

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**“Evaluación de la gestión de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la
zona urbana del distrito primero, cantón Paraíso”**

Heriberto Alfonso Serrano Chaves

Cartago, noviembre, 2022

TEC | Tecnológico
de Costa Rica **ingeniería
ambiental**



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

“Evaluación de la gestión de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la zona urbana del distrito primero, cantón Paraíso”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal

Ing. Macario Pino Gómez
Director

Lic. Julio Varela Brenes
Lector 1

Lic. Víctor Carvajal Solano
Lector 2

Dra.ir. Mary Luz Barrios Hernández
Coordinadora COTRAFIG

MGA. Ricardo Coy Herrera
Director Escuela de Química

MSc. Diana Zambrano Piamba
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A mi mamá y a mi papá.

“Piensa a la ligera sobre ti mismo y piensa profundamente sobre el mundo”

– Miyamoto Musashi –

AGRADECIMIENTOS

A mi padre Rafael Serrano Varela y a mi madre Laura Chaves Quirós, por todas las maravillosas cosas que me dieron como la educación, valores, apoyo emocional y por la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería Ambiental en el Tecnológico de Costa Rica.

Al apoyo y la motivación que me brindaron Megan Marín Chavarría, Jean Carlos Serrano Chaves y Sebastián de Jesús Serrano Chaves.

Al profesor e ingeniero Macario Pino Gómez, por todo su esfuerzo, enseñanzas, orientación y toda la ayuda en general que me permitió avanzar con el desarrollo de mi proyecto.

A la Municipalidad de Paraíso por darme la oportunidad de realizar mi proyecto, y a todos los funcionarios que estuvieron conmigo acompañándome, pero especialmente a Julio Varela Brenes, Maricruz López Villegas, Godofredo Rojas Mata, Víctor Carvajal Solano y Carlos Ramírez Sánchez, por toda la ayuda que me brindaron en la Práctica Profesional y en el Trabajo Final de Graduación.

Al profesor de la escuela de Ingeniería Agrícola Mario Zúñiga Chaves, al personal del laboratorio de la Escuela de Ingeniería Ambiental y del CEQIATEC, por los aportes brindados en los laboratorios.

Además, quiero agradecer a las personas que me proporcionaron información para realizar este proyecto: Elías Rosales Escalante, Lorena Gómez Valverde, Andrés Ortiz Mora, Marcos Solano Moya y Carlos Granados Siles.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Aguas residuales	3
3.1.1. Agua residual ordinaria	3
3.1.2. Agua residual especial	4
3.1.3. Agua residual tratada	4
3.1.4. Lodo.....	4
3.2. Agua pluvial	4
3.3. Cuerpo receptor	5
3.4. Disposición final de las aguas residuales	5
3.5. Saneamiento del agua residual	6
3.6. Indicadores de calidad del agua.....	7
3.6.1. Indicadores físicos	8
3.6.2. Indicadores químicos.....	9
3.6.3. Indicadores biológicos.....	11
3.7. Etapas del tratamiento de aguas residuales.....	11
3.7.1. Tratamiento preliminar	11
3.7.2. Tratamiento primario.....	12
3.7.3. Tratamiento secundario	12
3.7.4. Tratamiento terciario	12
3.8. Sistemas de tratamiento de aguas residuales individuales.....	12
3.8.1. Trampa de grasas	13
3.8.2. Tanque séptico.....	13
3.8.3. Filtro anaerobio de flujo ascendente.....	14
3.8.4. Sistema de drenaje	15
3.8.5. Biojardinera	15
3.9. Alcantarillado	16
3.9.1. Alcantarillado sanitario.....	16

3.9.2. Alcantarillado pluvial	16
3.9.3. Pozo o caja de registro	17
3.10. Situación actual en Costa Rica	17
3.11. Institucionalidad	18
3.11.1. Ministerio de Salud.....	18
3.11.2. Ministerio del Ambiente y Energía	19
3.11.3. Municipalidad.....	19
3.12. Normativa	19
4. METODOLOGÍA.....	21
4.1. Descripción de la zona.....	21
4.2. Área de estudio	22
4.3. Manejo de los datos de georreferenciación	24
4.4. Encuesta a los usuarios	24
4.4.1. Tamaño de la muestra para la encuesta	26
4.4.2. Aplicación de la encuesta	27
4.5. Monitoreo de cuerpos receptores de agua superficial	29
4.6. Monitoreo del alcantarillado pluvial.....	29
4.7. Análisis de los indicadores de calidad de agua superficial.....	29
4.7.1. Puntos de muestreo	30
4.7.2. Indicadores de la calidad de agua seleccionados.....	31
4.8. Índice Holandés	33
4.9. Evaluación multicriterio	34
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
5.1. Resultados de la encuesta	38
5.1.1. Datos de los usuarios	38
5.1.2. Caracterización de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales.....	39
5.1.3. Usuarios con pretratamiento básico.....	39
5.1.4. Usuarios con tanque séptico	41
5.1.5. Usuarios sin tratamiento de aguas residuales	47
5.1.6. Gestión de las aguas grises	48
5.1.7. Educación sobre la gestión de las aguas residuales.....	49
5.1.8. Percepción de los ciudadanos sobre la contaminación.....	50
5.1.9. Resultados complementarios	52

5.2. Monitoreo de las quebradas	54
5.3. Monitoreo del alcantarillado pluvial.....	56
5.4. Resultados del análisis de los indicadores de la calidad del agua superficial	57
5.4.1. Resultados de los indicadores de agua de la quebrada sin nombre	59
5.4.2. Resultados de los indicadores de agua de la quebrada Pollo.....	63
5.4.3. Resultados de los indicadores de agua del alcantarillado pluvial.....	66
5.5. Resultados del Índice Holandés.....	70
5.6. Evaluación del saneamiento de las aguas residuales	72
6. CONCLUSIONES	74
7. RECOMENDACIONES	77
8. REFERENCIAS.....	78
9. APÉNDICE	83
Apéndice 1. Encuesta	83
Apéndice 2. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo	105
Apéndice 3. Resultado de la evaluación de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales	106
Apéndice 4. Resultado de la evaluación de disposición final de las aguas residuales	109
10. ANEXOS.....	112
Anexo 1. Metodología para el aforo del caudal.....	112
Anexo 2. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales.....	113
Anexo 3. Clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial, y tratamiento que requiera	114
Anexo 4. Resultados de los análisis de los indicadores de calidad de agua superficial del CEQIATEC.....	115
Anexo 5. Metodología para calcular el porcentaje de saturación de oxígeno	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Formas de exposición humana a la contaminación causada por el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento	7
Figura 3.2. Porcentaje de los métodos de gestión de agua residual utilizados en Costa Rica.....	17
Figura 4.1. Mapa de la división política administrativa del Cantón Paraíso.....	21
Figura 4.2. Cuadrante urbano del distrito de Paraíso.....	23
Figura 4.3. Barrios del cuadrante urbano del distrito de Paraíso.....	23
Figura 4.4. Diagrama de flujo de la encuesta aplicada.....	25
Figura 4.5. Puntos de muestreo en las quebradas y alcantarillado pluvial	30
Figura 5.1. Sistemas de tratamiento de aguas residuales complementarios al tanque séptico.....	41
Figura 5.2. Materiales usados en la construcción de los tanques sépticos	42
Figura 5.3. Disposición final del efluente de los sistemas de tratamiento complementados con un tanque séptico	44
Figura 5.4. Frecuencia del mantenimiento de los sistemas de tratamiento complementados con un tanque séptico	45
Figura 5.5. Disposición de las aguas residuales de las viviendas que no cuentan con sistemas de tratamiento en el cuadrante urbano de Paraíso.....	47
Figura 5.6. Vertido de aguas grises o jabonosas en las cunetas de la vía pública en el cuadrante urbano de Paraíso	48
Figura 5.7. Nivel de conocimiento del encuestado sobre la gestión, la normativa y la disposición final de las aguas residuales	49
Figura 5.8. Aspectos perceptibles sobre la contaminación de las quebradas y cunetas que atraviesan el cuadrante urbano del distrito de Paraíso.....	51
Figura 5.9. Posición del tanque séptico con respecto a la edificación.....	52
Figura 5.10. Resultados del nivel de elevación de las edificaciones con respecto al suelo en el cuadrante urbano del distrito de Paraíso	53
Figura 5.11. Red hidrográfica del cuadrante urbano del distrito Paraíso	54
Figura 5.12. Zona de protección de las quebradas del cuadrante urbano del distrito Paraíso	55

LISTA DE CUADROS

Cuadro 4.1. Servicios de agua potable en el cuadrante urbano de Paraíso.....	27
Cuadro 4.2. Distribución de la encuesta según la extensión territorial de los barrios....	28
Cuadro 4.3. Indicadores seleccionados para determinar la calidad del agua superficial	32
Cuadro 4.4. Asignación del puntaje según el Índice Holandés de valoración de la calidad físicoquímica del agua para cuerpos receptores	33
Cuadro 4.5. Asignación de las clases de calidad del agua según el Índice Holandés de codificación por colores, según los valores de PSO, DBO y N-NH ₄ ⁺	34
Cuadro 4.6. Resultados evaluados en la encuesta para la evaluación de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales	35
Cuadro 4.7. Puntaje asignado al nivel de gestión según la sumatoria de los valores de los resultados seleccionados para la evaluación de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales	36
Cuadro 4.8. Valor asignado a los resultados de los objetivos para la evaluación del saneamiento de las aguas residuales	36
Cuadro 4.9. Resultado de la evaluación de la gestión de los sistemas de saneamiento de aguas residuales en la zona urbana del distrito primero, cantón Paraíso.....	37
Cuadro 5.1. Dispositivos de consumo de agua potable utilizados por los usuarios del cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso	38
Cuadro 5.2. Gestión de los residuos retenidos en la trampa de grasas	40
Cuadro 5.3. Gestión de los residuos retenidos en el colador de fregadero.....	40
Cuadro 5.4. Problemas de los tanques sépticos	43
Cuadro 5.5. Responsables del vaciado de los lodos en los sistemas de tratamiento complementados con un tanque séptico	46
Cuadro 5.6. Gestión de los lodos vaciados de los sistemas de tratamientos complementados con un tanque séptico	46
Cuadro 5.7. Gestión de las aguas grises en el cuadrante urbano de Paraíso	48
Cuadro 5.8. Longitud de los tramos estudiados de la quebrada sin nombre y Pollo.....	55
Cuadro 5.9. Caudales en los puntos de muestreo	58
Cuadro 5.10. Resultados de los indicadores de la quebrada sin nombre.....	59
Cuadro 5.11. Clasificación en clases según los resultados de los indicadores de la quebrada sin nombre.....	60
Cuadro 5.12. Discusión de los resultados de los indicadores de la calidad del agua superficial de la quebrada sin nombre	60
Cuadro 5.13. Resultados de los indicadores de la quebrada Pollo	63

