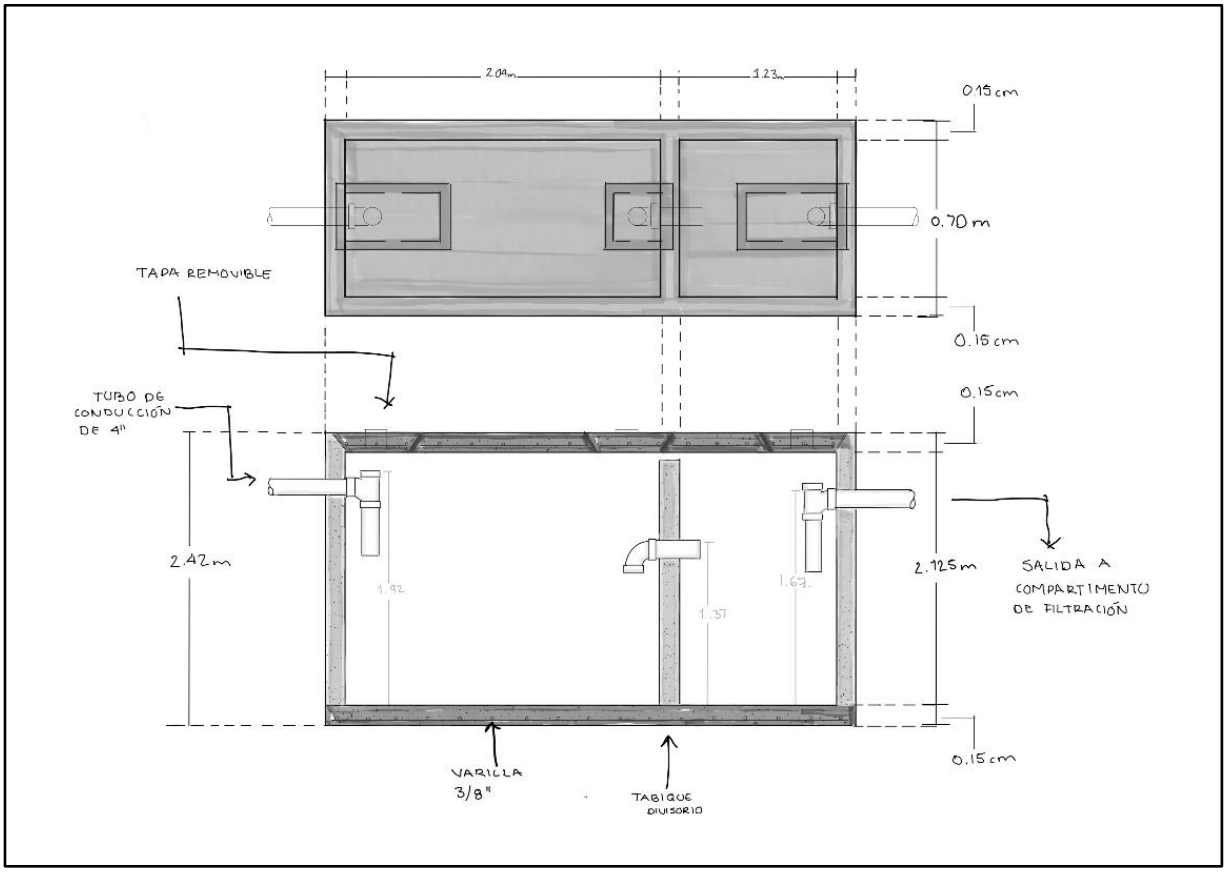
$$H_T = P_{vt} \frac{1}{0.8}$$

$$= 1.7 \left(\frac{1}{0.8}\right)$$

$$= 2.125\ m$$

Por lo tanto, el tanque séptico debe construirse conforme al siguiente diseño:

Esquema 14. Rediseño de fosa séptica requerida para la vivienda NVE014



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

En el diseño propuesto, se observa que el dimensionamiento requerido aumenta debido al grosor de los tabiques, los cuales se consideran de **0.15 metros** de margen. Las tuberías se colocaron a diferentes alturas para facilitar la entrada y el flujo de desechos. El tubo de conducción de 4 pulgadas se ubicó a una altura de **1.92 metros**, permitiendo la entrada fluida de desechos en el primer compartimento, donde se acumulan los desechos sólidos. Posteriormente, un segundo tubo, ubicado a **1.37 metros**, conecta el primer compartimento con el segundo, destinado a la

acumulación de desechos líquidos. Finalmente, el último compartimento se encarga de la filtración de los desechos líquidos, asegurando un tratamiento más efectivo.

Con esta solución técnica, se garantiza que la vivienda NVE014 cuente con una infraestructura sanitaria adecuada, capaz de manejar el volumen de desechos generado, minimizando los riesgos de desbordamiento, filtración y contaminación del entorno.

6.3. REQUERIMIENTOS CALCULADOS SEGÚN LA CANTIDAD DE DESECHOS PRODUCIDOS POR VIVIENDA

Para el análisis de los requerimientos necesarios que deben cumplir las infraestructuras sanitarias, se utilizó la información de la Tabla 15, clasificando las viviendas según la cantidad de residuos generados. A continuación, la Tabla 17 presenta los desechos por vivienda.

Tabla 17. Viviendas con similares niveles de generación de desechos

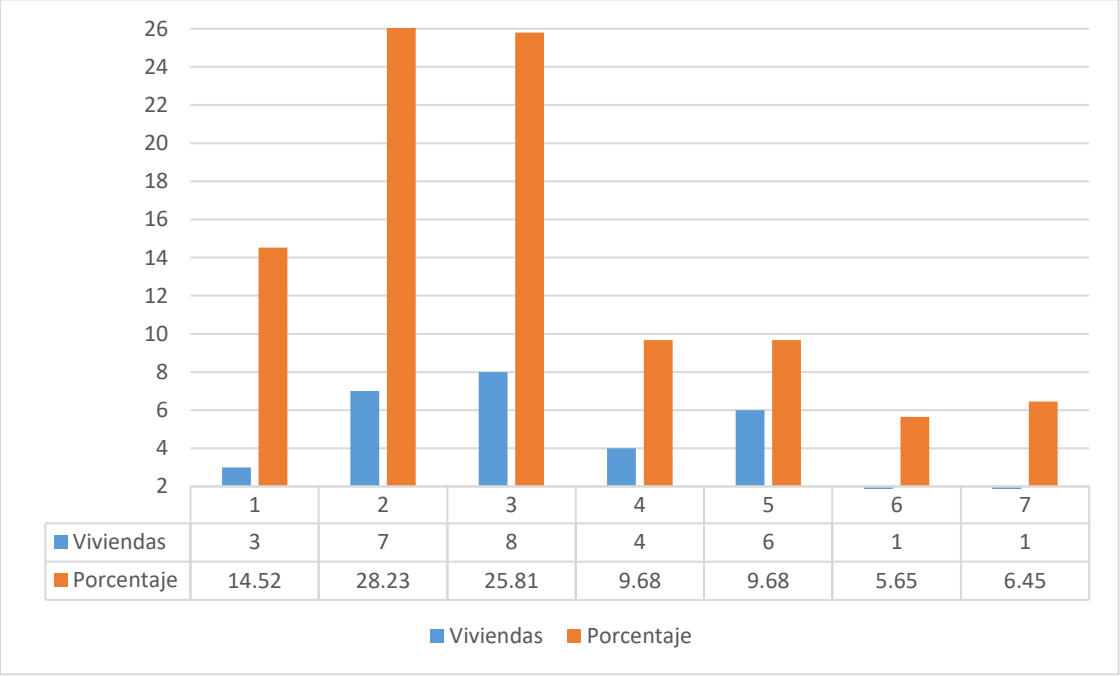
TOTAL DE VIVIENDAS CON CONSUMO DE DESECHOS SIMILARES		
Desechos por vivienda	**Viviendas**	**Total**
913.5	3	2,740.50
761.25	7	5,328.75
609	8	4,872.00
456.75	4	1,827.00
304.5	6	1,827.00
1065.75	1	1,065.75
1,218.00	1	1,218.00
Total	**30**	**18,879.00**

Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de campo

En la Gráfica 3, y en comparación con la Tabla 17, se observa lo siguiente:

- **25.81 %** corresponde a **8 viviendas**, cada una produciendo **609 litros** diarios de desechos.
- **28.23 %** representa a **7 viviendas**, con una producción individual de **761.25 litros** diarios.
- **9.68 %** corresponde a **4 viviendas**, que generan **456.75 litros** diarios cada una.
- **6.68 %** abarca **6 viviendas**, con una producción diaria de **304.5 litros** por vivienda.
- **5.65 %** representa a **1 vivienda**, con una generación de **1,065.76 litros** diarios.
- **6.45 %** corresponde a **1 vivienda**, la cual produce **1,218 litros** diarios de desechos.

Gráfica 3. Porcentaje de viviendas con similitud a producción de desechos



	1	2	3	4	5	6	7
Viviendas	3	7	8	4	6	1	1
Porcentaje	14.52	28.23	25.81	9.68	9.68	5.65	6.45

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2023.

Con base en la Tabla 17, se seleccionó una vivienda representativa de cada categoría para calcular el volumen de su tanque séptico, considerando el **70% de acumulación de lodos**, con el fin de identificar el dimensionamiento específico requerido para cada infraestructura.

Tabla 18. Cálculo de desechos con acumulación de lodo según el número de habitantes

NÚMERO DE HABITANTES	NÚMERO DE CÁMARAS	DOTACIÓN	GASTO DE APORTE	VOLUMEN DEL TANQUE	CON ACUMULACIÓN DE LODOS	NÓTESE QUE EL VOLUMEN TOTAL SE AJUSTÓ PARA CUMPLIR CON EL LÍMITE INFERIOR DE DOS MIL LITROS.
		L/(Hab *d)	L/(Hab*d)	L	L	
2.00	2.00	203.00	152.25	304.50	584.50	2,000.00
3.00	2.00	203.00	152.25	456.75	876.75	2,000.00
4.00	2.00	203.00	152.25	609.00	1,169.00	2,000.00
5.00	2.00	203.00	152.25	761.25	1,461.25	2,000.00
6.00	2.00	203.00	152.25	913.50	1,753.50	2,000.00
7.00	2.00	203.00	152.25	1,065.75	2,045.70	2,045.70
8.00	2.00	203.00	152.25	1,218.00	2,338.00	2,338.00

Fuente: Elaboración con base en trabajo de campo y especificaciones de CONAGUA, 2023.

Según los volúmenes calculados por vivienda, la norma técnica establece un volumen mínimo de 2,000 litros diarios de desechos como parámetro base. Por lo tanto, se generalizó esta capacidad para aquellas viviendas cuya producción es inferior a 500 litros diarios. A partir de los 2,000 litros, se estableció el dimensionamiento necesario para cada vivienda, como se detalla en la Tabla 19.

Tabla 19. Dimensionamiento requerido de fosas según el número de habitantes por vivienda

NÚM.DE HABITANTES	PVT	A	B	HT	LARGO CÁMARA 1	LARGO CÁMARA 2	ANCHO	HT
	m	m	m	m	m	m	m	m
2	1.7	0.63	1.88	2.13	1.26	1.88	0.6	2.1
3	1.7	0.63	1.88	2.13	1.26	1.88	0.6	2.1
4	1.7	0.63	1.88	2.13	1.26	1.88	0.6	2.1
5	1.7	0.63	1.88	2.13	1.26	1.88	0.6	2.1
6	1.7	0.63	1.88	2.13	1.26	1.88	0.6	2.1
7	1.7	0.63	1.88	2.13	1.26	1.88	0.6	2.1
8	1.7	0.68	2.04	2.13	1.36	0.68	0.7	2.1

Fuente: Elaboración con base en trabajo de campo y especificaciones de CONAGUA, 2023.