Cuadro 5.14. Clasificación en clases según los resultados de los indicadores de la quebrada Pollo	64
Cuadro 5.15. Discusión de los resultados de los indicadores de la calidad del agua superficial de la quebrada Pollo.....	64
Cuadro 5.16. Resultados de los indicadores de la quebrada Pollo	67
Cuadro 5.17. Clasificación en clases según los resultados de los indicadores del alcantarillado pluvial	67
Cuadro 5.18. Discusión de los resultados de los indicadores de la calidad del agua del alcantarillado pluvial	68
Cuadro 5.19. Resultados de los indicadores fisicoquímicos de la calidad del agua, según la metodología del Índice Holandés	70
Cuadro 5.20. Clasificación de la calidad del agua, según la metodología del Índice Holandés	71
Cuadro 5.21. Resultados de los indicadores para la evaluación del saneamiento de las aguas residuales	72

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AR	Agua Residual
AyA	Acueductos y Alcantarillados
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CEQIATEC	Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CF	Coliformes Fecales
CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
FAFA	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
GyA	Grasas y Aceites
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INDER	Instituto de Desarrollo Rural
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica
MINAE	Ministerio del Ambiente y Energía
MS	Ministerio de Salud
NMP	Número Más Probable
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
PNSAR	Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales
PSO	Porcentaje de Saturación de Oxígeno
PTAR	Planta de Tratamiento de Agua Residual
Q	Caudal
SAAM	Sustancias Activas al Azul de Metileno
SD	Sólidos Disueltos
SS	Sólidos Suspendidos
SSed	Sólidos Sedimentables
ST	Sólidos Totales
T	Temperatura

RESUMEN

El cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso no cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario ni tratamiento de aguas residuales centralizado. La escasa información sobre la problemática dificulta a las instituciones locales y regionales desarrollar proyectos a nivel local, para garantizar la salud pública y protección de los cuerpos hídricos. La Municipalidad de Paraíso tiene la iniciativa de realizar dichos proyectos, por tal razón el presente documento se enfoca en la evaluación de la situación de saneamiento en componente de alcantarillado sanitario. Para lograrlo se aplicaron encuestas a los usuarios, monitoreos a los principales cuerpos de agua, análisis de indicadores de la calidad de agua superficial y una evaluación multicriterio. Los resultados arrojaron que el 91,6 % de los usuarios cuentan con un sistema de tratamiento de agua residual, siendo el tanque séptico el de mayor uso, sin embargo, aproximadamente el 32,0 % de los casos no cuentan con tratamiento secundario o terciario. Esta situación promueve la inadecuada remoción de materia orgánica de las aguas residuales, afectando los cuerpos receptores, cuyos resultados en los puntos más críticos arrojaron concentraciones de coliformes fecales de 1 600 NMP/100 mL. Asimismo, el Índice Holandés a partir de los resultados de porcentaje de saturación de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno amoniacal clasifica las aguas superficiales con contaminación severa. De esta manera se concluyó que el saneamiento de las aguas residuales se considera como “Mala”, por lo anterior es evidente disponer de estudios mediante los cuales se realicen diseños del tratamiento para las aguas residuales domesticas generadas en la zona de estudio.

Palabras clave: Agua residual, Agua superficial, Distrito de Paraíso, Indicadores de la calidad del agua, Saneamiento

ABSTRACT

The urban quadrant of the first district of Paraíso does not have a sanitary sewerage system or centralized wastewater treatment. The lack of information on the problem makes it difficult for local and regional institutions to develop projects at the local level to guarantee public health and protection of water bodies. The Municipality of Paraíso has the initiative to carry out such projects, which is why this document focuses on the evaluation of the sanitation situation in the sanitary sewerage component. To achieve this, user surveys, monitoring of the main bodies of water, analysis of surface water quality indicators, and a multi-criteria evaluation were applied. The results showed that 91,6 % of the users have a wastewater treatment system, with septic tanks being the most used, but approximately 32,0 % of the cases do not have secondary or tertiary treatment. This situation promotes the inadequate removal of organic matter from the wastewater, affecting the receiving bodies, whose results at the most critical points showed fecal coliform concentrations of 1 600 NMP/100 mL. Likewise, the Dutch Index, based on the results of oxygen saturation percentage, biochemical oxygen demand and ammonia nitrogen, classifies surface waters as severely polluted. Thus, it was concluded that the sanitation of wastewater is considered as "Bad"; therefore, it is evident that studies should be carried out to design treatment for domestic wastewater generated in the study area.

Key words: Wastewater, Surface water, District of Paraíso, Water quality indicators, Sanitation

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades, la deficiente calidad de la infraestructura de saneamiento y el cambio climático, son problemas que presentan un desafío para los encargados de las políticas y para las municipalidades en la provisión de servicios a sus ciudadanos (Rodríguez *et al.*, 2020). El mismo autor argumenta, que en América Latina y el Caribe sólo el 66,0 % de la población está conectada a un sistema de alcantarillado, sin embargo, solo el 33,0 % de la población tiene acceso a servicios de saneamiento manejados de manera segura.

La respuesta de Costa Rica ante esta situación es la “Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales” (PNSAR), que constituye la propuesta de intervención del Estado, para resolver problemas públicos relevantes, como es el saneamiento de las aguas residuales, por medio de la toma de decisiones con visión de corto, mediano y largo plazo (AyA *et al.*, 2016). Cabe resaltar que esta política es el compromiso del país ante el sexto objetivo de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” (Naciones Unidas, 2018). Una mejor gestión de las aguas residuales ofrecería una propuesta de doble valor; además de los beneficios ambientales y para la salud que ofrece el tratamiento de las aguas residuales, es posible lograr flujos financieros que cubran parcial o totalmente los costos de operación y mantenimiento (Rodríguez *et al.*, 2020).

El Plan Regulador del cantón de Paraíso establece criterios para el manejo de las aguas residuales (Municipalidad de Paraíso, 2012), sin embargo, en la actualidad los problemas relacionados con este tema en la zona urbana del distrito de Paraíso, se ven reflejados por la ausencia de un alcantarillado sanitario, de un sistema de tratamiento centralizado de aguas residuales y de información sobre los sistemas de tratamiento individuales empleados por la ciudadanía (J. Varela, entrevista, 7 de abril del 2022).

Los ríos y quebradas son afectados por la ocupación de las planicies de inundación y en la mayoría de los casos la invasión de los retiros establecidos por ley, desarrollo urbano en forma desordenada, sin ninguna planificación, y control de las leyes de desarrollo urbano y forestal (Gaviria *et al.*, 2016). Así mismo la cantidad de residuos sólidos y aguas residuales grises lanzados a los cauces de estos, redundando esto, ocasionando la reducción de la capacidad de la sección hidráulica, lo que provoca el desbordamiento de

ríos y quebradas (Gaviria *et al.*, 2016). Aunando a lo anterior, para el año 2021 se recibieron 44 denuncias ante el Ministerio de Salud, por la inadecuada disposición de las aguas residuales (C.A Granados entrevista, 30 de marzo del 2022). Por medio de visitas de campo, entrevistas a expertos en la materia, encuestas a los usuarios, el monitoreo de la red de alcantarillado pluvial, la calidad de las aguas superficiales y el análisis multicriterio; este trabajo pretende, evaluar la situación actual de la gestión de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el cuadrante urbano del distrito Paraíso.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la situación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona urbana del distrito primero de Paraíso, cantón Paraíso.

2.2. Objetivos específicos

1. Identificar los sistemas de tratamiento de aguas residuales que emplean los usuarios, dentro del cuadrante urbano del distrito de Paraíso.
2. Determinar la disposición final de las aguas residuales en la zona de estudio.
3. Analizar la calidad del agua de los cuerpos receptores que atraviesan la zona de estudio: quebrada Pollo, quebrada sin nombre y el sistema de drenaje urbano.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Aguas residuales

El agua residual se define como aquella que ha recibido un uso, por ende, la calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes (Poder Ejecutivo, 2007). De acuerdo con Sánchez, Nikolaeva y Travieso (2015), este tipo de agua tiene las siguientes propiedades que pueden ser transmitidas a los cuerpos receptores:

- Malos olores y sabores.
- Acción tóxica contra la fauna, flora y el ser humano.
- Modificación de la apariencia física del agua.
- Transmisión de enfermedades.
- Eutrofización, que se define como el aumento de nutrientes en el agua que produce el desarrollo acelerado de algas y plantas (Ansari & Gill, 2014).
- Estas se clasifican como ordinarias o especiales (Poder Ejecutivo, 2007).

3.1.1. Agua residual ordinaria

El agua residual de tipo ordinaria es generada por las actividades domésticas de los seres humanos (Poder Ejecutivo, 2007). A su vez, este tipo de agua residual se clasifica según su origen:

- Aguas negras: contienen residuos humanos como la orina, heces y una gran carga bacteriana, en especial de coliformes fecales (León, 2017).
- Aguas jabonosas o grises: son el volumen total de agua que se genera tras bañarse o lavar alimentos, ropa y platos, pero no de los sanitarios; puede contener rastros de excremento y representan aproximadamente el 65,0 % de las aguas residuales producidas en las viviendas con sanitarios (Tilley *et al.*, 2018).

3.1.2. Agua residual especial

Las características físicas, químicas y biológicas del agua residual especial, se generan en los procesos productivos de las actividades agroindustriales e industriales (Rosales *et al.*, 2019). En términos generales este tipo de agua contiene desechos peligrosos, incluidos compuestos tóxicos y no biodegradables que son difíciles de tratar (Yeob *et al.*, 2022), por ende, es necesario un manejo y tratamiento especial antes de su disposición final.

3.1.3. Agua residual tratada

Es toda aquella agua residual que ha recibido tratamiento a través de un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos cuya finalidad es mejorar su calidad (Poder Ejecutivo, 2007). Posteriormente se hace la disposición final en un cuerpo receptor o se reutiliza en ciertas actividades productivas.

3.1.4. Lodo

Los lodos fecales provienen de tecnologías de saneamiento *in situ*, pueden estar crudos o parcialmente digeridos, ser líquidos o semisólidos, y resultan de la recolección y el almacenamiento/tratamiento de excretas o aguas negras, con o sin aguas grises (Tilley *et al.*, 2018). Los sistemas de tratamiento se deben limpiar cada cierto tiempo para eliminar los lodos, con el objetivo de evitar reducir la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales. Además, la composición del lodo determinará el tipo de tratamiento que se requiere y las posibilidades de uso final (Tilley *et al.*, 2018).

3.2. Agua pluvial

Son las aguas de escorrentía cuyo origen es por precipitación, que discurre por barrancos, caños, alcantarillado o ramblas y que desemboca a la red fluvial o pluvial (Municipalidad de la Unión, 2018). A causa de sus características físicas, químicas y biológicas no

necesitan de un tratamiento previo para su disposición final, sin embargo, si se mezcla con el agua residual es necesario realizar un tratamiento antes de su vertido al cuerpo receptor.

3.3. Cuerpo receptor

Es todo aquel manantial, zonas de recarga, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, canal artificial, estuario, manglar, turbera, pantano, agua dulce, salobre o salada, donde se vierten aguas residuales (Poder Ejecutivo, 2007).

3.4. Disposición final de las aguas residuales

La disposición final o vertimiento de las aguas residuales es la descarga de las aguas residuales tratadas en algún cuerpo receptor. Las aguas residuales afectan de algún modo la vida normal de una corriente de agua (Sánchez *et al.*, 2015), por tal razón, Tilley *et al.*, (2018) recomienda las siguientes consideraciones antes de realizar la disposición final, para reducir los impactos negativos al ambiente:

- Garantizar que la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor no se exceda; esto es, que el cuerpo receptor pueda aceptar la cantidad de nutrientes sin ser sobrecargado.
- Los indicadores o parámetros físicos, químicos y biológicos deben monitorearse y controlarse antes de liberar el agua en un cuerpo natural.
- La descarga podrá ser adecuada o no dependiendo de las regulaciones legales que apliquen.
- La descarga de nutrientes y micro contaminantes puede afectar a los cuerpos de agua natural o potable.
- Descargar a un cuerpo de agua superficial sólo se recomienda cuando hay una distancia segura entre el punto de descarga y el siguiente punto de uso más cercano.

3.5. Saneamiento del agua residual

El saneamiento de agua se define como el tratamiento para asegurar su inocuidad, de tal manera, que se eliminen los microorganismos patógenos y asegurar su calidad, lo cual es fundamental para proteger la vida (MIDEPLAN, 2018). Un sistema de saneamiento es el conjunto de infraestructura incluida las estaciones de bombeo, los pozos de registro, equipamiento y demás elementos necesarios para la recolección de las aguas residuales, el tratamiento y la disposición final a un cuerpo receptor (AyA, 2017). También se incluye la gestión, la operación y el mantenimiento necesarios para garantizar que el sistema funcione de manera segura y sostenible (Tilley *et al.*, 2018).

Las poblaciones que cuenten con estos servicios y pueda hacer uso de ellos es de vital importancia para la equidad en el desarrollo humano (MIDEPLAN, 2018), sin embargo, algunas personas usan baños conectados a tanques sépticos que no se vacían de manera segura o usan otros sistemas que descargan aguas residuales sin tratar en desagües abiertos o aguas superficiales y algunos casos al alcantarillado pluvial (Cheng *et al.*, 2018).

La falta de gestión del agua aumenta los riesgos de diarrea, tracoma, algunas infecciones por esquistosomiasis y helmintos (Freeman *et al.*, 2017). Estudios recientes demuestran que el acceso al saneamiento del agua ayuda a prevenir el COVID-19 (Desye, 2021). De aquí radica la importancia de los sistemas de saneamiento para la protección de la salud pública, ya que, como se muestra en la Figura 3.1, la población puede tener contacto directo o indirecto con las aguas residuales (aguas vertidas) por medio de diferentes procesos.

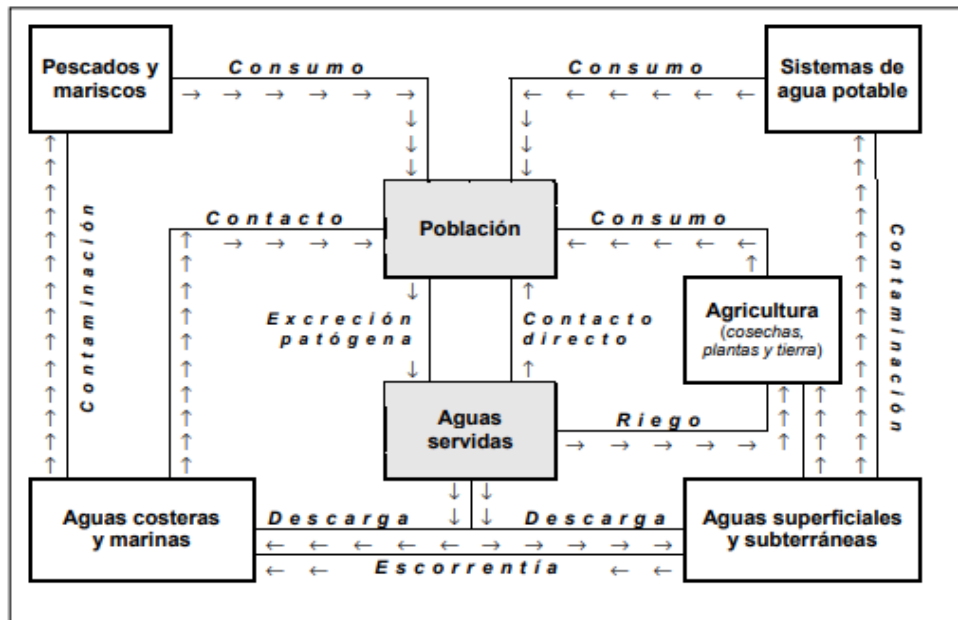


Figura 3.1. Formas de exposición humana a la contaminación causada por el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento. Adaptado de *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI* (p. 20), 2004, por A. Jouravlev, CEPAL

El manejo adecuado y el tratamiento de las aguas residuales se debe incentivar de una manera económica y respetuosa con el ambiente (Ahmad *et al.*, 2016). No obstante, los proyectos para mejorar el saneamiento del agua residual deben ser consultados con la comunidad, puesto que, la aceptación de los servicios de agua y saneamiento por parte de la población se ve afectada por una variedad de factores sociales y demográficos (Ndikumana & Pickbourn, 2017).

3.6. Indicadores de calidad del agua

Los indicadores son datos estadísticos o mediciones de una cierta condición o cambio de la calidad o estado de lo que se evalúa (Calvo, 2018). Estos se expresan en magnitudes y unidades, que difieren entre sí y en su comportamiento en términos de su relación concentración-impacto (Abbasi, 2002 como se citó en Calvo, 2018).

Un índice es un conjunto de indicadores, por esta razón, se usa para sintetizar la información de muchos indicadores, que se transforma en una sola variable fácil de entender e interpretar (Calvo, 2018). Sin embargo, los índices no proveen información

definitiva sobre la calidad del agua para sus distintos usos, por lo que se deben verificar los datos de cada indicador (Calvo, 2018).

3.6.1. Indicadores físicos

Caudal (Q). Es la cantidad de agua que pasa por una sección dada de un río o tramo por unidad de tiempo (Sánchez *et al.*, 2015). Se expresa:

$$Q=A*v \qquad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

Q: caudal (m³/s)

A: área de la sección transversal del río o tramo de agua (m²)

v: velocidad del agua del río o tramo de agua (m/s)

Temperatura (T). El calor asociado a la temperatura del agua será un condicionante de las velocidades de degradación biológica de los contaminantes (Rodríguez, 2015). Tiene una alta relevancia, ya que, afecta la solubilidad del oxígeno y de las sales en el agua, además, afecta los procesos químicos y físicos en el ecosistema (Calvo, 2018).

Turbiedad. La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que hace que la luz se disperse y absorba por las partículas presentes en el agua (Eaton *et al.*, 2005). La turbidez es causada por materia suspendida y coloidal como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, y plancton y otros microorganismos (Eaton *et al.*, 2005). Una concentración alta de estas partículas reduce la disponibilidad de luz, tiene efectos en la capacidad fotosintética del organismo como fitoplancton y macrófitas (Calvo, 2018).

Color. Es indicativo de presencia de humus, turba, plancton, vegetación, metales naturales en su estado iónico y desechos industriales (Calvo, 2018), esto puede suponer un problema de absorción de luz y estética (Rodríguez, 2015). De acuerdo con Sánchez *et al.* (2015), el color verdadero del agua es el color que se presenta al ser eliminada la turbidez por filtración y el color aparente se determina sin filtrar o centrifugar la muestra.

Sólidos Totales (ST). Es el material que permanece en la cápsula después de la evaporación de la muestra y de su secado en estufa a una temperatura de 103 – 105 °C (Sánchez *et al.*, 2008). Los sólidos provienen de fuentes naturales como sales, sedimentos, hojas, plancton, entre otros; y de fuentes externas como la escorrentía, agrícola y urbana (Sánchez *et al.*, 2008). Elevadas concentraciones de ST ocasionan la reducción de la penetración de la luz en el agua, decrecimiento de la fotosíntesis e incremento de la temperatura del agua debido al aumento de la absorción de la energía solar por parte de las partículas (Sánchez *et al.*, 2008).

Sólidos Sedimentables (SSed). Son aquellos que sedimentan bajo condiciones de reposo, debido a la influencia de la gravedad (Sánchez *et al.*, 2015), y están asociados a arenas o materia inerte de gran peso (Rodríguez, 2015). Estos sólidos están presentes en cantidades apreciables en aguas altamente contaminadas (Sánchez *et al.*, 2008).

Sólidos Suspendidos (SS). Consisten en sólidos ligeros finamente divididos, los cuales nunca sedimentarán o lo harán muy lento, quedando atrapados en un filtro de 0,45 µm (Sánchez *et al.*, 2008). Los SS afectan la penetración de la luz en las aguas e interfieren con la vida de las plantas acuáticas y de los peces, formando depósitos, lo cual aumentará las condiciones anaeróbicas (Sánchez *et al.*, 2008).

Sólidos Disueltos (SD). Se obtiene por secado a 105 °C de la disolución filtrada de los SS (Rodríguez, 2015).

3.6.2. Indicadores químicos

Potencial de Hidrógeno (pH). Se define como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno (H⁺) (Sánchez *et al.*, 2015). Se expresa como:

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Se toma como referencia el agua pura, cuyo pH es igual a 7 (neutro), los valores de pH menores a 7 indican más disponibilidad de H⁺ (ácido) y valores superiores a 7 indican menos disponibilidad de H⁺ (básico) (Rodríguez, 2015). Como señala Sánchez *et al.* (2015), en la naturaleza y en los procesos químicos y biológicos utilizados para el tratamiento de agua residuales, el pH juega un importante papel y requiere ser controlado, dado que, es un factor que afecta el metabolismo de los microorganismos. Las aguas

naturales suelen tener valores de pH en el rango de 4 a 9, y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos (Eaton *et al.*, 2005).