6.4. CONCLUSIONES PARTICULARES

El análisis detallado y exhaustivo de las infraestructuras sanitarias en el área de estudio proporcionó datos significativos sobre el diseño, funcionamiento, distribución y capacidad de manejo de residuos. Se identificaron diferentes niveles de generación de desechos por vivienda, lo que permitió determinar las necesidades específicas de cada una en términos de infraestructura, particularmente en lo relacionado con los sistemas de desagüe.

Uno de los hallazgos más relevantes fue la considerable producción de desechos en algunas viviendas, superando los 800 litros diarios, lo cual subraya la necesidad de contar con

infraestructuras sanitarias bien dimensionadas y diseñadas para prevenir problemas de desbordamiento, contaminación ambiental y riesgos para la salud.

En particular, la vivienda NVE014, que genera 1,218 litros diarios de desechos, requiere un tanque séptico con capacidad significativamente mayor al promedio identificado en las demás viviendas.

Asimismo, el diseño del dimensionamiento no solo debe basarse en el volumen de desechos, sino también en la acumulación de lodos a lo largo del tiempo. Este enfoque permite prever la durabilidad y funcionalidad de los sistemas sanitarios, asegurando su operatividad eficiente durante un periodo prolongado sin necesidad de mantenimiento frecuente. En conclusión, la correcta planificación y dimensionamiento de las infraestructuras sanitarias resultan fundamentales para garantizar condiciones de salubridad adecuadas en el asentamiento El Edén.

7. DISCUSIÓN

La discusión de esta investigación sobre el análisis de la infraestructura sanitaria en el asentamiento irregular El Edén revela diversos aspectos críticos que ilustran tanto los desafíos como las adaptaciones en el manejo de desechos y la construcción de sistemas de saneamiento en ausencia de infraestructura formal y regulada. En este contexto, la autoconstrucción se presenta como un arma de doble filo: si bien permite a los habitantes resolver, de manera improvisada y accesible, sus necesidades sanitarias, también perpetúa la vulnerabilidad del sistema debido a la carencia de conocimientos técnicos, herramientas y materiales adecuados para construir y mantener instalaciones sostenibles.

En el marco conceptual, los sistemas de saneamiento adecuados deben cumplir con los lineamientos establecidos por la CONAGUA. Sin embargo, la falta de acceso a materiales y asistencia técnica impide que la mayoría de estas infraestructuras, como tanques sépticos y letrinas, cumplan con dichas normas. Este incumplimiento se traduce en instalaciones que, aunque funcionales a corto plazo, presentan deficiencias estructurales y operativas que afectan la calidad de vida de los residentes.

La revisión de los sistemas de desagüe en El Edén evidencia que las instalaciones autoconstruidas presentan dificultades para manejar el volumen de desechos generados, superando en algunos casos los 800 litros diarios, lo que refleja un dimensionamiento insuficiente. Este problema se agrava durante la temporada de lluvias, cuando los desbordamientos son frecuentes debido a la incapacidad de los sistemas para manejar los picos en el flujo de agua. Además, la falta de un diseño técnico adecuado —la autoconstrucción— limita la viabilidad de un sistema de

saneamiento a largo plazo, ya que los tanques sépticos y letrinas improvisados carecen de un diseño que optimice el tratamiento de lodos y evite la contaminación del suelo y el agua. Esta situación no solo incrementa los riesgos de salud pública, sino que también representa una amenaza ambiental significativa, especialmente en áreas que han experimentado deforestación y alteración del suelo debido a las características del asentamiento irregular.

No obstante, la autoconstrucción también refleja la capacidad de resiliencia y adaptación de la comunidad a condiciones adversas, ya que permite a los residentes la implementación de soluciones sanitarias mínimas con recursos limitados. Esta adaptabilidad muestra la fortaleza de los residentes frente a condiciones adversas, aunque compromete la sostenibilidad y la calidad de vida a largo plazo debido a la falta de cumplimiento normativo y al uso de técnicas rudimentarias. Así, si bien la autoconstrucción facilita un acceso inmediato a servicios sanitarios, también constituye un obstáculo para la implementación de un sistema de saneamiento eficiente, seguro y sostenible.