Oxígeno Disuelto (OD). Las fuentes de oxígeno son la precipitación pluvial, la difusión del aire en el agua, la fotosíntesis, los afluentes y la agitación moderada. El consumo de oxígeno ocurre por respiración de plantas y animales, las demandas bioquímicas, química, los afluentes, la agitación excesiva y el sedimento. En general, el principal factor de consumo de oxígeno libre es la oxidación de materia orgánica por respiración a causa de microorganismos descomponedores (Roldán & Ramírez, 2008).

Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM). Son moléculas asociadas a detergentes sintéticos, son parcialmente solubles en agua y modifican la tensión superficial del efluente (Rodríguez, 2015). El problema más grave que causan es la formación de espumas y aporte de nutrientes (Briceño, 2016). Estas sustancias no se degradan fácilmente, su remoción depende de la tecnología empleada para el tratamiento de las aguas (Briceño, 2016).

Grasas y Aceites (GyA). Son compuestos orgánicos de origen mineral, animal o vegetal, con baja biodegradabilidad y solubilidad en agua, están asociadas principalmente a grasas de uso doméstico e industrial (Rodríguez, 2015). Las grasas y aceites en las aguas residuales sufren reacciones químicas con otros componentes de las aguas residuales para formar depósitos sólidos insolubles que exhiben propiedades adhesivas y se acumulan dentro de las líneas de alcantarillado (Kusum *et al.*, 2020), reduciendo la capacidad de drenaje de las líneas de alcantarillado y conducen a desbordamientos de alcantarillado sanitario (Kusum *et al.*, 2020).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Informa el consumo de oxígeno del agua necesario para degradación de los compuestos orgánicos por la acción de microorganismos (Sánchez *et al.*, 2015). La DBO es usada para determinar la fortaleza contaminante de las aguas residuales domésticas y agroindustriales en términos del oxígeno, que las bacterias necesitaran si se descargan dentro de cursos de aguas receptoras en las cuales existen condiciones aeróbicas (Sánchez *et al.*, 2015).

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Permite identificar las características de la muestra en términos de cantidad total de oxígeno requerido para la oxidación de CO₂ y agua (Sánchez *et al.*, 2015). Es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica presente en el agua o en las aguas residuales: a mayor contenido orgánico, mayor cantidad

de oxígeno se necesita para oxidar el agua químicamente (Tilley *et al.*, 2018), por lo tanto, en la mayoría de los casos la magnitud es mayor a la DBO (Rodríguez, 2015).

Nitrógeno Amoniacal (N-NH₄⁺). La fuente de nitrógeno amoniacal en aguas superficiales proviene de la degradación natural de la materia orgánica presente en la naturaleza (González, 2013). En general, la fuente de nitrógeno amoniacal se atribuye a la contaminación por fertilizantes o a la contaminación fecal humana y animal (Calvo & Mora, 2012). Los aportes adicionales de nitrógeno amoniacal que alteran las concentraciones normales de este nutriente implican una alteración perjudicial del medio, provocando la disminución de los niveles de oxígeno disuelto de los ríos, desencadenando así una serie de reacciones químicas y microbianas que dan como resultado la disminución de la calidad del agua y muerte de especies que habitan en el sitio (González, 2013).

3.6.3. Indicadores biológicos

Coliformes Fecales (CF). Estas bacterias se encuentran en los intestinos de humanos y animales de sangre caliente, aunque también distribuidas en el suelo, semillas y vegetales (Calvo, 2018). Una mayor concentración de coliformes en el agua implica una mayor cantidad de descargas fecales y un mayor riesgo de presencia de bacterias patógenas intestinales (Calvo, 2018). Estos representan fundamentalmente un problema sanitario dado que producen enfermedades gastrointestinales (Rodríguez, 2015).

3.7. Etapas del tratamiento de aguas residuales

3.7.1. Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar o pretratamiento tiene como objetivo la eliminación de sólidos gruesos en suspensión, grasas y aceites o procesos de desarenado que eviten la obstrucción con material grueso de las etapas subsiguientes de tratamiento (Jaramillo, 2021).

3.7.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como objetivo la eliminación de sólidos en suspensión sedimentables y sólidos flotantes mediante el uso de unidades de sedimentación, parte de estos sólidos en suspensión está compuesto por materia orgánica en suspensión (Sperling, 2007). De esta forma, su eliminación por procesos simples como la sedimentación implica una reducción de la DBO dirigida al tratamiento secundario (Sperling, 2007).

3.7.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario tiene como objetivo la eliminación de materia orgánica, es decir la reducción de la concentración de DBO. Los procesos de tratamiento secundario están concebidos de tal forma que aceleran los mecanismos de descomposición que ocurren naturalmente en los cuerpos receptores, así se consigue la descomposición de los contaminantes orgánicos degradables bajo condiciones controladas, y en intervalos de tiempo más pequeños que en la naturaleza (Sperling, 2007).

3.7.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario tiene como objetivo la reducción de la concentración de nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo, en procesos biológicos y/o químicos llevados en fases posteriores del tratamiento secundario (Campos, 1999). Este tipo de tratamiento también produce lodos, que deben ser condensados, digeridos, secados y disponerse adecuadamente (Campos, 1999).

3.8. Sistemas de tratamiento de aguas residuales individuales

Entre los sistemas de tratamiento de agua residual individuales destacan el tanque séptico y el filtro anaerobio de flujo ascendente (Jaramillo, 2021). Además, a estos se les puede encontrar con la configuración de trampa de grasas y pozos de percolación o drenaje.

Aunque generalmente estos se consideran los métodos más eficientes para el tratamiento individual de las aguas residuales domésticas, se cuestiona si la regulación y gestión actual de estos sistemas es suficiente para garantizar que funcionen de manera efectiva (Withers *et al.*, 2014). Para el diseño de estos sistemas de tratamiento es necesario realizar una buena caracterización de las aguas residuales que van a ser vertidas y determinar la capacidad auto depuradora del cuerpo receptor (Sánchez *et al.*, 2015).

3.8.1. Trampa de grasas

Las grasas y aceites se acumulan en los sistemas de saneamiento, en consecuencia, su presencia en bombas, pozos y accesorios hidráulicos pueden obstruir el paso del agua residual (Larriva *et al.*, 2019). En el caso de las aguas provenientes del lavado de platos, deben pasar por una trampa de grasas (tratamiento preliminar) de doble cámara antes de la descarga al tanque séptico (Poder Ejecutivo, 2020). Dicha trampa de grasas debe tener mantenimiento periódico, que consiste en remover y disponer los residuos sólidos y de grasas cada tres meses (Poder Ejecutivo, 2020).

3.8.2. Tanque séptico

El tanque séptico es un tratamiento de tipo primario y es definido en el “Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (2020)”, como la unidad de tratamiento que combina sedimentación y biodigestión de las aguas residuales ordinarias como solución para viviendas unifamiliares u otras actividades con caudales menores o iguales a cinco metros cúbicos por día (equivalentes a 190 metros cúbicos mensuales de consumo de agua con un factor de retorno de 0,8) y cuyo efluente se debe disponer mediante un sistema de drenaje o a un sistema de alcantarillado sanitario en operación. Además, dicho reglamento establece que:

- Es obligatorio que la totalidad de las aguas grises se dispongan en el tanque séptico.
- Es responsabilidad del propietario que se realice la extracción de los lodos del tanque séptico con una frecuencia mínima de dos años de acuerdo con su diseño,

conforme al “(Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos, (2015)”.

Cabe considerar, que en general la frecuencia máxima de extracción de lodos es de cinco años (Tilley *et al.*, 2018). Lo recomendable es realizar la limpieza al final del periodo de diseño de los tanques sépticos (Rosales, 2014). Se recomienda usar tecnología de vaciado y transporte motorizado, aunque el vaciado y el transporte manual también puede ser una opción (Tilley *et al.*, 2018). Como plantea Rosales (2014), los lodos y líquidos extraídos requieren tratamiento y no se deben disponer de estos a un río o sitio semejante, visto que es una acción directa y grave de contaminación.

Debe señalarse, que el diseño del tanque séptico debe guardar una relación de 1:3 entre el ancho y la longitud, así como una profundidad mínima de un metro en los líquidos almacenados (Rosales, 2014). Cabe destacar, que estas instalaciones se utilizan para proporcionar un tipo de infraestructura de tratamiento de aguas residuales domésticas que no consume energía (Singh *et al.*, 2019).

3.8.3. Filtro anaerobio de flujo ascendente

También conocido como FAFa, está formado por un tanque o recipiente en forma de columna, relleno con algún soporte sólido que permita la adherencia y crecimiento biológico anaerobio (Jaramillo, 2021). Según Prieto y Velasquez (2018), este tipo de filtro tiene las siguientes características:

- Usa como medio de soporte de crecimiento piedras, anillos de plástico o bioanillos plásticos.
- La mayor parte de la biomasa se acumula en los vacíos existentes entre el medio.
- El medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración de biomasa alta y un efluente clarificado.

Este tipo de sistema de tratamiento es secundario, por lo tanto, requiere de uno primario que elimine material suspendido del agua, con miras a evitar tempranas obstrucciones del filtro (Jaramillo, 2021). Además, varias investigaciones han encontrado problemas de obstrucción en la operación de filtros anaeróbicos debido a sólidos en suspensión en aguas

residuales (Venkatesh *et al.*, 2022). No obstante, en general se produce poco lodo, por lo que no requiere de complicados sistemas de operación, aun así, las labores de mantenimiento son esenciales (Rosales, 2014).

3.8.4. Sistema de drenaje

La infiltración es el proceso por medio del cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus horizontes inferiores, mientras que la percolación se refiere al paso de fluidos a través de partículas del suelo y materiales porosos, por lo tanto, la terminología correcta es percolación o drenaje (Zúñiga, 2020).

Según el “Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (2020)”, el uso de sistema de drenajes para la disposición de aguas residuales ordinarias tratadas, será aceptable únicamente en aquellos casos que cumplan con:

- Zanjas de infiltración, cuya tasa de infiltración debe estar entre 2 min/cm y 24 min/cm.
- Que no exista disponibilidad de alcantarillado sanitario en funcionamiento.
- Que no sea factible técnicamente otra forma de disposición.
- Que el sitio del proyecto no esté ubicado en una zona con prohibición expresa del uso de este tipo de disposición de aguas residuales.
- Que el sistema de drenajes se ubique en áreas verdes, zonas de protección, de tránsito, entre otras.
- Que el nivel freático no se ubique a una profundidad menor a 1,5 metros tomando como referencia el fondo de la zanja de infiltración.

3.8.5. Biojardinera

La biojardinera es un tratamiento secundario y terciario, que consiste en un humedal artificial, utilizada como técnica alternativa para el tratamiento de las aguas grises, su atractivo consiste en contar con una jardinera que da belleza a nuestra casa que al mismo

tiempo mejora la calidad de esas aguas (Zúñiga, 2015, como se citó en Cubillo & Gómez, 2017).

El medio filtrante actúa como un filtro para remover sólidos, una superficie fija a la cual se pueden fijar las bacterias y servir para la vegetación (Tilley *et al.*, 2018). Aunque las bacterias anaerobias y facultativas degradan más orgánicos, la vegetación transfiere una pequeña cantidad de oxígeno al área de raíz para que las bacterias aeróbicas puedan colonizar el área y degradar los orgánicos (Tilley *et al.*, 2018).

3.9. Alcantarillado

La alcantarilla es un canal abierto o tubería cerrada que se usa para conducir las aguas residuales (Tilley *et al.*, 2018). El alcantarillado está íntimamente ligado a la forma urbana, por ejemplo; la ubicación, la forma y las dimensiones de las infraestructuras que dependen de la densidad y la distribución espacial de los usuarios, el terreno y el diseño de las vías (Duque *et al.*, 2022).

3.9.1. Alcantarillado sanitario

Alcantarillados sanitarios, o tuberías de aguas residuales, son un conjunto bombas, estaciones, redes de fuerza, pozos de registro, almacenamiento instalaciones y otros componentes para transportar las aguas residuales de los hogares y empresas a un tratamiento centralizado planta de tratamiento de agua residuales (Water Environment Federation, 2011).

3.9.2. Alcantarillado pluvial

Es el conjunto de líneas de tuberías o conductos (abiertos o cerrados), obras y accesorios que conducen las aguas lluvias provenientes de las precipitaciones hacia lugares naturales de disposición y debe diseñarse como un sistema separado del sistema de alcantarillado sanitario (AyA, 2017).

3.9.3. Pozo o caja de registro

Las cajas o pozos de registro son elementos complementarios del sistema alcantarillado sanitario y pluvial. Su función es facilitar la explotación, mantenimiento, incorporar acometidas, cambios de sección o cambios de alineación (Agüi *et al.*, 2020).

3.10. Situación actual en Costa Rica

Lamentablemente Costa Rica se encuentra rezagada en cuanto a cuidado y conservación del recurso hídrico, y a la forma del uso y el tratamiento a las aguas residuales (MIDEPLAN, 2018). Esta problemática surge a raíz de la prioridad dada al agua potable durante los últimos 40 años, que ha incidido en un bajo rubro de inversión en alcantarillados sanitarios y en sus respectivos procesos de tratamiento (MIDEPLAN, 2018).

En el año 2016 solamente 28 de 81 municipalidades administraban sus sistemas de agua potable y únicamente cinco operaban un sistema de saneamiento (AyA *et al.*, 2016). En la Figura 2, presenta los principales métodos de gestión del agua residual utilizados en Costa Rica.



Figura 3.2. Porcentaje de los métodos de gestión de agua residual utilizados en Costa Rica. Elaboración propia con los datos del INEC (2021)

El tanque séptico es el sistema de mayor uso en el país, representado el 73,58% del total, esto se debe a la problemática mencionada anteriormente, por ello, es indispensable que su diseño, construcción, operación y mantenimiento se hagan de la mejor manera posible, puesto que, estas soluciones individuales muchas veces construidas en forma empírica constituyen un riesgo a la salud y de impacto ambiental (Soto *et al.*, 2019).

En segundo lugar, se encuentran las viviendas conectadas al alcantarillado sanitario, que representan el 25,03% del total, pero no se especifica si el alcantarillado está conectado a un sistema de tratamiento de agua residual. Se espera que aumenten los proyectos para optimizar e instalar más redes de alcantarillado sanitario, gracias a la implementación de la PNSAR (AyA *et al.*, 2016).

Otros factores para considerar en la problemática actual son la falta de experiencia por parte de la población y las instituciones para implementar tecnologías alternativas para el manejo de estas aguas, la falta de sensibilización que existe en la población, la resistencia al cambio, entre muchos otros (Cubillo & Gómez, 2017).

En lo esencial, los habitantes deben comprender que la gestión de las aguas residuales es igual de importante que la del agua potable. Para lograr esto se debe brindar información sobre el tema, además de la promoción en la búsqueda de sistemas de saneamiento de bajo costo que puedan ser desarrollados en forma privada y adaptados a las condiciones existentes del entorno relacionados con condiciones del suelo, clima, planificación urbana y prácticas culturales de la población (Cubillo & Gómez, 2017).

3.11. Institucionalidad

3.11.1. Ministerio de Salud

La “Ley General de la Salud” (1974), establece las funciones de planificación y coordinación al Ministerio de Salud en el tema de la salud pública y la sanidad, dictando la función de otorgar permiso para el vertimiento de las aguas residuales en los cuerpos receptores. En cuanto a los roles que le competen en el saneamiento son dirección y política, regulaciones, control y vigilancia (AyA *et al.*, 2016).

3.11.2. Ministerio del Ambiente y Energía

El Ministerio del Ambiente y Energía, tiene la función de regular, vigilar, controlar el uso de los cuerpos de agua, otorgando concesiones de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas y los permisos de vertidos. En cuanto a los roles que le competen en el tema de saneamiento son dirección y política, regulaciones, control y vigilancia, en consecuencia, existe duplicidad de labores con el Ministerio de Salud (AyA *et al.*, 2016).

3.11.3. Municipalidad

El Código Municipal (1998), establece que el municipio está constituido por el conjunto de personas vecinas residentes en un mismo cantón, que promueven y administran sus propios intereses, por medio del gobierno municipal. El mismo código establece administrar y prestar los servicios públicos municipales, así como velar por su vigilancia y control; aprobar las tasas, los precios y las contribuciones municipales, así como proponer los proyectos de tarifas de impuestos municipales; promover un desarrollo local participativo e inclusivo, que contemple la diversidad de las necesidades y los intereses de la población. Asimismo, en el tema de saneamiento tiene el rol de operador (AyA *et al.*, 2016).

3.12. Normativa

- La Ley General de Salud (1974), prohíbe contaminar las aguas, directa o indirectamente con el vertimiento de residuos líquidos como las aguas residuales, ya que, ponen en peligro la salud de las personas y del medio ambiente.
- La Ley Forestal (1996), establece áreas de protección de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.
- El Decreto Ejecutivo N.º 32133 (2004), declara de interés público y necesidad social el diseño, financiamiento, ejecución, operación y mantenimiento de las

obras requeridas para la recolección, el tratamiento y disposición final de las aguas residuales de tipo ordinario generados en los centros urbanos, donde las soluciones individuales para la disposición de las aguas residuales técnica y ambientalmente no son adecuadas.

- El Decreto Ejecutivo N.º 33601 Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (2007), establece los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que deberán ser analizados obligatoriamente en las aguas residuales de reusó y que se viertan en un cuerpo receptor o alcantarillado sanitario.
- El Reglamento Para La Evaluación y Clasificación de La Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (2007), establece los límites máximos de los parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas superficiales. Asimismo, establece al Índice Holandés como el sistema adoptado en Costa Rica para medir la calidad de las aguas superficiales.
- El Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos (2015), regula la prestación del servicio de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los lodos y biosólidos provenientes de tanques sépticos y plantas de tratamiento, que brindan las empresas públicas o privadas proveedoras del servicio.
- El “Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones” (CFIA, 2017), establece que las instalaciones sanitarias e hidráulicas deben ser diseñadas, construidas, instaladas, reparadas, reemplazadas o remodeladas mediante metodologías y técnicas probadas, así como con materiales de probada capacidad.
- El Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (2020), no permite la descarga del efluente de los tanques sépticos a un cuerpo de agua, alcantarillado pluvial o cualquier otro elemento que no conduzca a un drenaje o a una unidad de tratamiento adicional antes de su descarga final y no se permiten rebalses de aguas residuales del sistema de los drenajes. Igualmente, establece las regulaciones para la infiltración en el subsuelo de los efluentes provenientes de sistemas individuales de tratamiento, así como de plantas de tratamiento de aguas residuales ordinarias y establecer lineamientos para el diseño y construcción de los tanques sépticos.

4. METODOLOGÍA

4.1. Descripción de la zona

Paraíso es el segundo cantón de la provincia de Cartago, Costa Rica. Está conformado por los distritos de Paraíso, Orosi, Cachí, Santiago, Llanos de Santa Lucía y Birrisito, tal y como se observa en la Figura 4.1.

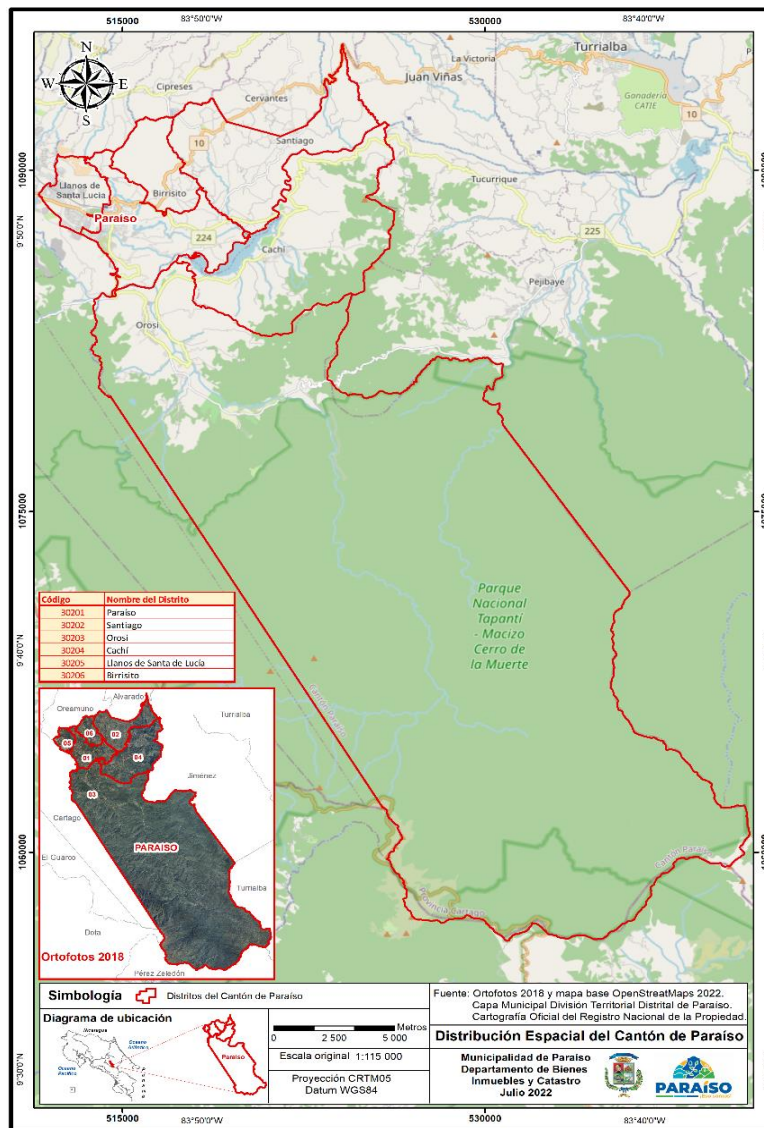


Figura 4.1. Mapa de la división política administrativa del Cantón Paraíso. Fuente: Departamento de bienes inmuebles y catastro, Municipalidad de Paraíso, 2022

El territorio de Paraíso se caracteriza por la presencia del Parque Nacional Tapantí, el cual, corresponde más del 50% del área total del cantón (INDER, 2016), tal y como se aprecia en la Figura 4.1.