8. CONCLUSIONES

El presente estudio tuvo como objetivo principal analizar las infraestructuras sanitarias del asentamiento irregular El Edén mediante un diagnóstico detallado, la caracterización de sus condiciones y la propuesta de soluciones sostenibles. Los resultados obtenidos revelaron una notable variabilidad en los sistemas de desagüe presentes en las viviendas encuestadas, destacando la adopción de tecnologías tradicionales, así como de métodos rudimentarios y alternativos. No obstante, tanto los tanques sépticos como las letrinas no cumplen con las normas vigentes, evidenciando un dimensionamiento inadecuado para gestionar eficientemente el flujo de desechos y el tiempo de retención de lodos.

En el caso de los tanques sépticos, utilizados por la mayoría de las viviendas debido a la ausencia de un sistema de alcantarillado, se identificaron problemas recurrentes de desbordamiento durante la temporada de lluvias. Además, el mantenimiento de estos sistemas es irregular y, en muchos casos, los tanques no se vacían adecuadamente. Las letrinas, evaluadas en términos de ubicación, capacidad y condiciones de mantenimiento, también demostraron incumplimiento de las normas establecidas por la CONAGUA, revelando deficiencias en el diseño, la construcción, el mantenimiento y la infraestructura general.

Asimismo, se determinó que las viviendas generan volúmenes considerables de desechos que superan la capacidad de los sistemas de desagüe actuales, lo que subraya la necesidad de un rediseño que contemple un dimensionamiento adecuado y la prevención de la acumulación de lodos. Esta variabilidad y distribución de los sistemas refleja no solo diferencias en la

planificación, sino también la capacidad de adaptación de la población para satisfacer sus necesidades con los recursos disponibles.

El desarrollo de alternativas para las instalaciones sanitarias resulta fundamental. Propuestas como la implementación de tanques sépticos con un diseño de calidad que evite filtraciones y desbordamientos en las viviendas con mayor producción de desechos son cruciales. Estos sistemas deben ser construidos conforme a la normatividad de CONAGUA para garantizar su eficacia y sostenibilidad. De igual forma, es esencial educar a la población sobre la correcta utilización y el mantenimiento periódico de estas infraestructuras, lo que contribuiría a reducir la contaminación y prolongar la vida útil de los sistemas.

La aplicación de este análisis y la implementación de las soluciones propuestas no solo optimizarán las condiciones sanitarias en El Edén, sino que también podrían servir como modelo para otros asentamientos irregulares en México. Para ello, es indispensable que las autoridades locales y nacionales respalden estas iniciativas, permitiendo continuar la investigación y adaptando los sistemas a tecnologías más sostenibles y eficaces, lo cual podría generar beneficios a largo plazo.

En conclusión, el presente estudio proporciona una visión integral de la situación sanitaria en el asentamiento irregular El Edén, demostrando que, mediante un diagnóstico preciso y la implementación de soluciones técnicas adaptadas a las necesidades específicas de la comunidad, es posible mejorar significativamente la calidad de vida en estos contextos. La combinación de educación, monitoreo y prácticas sostenibles puede transformar las infraestructuras sanitarias y garantizar un entorno más saludable y seguro para todos sus habitantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuatécnica. (2017). *Tratamiento de aguas residuales*. https://acuatecnica.com/tratamiento-aguas-residuales/

Anda Sánchez, J. de. (2017). Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y ambiente*, (14), 119-143. Recuperado el 23 de febrero de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-65762017000200119&lng=es&tlng=es.

Arkirama. (2023, octubre 26). *Las instalaciones sanitarias son una parte fundamental de cualquier construcción*. Arquinétpolis. https://arquinetpolis.com/construccion/guia-sobre-instalaciones-sanitarias/

Asentamientos Informales. (2016). *Asentamientos informales y acceso a servicios básicos*. s.e.