Las coordenadas geográficas medias del cantón de Paraíso están dadas por 09°43'51"N y 83°45'46"O (INDER, s.f.). La extensión total del territorio es de 485,47 km² y la anchura máxima es de 42 km, en dirección noroeste a sureste (INDER, s.f.).

El territorio de Paraíso presenta elevaciones desde los 800 hasta los 3 400 msnm (INDER, 2016). Asimismo, el distrito de Paraíso tiene una altitud media de 1 325 msnm (INDER, s.f.) y con pendientes leves a moderadas y secciones planas (INDER, 2016).

La red de drenaje del cantón está compuesta principalmente por los ríos Reventazón, Grande de Orosí, Birrisito, Macho, Pejibaye, Jucó, Purisil y Quebrada Los Tanques (Gaviria *et al.*, 2016).

Costa Rica se caracteriza por poseer una época seca que se extiende de diciembre hasta marzo y una época lluviosa que va de mayo hasta octubre; el mes de abril y noviembre son de transición (IMN, 2008). Mientras que, el clima del cantón Paraíso se caracteriza por tener muy pocos meses secos, que pueden ser dependiendo de dos a tres meses secos en la región Norte del cantón, hasta un mes seco conforme se viaja al Sur (INDER, 2016). La temperatura promedio es de 14,1 °C y la precipitación ronda los promedios anuales de 1 400 mm hasta llegar a los 8 500 mm en el centro del cantón (INDER, 2016).

El cantón de Paraíso se caracteriza por poblaciones rurales, ya que, más del 80% de las fincas de la zona, se destinan a actividades de tipo agrícola, en tanto que solamente cerca de un 20% se destina a actividades pecuarias (INDER, 2016), por lo tanto, la actividad agrícola es la base de la economía, así mismo, el turismo es otra importante fuente de empleo en el Territorio (INDER, 2016).

4.2. Área de estudio

Se define el alcance del estudio en el cuadrante urbano del distrito primero del cantón de Paraíso. El lugar se caracteriza por poseer una superficie aproximada de 1,123 km² y 119 cuadras, ver Figura 4.2.

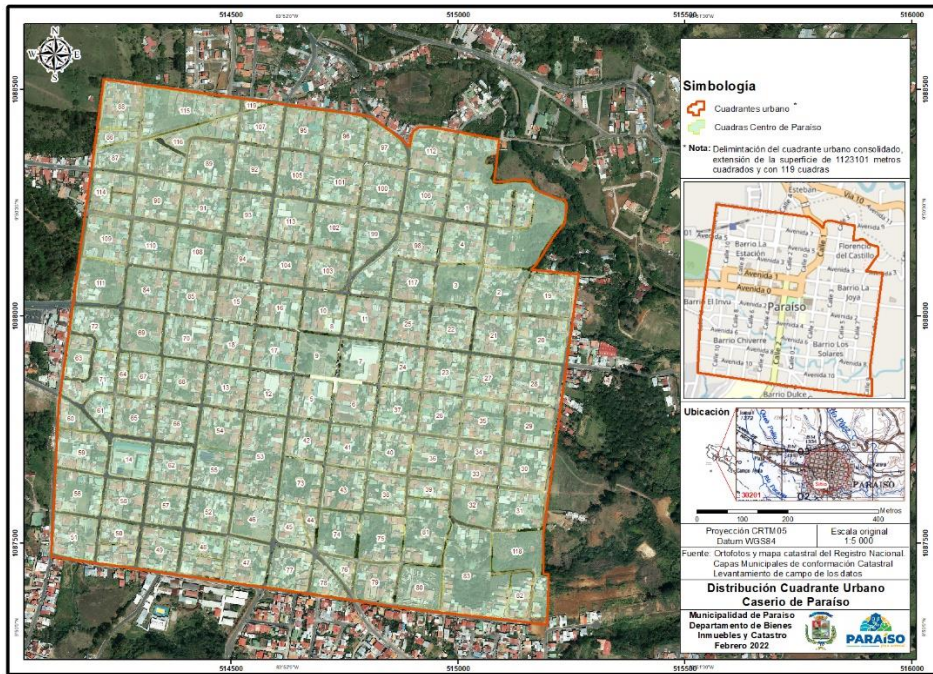


Figura 4.2. Cuadrante urbano del distrito de Paraíso. Fuente: Departamento de bienes inmuebles y catastro, Municipalidad de Paraíso, 2022

La red de drenaje del cuadrante de Paraíso está compuesta por la quebrada Pollo, Lavatripas, río Púcares y una quebrada que no tiene nombre definido, además de un alcantarillado pluvial. El cuadrante está conformado por los barrios La Estación, Cruz Roja, Piedra Grande, Florencio del Castillo, El INVU, Sector Central, La Joya, Soledad, San Antonio, Goicochea, Dulce Nombre, Los Solares y Lirio del Este. En la Figura 4.3., se muestra la ubicación de cada barrio en el área de estudio.

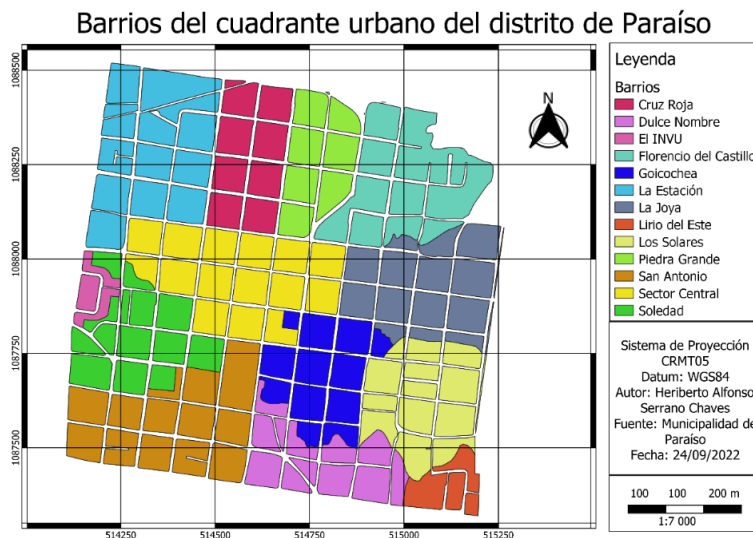


Figura 4.3. Barrios del cuadrante urbano del distrito de Paraíso

En el Sector Central se concentra la mayor parte de los comercios del cuadrante, la mayoría son pequeñas empresas y tan solo dos supermercados. El resto de los barrios son zonas residenciales, con diversos estratos sociales.

4.3. Manejo de los datos de georreferenciación

A través de entrevistas y visitas de campo se determinaron los lugares y puntos críticos para el estudio. Utilizando la aplicación de celular móvil Geo Tracker, se tomaron las coordenadas geográficas de los sitios de interés. Además, la información obtenida se analizó con el programa de sistema de información geográfica QGIS. El diseño de los mapas se complementa con la información catastral y la base de datos de la Municipalidad de Paraíso.

4.4. Encuesta a los usuarios

Se planteó una encuesta (Apéndice 1), con el objetivo de obtener información sobre la gestión de los sistemas de saneamiento de aguas residuales empleados por los usuarios, en el cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso. Cabe resaltar que se utiliza la palabra vivienda para simplificar la encuesta, sin embargo, se aceptaron respuestas por parte de los comercios e instituciones, dado que el principal objetivo es obtener una caracterización del saneamiento de los usuarios en general. La encuesta está dividida en las siguientes secciones:

- Datos del entrevistado y de la vivienda, para determinar los dispositivos de consumo de agua potable.
- Trampa de grasas, para determinar el uso de este sistema en los fregaderos de cocina.
- Colador de fregadero, para determinar si los residuos de alimentos son depositados en la red de alcantarillado sanitario.
- La caracterización de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, que a su vez se divide en 3 secciones: “Tanque séptico”, “Otro sistema de tratamiento de agua residual” y “No se utiliza ningún sistema de tratamiento de aguas residuales”.

- La gestión de las aguas residuales, para determinar la gestión de las aguas grises y negras.
- La disposición final de las aguas residuales en los cuerpos receptores.
- El mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- El nivel de conocimientos del encuestado sobre la gestión de las aguas residuales domésticas.

De esta manera la encuesta se desarrolló siguiendo la metodología propuesta por (Hernández *et al.*, 2014). Dicha encuesta se elaboró en el programa Microsoft Forms y se configuró con rutas condicionales, ver Figura 4.4.

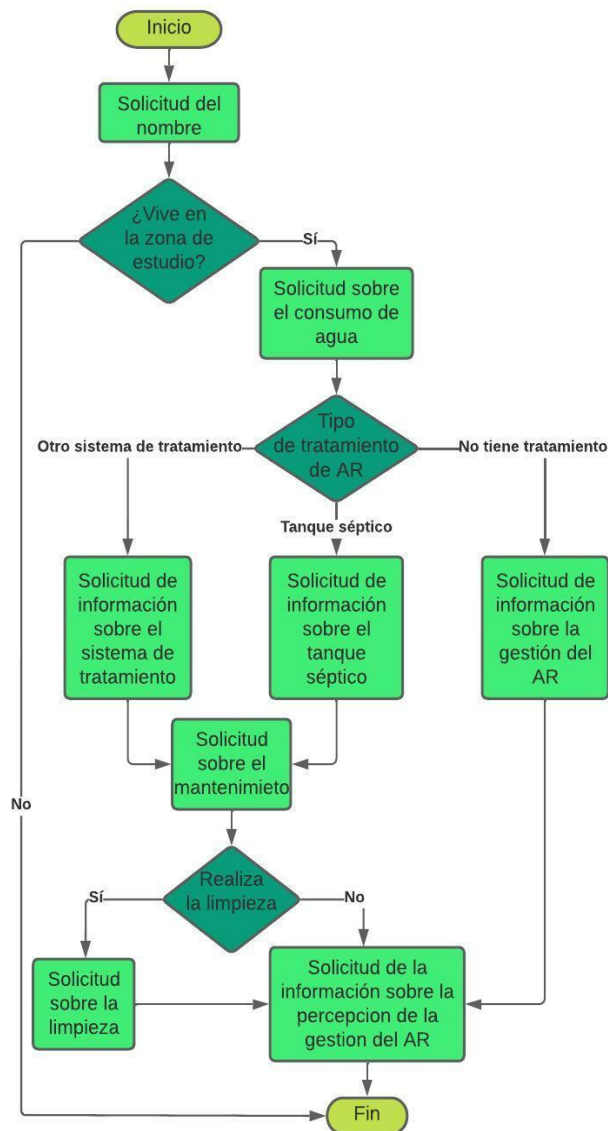


Figura 4.4. Diagrama de flujo de la encuesta aplicada

Dependiendo de la respuesta se van mostrando preguntas relacionadas con el tema a consultar. Las principales rutas de la encuesta son las siguientes:

1. ¿El encuestado vive en el cuadrante urbano?

Si la respuesta es “Sí”, la persona puede continuar con la encuesta, por lo contrario, si la respuesta es “No”, no puede continuar. En la modalidad remota con esta condición, se evita obtener respuestas de personas que no vivan dentro del cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso.

2. ¿Cuál es el sistema de tratamiento de agua residual empleado en la vivienda?

Si la respuesta es “Tanque séptico” u “Otro sistema de tratamiento de aguas residuales”, la ruta a seguir es determinar la gestión de estos sistemas de tratamiento. En el caso de que la respuesta sea “No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales”, la ruta será determinar la gestión de las aguas residuales en la vivienda, además, no realiza la ruta de la limpieza de los sistemas de tratamiento de agua residual y para posteriormente finalizar la encuesta.

3. ¿Se realiza la limpieza o mantenimiento del sistema de tratamiento de agua residual?

Si la respuesta es “Sí”, la ruta a seguir es determinar cómo se realiza la limpieza. En caso contrario, si la respuesta es “No”, la ruta será identificar la gestión de las aguas residuales en la vivienda y para posteriormente finalizar la encuesta.

4.4.1. Tamaño de la muestra para la encuesta

El tamaño de la muestra para la encuesta se determinó a partir de la cantidad de medidores de agua potable, presentes en el cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso, a partir de la información del acueducto municipal, ya que, la Municipalidad de Paraíso es el único ente administrativo y operador que presta su servicio. En total, hay 3 183 medidores en funcionamiento para el año 2022, tal y como se muestra en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Servicios de agua potable en el cuadrante urbano de Paraíso

Servicio	Cantidad
Medidores	3 183
Hidrantes	20

Adaptado: Departamento de bienes inmuebles y catastro, Municipalidad de Paraíso, 2022

Se usó la siguiente fórmula estadística para calcular el tamaño de la muestra (Pardinas, 2005):

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{(N-1) * e^2 + Z^2 * \sigma^2} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población (3 183)

σ = Desviación estándar de la población (0,5)

Z = Valor obtenido mediante niveles de 90 % de confianza (1,645)

e = Margen de error del 5 % (0,05)

Asumiendo los medidores como la cantidad de los usuarios, se sustituyen las variables en la ecuación (3), resultando un total de 249 usuarios (tamaño de los usuarios para aplicarles la encuesta). El análisis de los datos obtenidos en la encuesta, así como los cálculos matemáticos se realizaron en el programa Microsoft Excel.

4.4.2. Aplicación de la encuesta

Se realizó una validación de la encuesta con los expertos entrevistados, funcionarios de la Municipalidad de Paraíso, estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental del Tecnológico de Costa Rica y con habitantes de la zona. Posteriormente de la validación, se realizaron los cambios pertinentes para que pueda ser comprendida por la mayor parte de la población.

La encuesta se aplicó en modalidad virtual, gracias a la coordinación con la Municipalidad de Paraíso, medios de comunicaciones locales y personas de la comunidad, las cuales, en varias redes sociales publicaron noticias con el enlace de la encuesta.

No obstante, en el transcurso de 15 días, solamente se logró recolectar 68 respuestas de manera remota, lo que tan solo representa el 27,3 % del total de encuestas. Debido a la poca participación ciudadana por esta modalidad, se decidió realizar la planificación de la encuesta en modalidad presencial.

Realizando la diferencia entre las encuestas totales y las obtenidas de manera remota, se produjo un total de 181 encuestas restantes. La Municipalidad de Paraíso no cuenta con información sobre la cantidad de viviendas por barrio, de manera que, se opta distribuir la encuesta porcentualmente dependiendo de la extensión territorial de cada barrio, para obtener una distribución representativa, ver Cuadro 4.2. La selección de las viviendas para aplicar la encuesta se determinó de manera aleatoria.

Cuadro 4.2. Distribución de la encuesta según la extensión territorial de los barrios

Barrio	Área (ha)	%	Cantidad de encuestas
Cruz Roja	6,19	6,5	12
Dulce Nombre	6,12	6,5	12
El INVU	1,23	1,3	2
Florencio del Castillo	9,29	9,8	18
Goicochea	7,03	7,4	13
La Estación	11,10	11,7	21
La Joya	9,12	9,6	18
Lirio del Este	2,11	2,2	4
Los Solares	7,84	8,3	15
Piedra Grande	5,28	5,6	10
San Antonio	10,55	11,2	20
Sector Central	11,25	11,9	22
Soledad	7,42	7,8	14

4.5. Monitoreo de cuerpos receptores de agua superficial

La Municipalidad de Paraíso cuenta con mapas catastrales y coordenadas geográficas de las quebradas que atraviesa el centro urbano del distrito, sin embargo, la información se encuentra incompleta, ya que, solamente representa los tramos de las quebradas a cielo abierto y no el tramo que se encuentra cubierta por las edificaciones del lugar.

Se opta por tomar las coordenadas geográficas de las cajas de registro de las quebradas, para dibujar un mapa con los tramos que se encuentran cubiertas y así tener una mejor comprensión de la forma, influencia y la zona de protección de las quebradas.

4.6. Monitoreo del alcantarillado pluvial

En el cuadrante urbano del distrito de Paraíso, se encuentra en operación un alcantarillado pluvial, cuyas aguas son vertidas en una quebrada. La Municipalidad no cuenta con información sobre la ubicación geográfica del alcantarillado pluvial, ya que, es una construcción que se le desconoce la antigüedad, además, por el crecimiento poblacional y la construcción de edificios, se ha perdido la visibilidad para ubicar la infraestructura.

Con la ayuda de funcionarios municipales y vecinos de la zona, se determinó el inicio del alcantarillado, así como las cajas de registro, con el fin de tomar las coordenadas geográficas y dibujar el alcantarillado pluvial en un mapa catastral.

4.7. Análisis de los indicadores de calidad de agua superficial

Se determinó la calidad del agua superficial de las quebradas, antes de la influencia de las viviendas y la población en general, y después de atravesar el cuadrante urbano. Los parámetros estudiados son recomendados por el Reglamento Para La Evaluación y Clasificación de La Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (2007).

Se siguió la metodología del “Standard methods for the examination of water and wastewater” (Eaton *et al.*, 2005), para los procedimientos de la toma y almacenamiento de las muestras, así como los análisis de laboratorio. Asimismo, la metodología se

complementa con el estudio “Análisis del nivel de contaminación en la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí” (Soto, 2019).

4.7.1. Puntos de muestreo

Se empleó la técnica de muestreo puntual, la cual, consiste en la toma de muestras en la superficie o una profundidad específica según el análisis se vaya a realizar. La técnica tiene una representatividad limitada solo para ese tiempo y lugar específicos. Generalmente es aplicable a aguas estancadas o de caudal bajo, asociados a análisis de contaminación (Rodríguez, 2015).

Los cuerpos receptores estudiados son la quebrada Pollo, la quebrada sin nombre definido y el alcantarillado pluvial. Se hizo una identificación visual de las zonas con mayor impacto sobre las quebradas, las cuales pueden ser puntos claves para la toma de muestras (Soto, 2019). Además, se siguieron las recomendaciones del “Manual de muestreo de aguas” (Rodríguez, 2015), para determinar los puntos de muestreo según: la dificultad de la accesibilidad, la apertura de tapas de la caja de registro, la facilidad en el transporte del material y equipo para la toma de la muestra. En la Figura 4.5, se pueden observar los puntos de la toma de muestras seleccionadas y en el Apéndice 2 las coordenadas geográficas de cada punto.

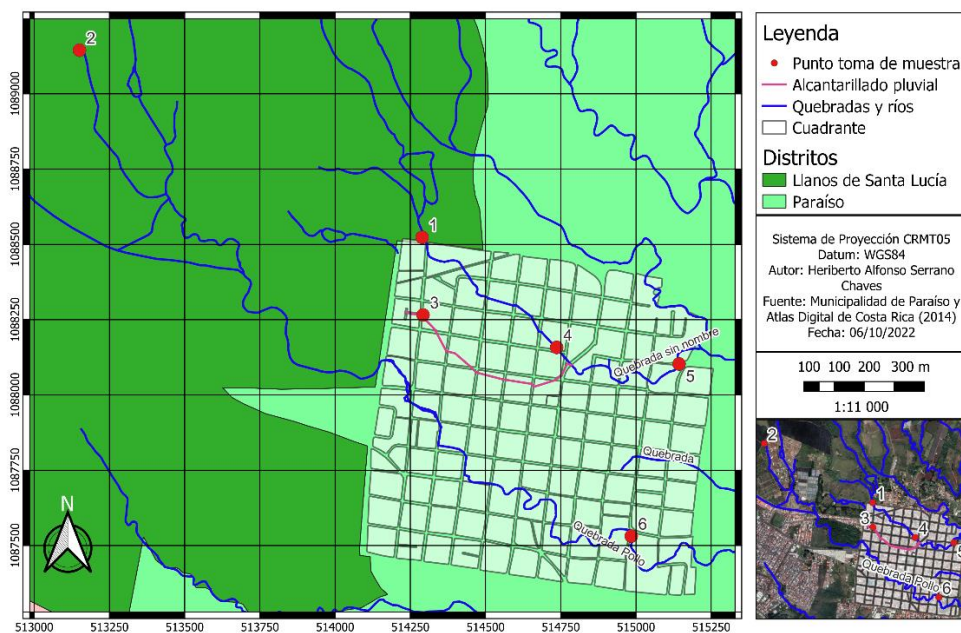


Figura 4.5. Puntos de muestreo en las quebradas y alcantarillado pluvial

Punto 1: se encuentra en la quebrada sin nombre, a 11 m antes de entrar al límite del cuadrante urbano, con el fin de obtener la calidad del agua superficial antes de la influencia de los habitantes de la zona.