Asentamientos irregulares - Google My Maps. (s.f.). *Google My Maps*. https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1VlKThwSO-ILRWtNZ-YNme8knsE_IHCI&ll=18.546431944531328%2C-88.31476324999998&z=15

Ayuntamiento de Othón P. Blanco. (2014). *Programa de desarrollo urbano (PDU) de Chetumal-Calderitas-Subteniente López-Huay-Pix y Xul-Há*. https://opb.gob.mx/portal/wp-content/uploads/transparencia/93/I/f/PDU2018/I-5%20anexo%20asentamientos%20irregulares%2019012018.pdf

Ayuntamiento de Othón P. Blanco. (2021). *Programa de desarrollo urbano de Chetumal-Calderitas-Subteniente López Huay-Pix y Xul-Há*. https://sedetus.qroo.gob.mx/programas-de-desarrollo-urbano/

Braatz, S. (1993). *Alternative wastewater treatment technologies for small communities*. World Bank.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (s.f.). *Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE)*. https://www.cepal.org/es/equipo/centro-latinoamericano-caribeno-demografia-celade

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. CONAGUA.

Congreso de Quintana Roo. (2018). *Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Quintana Roo*. https://www.congresoqroo.gob.mx/leyes/191/

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2000, 21 de junio). *Ley General de Asentamientos Humanos*. https://www.dof.gob.mx

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2014). *Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Quintana Roo*. https://www.dof.gob.mx

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2020, 13 de marzo). *Acuerdo por el que se modifican las Reglas de Operación del Programa de Mejoramiento Urbano, para el ejercicio fiscal 2020*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5589459&fecha=13/03/2020#gsc.tab=0

Dirección contra Riesgos Sanitarios de Quintana Roo. (2020). *Normativas para sistemas de saneamiento en áreas rurales*. Gobierno del Estado de Quintana Roo.

Domínguez Serrano, J. (2010). Acceso al agua y saneamiento: un problema de capacidad institucional local. Análisis en el estado de Veracruz. *Gestión y Política Pública*, *19*(2), 311-350. https://www.scielo.org.mx/pdf/gpp/v19n2/v19n2a4.pdf

Espigares García, M. y Pérez López, J. A. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Universidad de Granada.

Flores Lucero, M. de L. (2020). Alternativas técnicas y de gestión para el saneamiento en asentamientos irregulares: El caso de San Juan Tulcingo, Puebla. *Nova Scientia*, *5*(10), 151-169. Recuperado el 23 de febrero de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052013000200008&lng=es&tlng=es

Gold, J., Namupolo, M., & Muller, A. (2021). *Prevención de riesgos de desastres en asentamientos informales en la región de Ashana, Namibia*. *International Journal of Disaster Risk Reduction*.

González, R. y Nahum, J. (2011). *Urbanización y asentamientos irregulares en América Latina: Retos y perspectivas*. Ediciones del Sur.

Gottman, J. (1965). Grandeza y miseria de la urbanización moderna. *Urbanisme*, (88), 3-10.

Granel Castro, E., & Gález Hita, L. (2002). Deterioro de la calidad de agua subterránea por el desarrollo poblacional: Cancún, Q. Roo. *Ingeniería*, *6*(3), 41-53.

iMMAP. (2020). *Gestión de información y acción contra minas: Evaluación de asentamientos informales*. https://www.immap.org

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. https://www.inegi.org.mx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Censo Nacional de Gobiernos Estatales 2021. Módulo 1. Administración Pública de la entidad federativa. Sección XIII. Planeación y gestión territorial*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/cnge/2021/doc/cnge_2021_m1s13.pdf

Instituto Nacional del Suelo Sustentable (INSUS). (2020). *Avance y Resultados Enero 2023 - Junio 2024*. https://www.gob.mx/insus/documentos/programa-institucional-del-instituto-nacional-del-suelo-sustentable-2020-2024

Jiménez Sánchez, C. & Rosas Ferrusca, F. (2003). Procesos urbanos informales y actividades sociales que han determinado la eutrofización del Humedal La Sabana, Chetumal, Quintana Roo. En *Nuevas territorialidades. Gestión de los territorios y recursos naturales con sustentabilidad ambiental* (pp. 537-554). Universidad Nacional Autónoma de México.