Punto 2: se encuentra en la quebrada Pollo, a 1 453 m antes de ingresar al límite del cuadrante urbano, ya que, dentro de esa longitud se encuentran varias viviendas y comercios, los cuales, no están dentro del cuadrante urbano, sin embargo, el objetivo es medir la calidad del agua antes de la influencia de los ciudadanos.

Punto 3: es una caja de registro del alcantarillado pluvial del cuadrante urbano, a 52 m de la primera caja de registro y a 521 m de la confluencia con la quebrada sin nombre, ya que, es la única caja de registro con accesibilidad para la toma de muestras. El principal objetivo es medir el caudal en un día sin precipitaciones y determinar si tiene descargas o vertimientos de aguas residuales por parte de los usuarios. En caso de no tener caudal, se omitirá la toma de muestras.

Punto 4: se encuentra dentro del cuadrante urbano en la quebrada sin nombre, a 575 m del Punto 1, para determinar el impacto de los usuarios sobre la quebrada. Además, se encuentra 72 m antes de la confluencia con el alcantarillado pluvial, para evitar la influencia de esta sobre la quebrada.

Punto 5: se encuentra en la quebrada sin nombre, a 411 m de la confluencia con el alcantarillado pluvial, con el objetivo de determinar el impacto que tiene este sobre la quebrada, además, se ubica en el límite del cuadrante urbano.

Punto 6: se encuentra en la quebrada Pollo, a 2 473 m del Punto 1, para determinar el impacto de los usuarios sobre la calidad del agua en dicha distancia. Además, se encuentra a 207 m antes del límite del cuadrante urbano, debido al difícil acceso a la quebrada en dicha distancia.

4.7.2. Indicadores de la calidad de agua seleccionados

En el Cuadro 4.3, se presentan los parámetros o indicadores seleccionados con sus respectivos tipos de ensayo y el lugar en el cual se llevaron a cabo los análisis físicos, químicos y biológicos.

Cuadro 4.3. Indicadores seleccionados para determinar la calidad del agua superficial

Indicadores	Ensayo	Lugar
Caudal	<i>in situ</i>	Punto de muestreo
Temperatura	<i>in situ</i>	Punto de muestreo
Potencial de hidrógeno	<i>in situ</i>	Punto de muestreo
Oxígeno disuelto	<i>ex situ</i>	Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Ambiental
Turbiedad	<i>ex situ</i>	Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Ambiental
Color aparente	<i>ex situ</i>	Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Ambiental
Sólidos totales	<i>ex situ</i>	Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Ambiental
Sólidos sedimentables	<i>ex situ</i>	Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Ambiental
Sólidos suspendidos	<i>ex situ</i>	Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Ambiental
Sólidos disueltos	<i>ex situ</i>	Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Ambiental
Sustancias activas al azul de metileno	<i>ex situ</i>	CEQIATEC
Grasas y aceites	<i>ex situ</i>	CEQIATEC
Demanda química de oxígeno	<i>ex situ</i>	CEQIATEC
Demanda bioquímica de oxígeno	<i>ex situ</i>	CEQIATEC
Nitrógeno amoniacal	<i>ex situ</i>	CEQIATEC
Coliformes fecales	<i>ex situ</i>	CEQIATEC

Se determinó el área y la velocidad del cauce de las quebradas para calcular el flujo de agua a partir de la metodología propuesta por (Villón, 2004), en el Anexo 1 se muestra el procedimiento.

Los parámetros del cuadro anterior son los seleccionados para determinar la calidad del agua superficial y su clasificación en los Anexos 2 y 3 se pueden observar los resultados según la concentración obtenida.

No se realiza el análisis *in situ* del oxígeno disuelto, por la carencia de un oxímetro portátil, sin embargo, se realizó el análisis en el laboratorio 2 horas después de tomadas las muestras.

4.8. Índice Holandés

Este índice se basa en la obtención de un puntaje de acuerdo con tres indicadores: la DBO, el porcentaje de saturación de oxígeno (PSO) y el N-NH₄⁺ (Calvo, 2018). El Índice Holandés tiene la ventaja que requiere únicamente de tres indicadores; sin embargo, esa simplicidad deja por fuera el uso de otros indicadores importantes como lo son los relacionados con la salud, entre ellos el contenido de coliformes fecales (Calvo, 2018).

Este modelo de clasificación desde el punto de vista espacial permitirá situar a un tramo particular del río, en una clasificación específica y temporalmente dependiente, ya que la clasificación obtenida en época lluviosa no se corresponderá con la observada durante el el nivel más bajo de caudal (Poder Ejecutivo, 2007). Para clasificar un agua superficial se requiere sumar los puntos correspondientes en cada uno de los ámbitos respectivos, de cada una de las variables de acuerdo con el Cuadro 4.4 (Poder Ejecutivo, 2007).





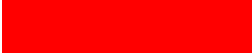
Cuadro 4.4. Asignación del puntaje según el Índice Holandés de valoración de la calidad fisicoquímica del agua para cuerpos receptores

Puntos	PSO (%)	DBO (mg/L)	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)
1	91 - 100	≤ 3	< 0,50
2	71 - 90 111 - 120	3,1 - 6,0	0,50 - 1,0
3	51 - 70 121 - 130	6,1 - 9,0	1,1 - 2,0
4	31 - 50	9,1 - 15	2,1 - 5,0
5	≤ 30 y > 130	> 15	> 5,0

Adaptado: Reglamento Para La Evaluación y Clasificación de La Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, 2007

La suma obtenida de puntos se traslada seguidamente a un código de colores con el cual queda clasificada la calidad del agua del cuerpo receptor de acuerdo con el grado de contaminación propio según el Cuadro 4.5 (Poder Ejecutivo, 2007).

Cuadro 4.5. Asignación de las clases de calidad del agua según el Índice Holandés de codificación por colores, según los valores de PSO, DBO y N-NH₄⁺

Clase	Promedio de puntos	Código de color	Interpretación de calidad
1	3		Sin contaminación
2	4 - 6		Contaminación incipiente
3	7 - 9		Contaminación moderada
4	10 - 12		Contaminación severa
5	13 - 15		Contaminación muy severa

Adaptado: Reglamento Para La Evaluación y Clasificación de La Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, 2007

Finalmente, para cada Clase desde la 1 a la 5 y su asignación correspondiente de color queda definida desde el estado de calidad no contaminada hasta aquel totalmente contaminado (Poder Ejecutivo, 2007). El (Reglamento Para La Evaluación y Clasificación de La Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales 2007), clasifica la calidad de los cuerpos de agua superficial, en cinco categorías de usos del agua, como se muestra en el Anexo 3.

4.9. Evaluación multicriterio

Para determinar la evaluación general del saneamiento de las aguas residuales del cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso, se hace una adaptación del “Método Sencillo de Estandarización “. Pacheco & Contreras (2008), argumentan las siguientes características del método:

- Este método es una forma sencilla de evaluación multicriterio.
- Es capaz de identificar la importancia relativa entre criterios e integrar una variedad de indicadores cuantitativos como cualitativos.
- A través de una matriz de comparaciones se pregunta si el criterio “i” es más importante que el criterio “j”, si este es el caso se le asigna un valor 1 a la celda correspondiente a la fila que contiene el criterio “i” y la columna con el criterio “j”, y 0 (cero) en caso contrario (la diagonal de esta matriz no se completa). De este modo es capaz de asignar ponderadores para cada criterio en la evaluación.

- Los ponderadores se calculan sumando las filas y el porcentaje que representan respecto del total.
- Por otro lado, es capaz de comparar los distintos indicadores de los proyectos o alternativas de proyectos, en cada uno de sus criterios, a través de la estandarización de sus valores.

El método sencillo de estandarización se utilizó para analizar los resultados de la encuesta, partiendo de los sistemas de tratamiento individuales y de la disposición de las aguas residuales. Los resultados seleccionados en el análisis se presentan en el Cuadro 4.6 y el nivel de ponderación en el Cuadro 4.7.

Cuadro 4.6. Resultados evaluados en la encuesta para la evaluación de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales

Sistema de tratamiento de agua residual	Disposición final del agua residual
Medidor de agua	Gestión de los residuos de la trampa de grasas
Sanitario de bajo consumo	Gestión de los residuos del colador de fregadero
Trampa de grasas	Disposición final de las aguas grises
Colador de fregadero	Disposición final de las aguas residuales con tratamiento
Sistema de tratamiento de agua residual	Tratamiento de las AR vaciadas en la limpieza del sistema de tratamiento
Tratamiento secundario o terciario	Conocimiento de la legislación sobre el vertido de AR
Mantenimiento o limpieza	
Conocimiento sobre la gestión de las AR	

Cuadro 4.7. Puntaje asignado al nivel de gestión según la sumatoria de los valores de los resultados seleccionados para la evaluación de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales

Nivel de gestión	Sistema de tratamiento de aguas residuales	Disposición final de las aguas residuales
Inadecuada	0 - 5	0 - 4
Adecuada	6 - 8	5 - 6

Con base los resultados de la ponderación del Cuadro 4.7, la zona de protección de las quebradas y el Índice Holandés, se asigna un valor a los objetivos del proyecto (entre 1 a 5), tal y como se muestra en el Cuadro 4.8.

Cuadro 4.8. Valor asignado a los resultados de los objetivos para la evaluación del saneamiento de las aguas residuales

Objetivo	Indicador	Resultado (%)	Valor
Sistemas de tratamiento de aguas residuales	Nivel de gestión "Adecuada"	0-20	1
		21-40	2
		41-60	3
		61-80	4
		81-100	5
Disposición final de las aguas residuales	Nivel de gestión "Adecuada"	0-20	1
		21-40	2
		41-60	3
		61-80	4
		81-100	5
Zona de protección total de las quebradas estudiadas	Zona de protección sin invasión de edificaciones	0-20	1
		21-40	2
		41-60	3
		61-80	4
		81-100	5
Índice Holandés	Puntos dentro del cuadrante urbano con la clasificación "Sin contaminación" o "Contaminación incipiente"	0-20	1
		21-40	2
		41-60	3
		61-80	4
		81-100	5

El resultado de la sumatoria de los valores se utiliza para obtener un puntaje total, con el fin de realizar la interpretación de la evaluación, entre ausente, mala, regular, buena o excelente, tal y como se muestra en el Cuadro 4.9.

Cuadro 4.9. Resultado de la evaluación de la gestión de los sistemas de saneamiento de aguas residuales en la zona urbana del distrito primero, cantón Paraíso

Evaluación	Puntaje	Recomendación
Inexistente	≤