Localidades de Othón P. Blanco (Quintana Roo, México). (2024). https://mexico.pueblosamerica.com/l/mapa-mun/quintana-roo/othon-p-blanco/

McCoy Cador, C. E. (2020). Comparativo de rezago social que enfrentan los ciudadanos que habitan en asentamientos humanos irregulares en Cancún, México. *Revista Tiempo Económico*, *15*(46), 41-60. Universidad Autónoma Metropolitana. https://tiempoeconomico.azc.uam.mx/wp-content/uploads/2021/10/te46.pdf

Naciones Unidas (ONU). (2019). *Tener un baño es imprescindible para salir de la pobreza*. https://www.un.org/es/desa/world-toilet-day2019

Organización de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat). (2014). *Guía para la urbanización sostenible en asentamientos informales*. https://unhabitat.org

Organización Mundial de la Salud (OMS) y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2021). *Programa de monitoreo del abastecimiento de agua, el saneamiento y la higiene*. https://washdata.org/report/jmp-2021-winhcf-country-consultation

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950

Politécnico Nacional. (s.f.). *Guía técnica para la autoconstrucción de viviendas y saneamiento en asentamientos informales*. Instituto Politécnico Nacional.

Quintana Roo. (s.f.). *¿Qué es el saneamiento básico?* https://qroo.gob.mx/sesa/dpcrs/que-es-el-saneamiento-basico

Real Academia Española (RAE). (2025). *Saneamiento*. En *Diccionario de la lengua española* (ed. del tricentenario). https://dle.rae.es/saneamiento

Rojas Castillo, L. A. (2016). *Estrategias para la gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU) de la ciudad de Bacalar, Quintana Roo* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán].

Rosas, M. (2012). *Tecnologías alternativas para el saneamiento en comunidades rurales*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Rueda Morales, M., & Zambrano, S. A. (2018). Análisis de la gestión del saneamiento en el asentamiento informal Bajo Los Anonos, San José, Costa Rica, desde una visión social, técnica e institucional. *Población y Salud en Mesoamérica*, *16*(1), 107-131. https://dx.doi.org/10.15517/psm.v1i1.32031

Ruiz Hernández, I. E. (2015). Identificación de asentamientos irregulares y diagnóstico de sus necesidades de infraestructura en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Investigaciones geográficas*, (87), 88-101. https://doi.org/10.14350/rig.41793

Sobrino, J. (2011). *La urbanización en el México contemporáneo*. En *Reunión de expertos sobre población, territorio y desarrollo sostenible*. CEPAL-CELADE.

Stefanovich, V. (2009). *Proceso de urbanización*. s.e.

UNICEF. (2023). *Mapeo de asentamientos humanos y condiciones WASH (agua, saneamiento e higiene) en los departamentos de Atlántico y La Guajira*. Antecedentes de política pública sobre asentamientos informales y acceso a agua y saneamiento. https://latam.3is.org/wp-

content/uploads/2023/03/Antecedentes-de-politica-publica_Mapeo-de-asentamientos-en-condiciones-WASH-en-Atlantico-y-La-Guajira.pdf

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (CSG-IUCN). (s.f.). *Chetumal Vigesimosexta Reunión del Grupo de Especialistas*. https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/csg2022/quintana-roo.html

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (s.f.). *Evaluación del impacto ambiental en zonas costeras de Quintana Roo*. https://www.iucn.org

Weather Spark. (2024). *Clima y condiciones meteorológicas en Chetumal, Quintana Roo*. https://es.weatherspark.com/y/13048/Clima-promedio-en-Chetumal-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o

World Health Organization. (2024, marzo 7). *Enfermedades diarreicas*. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease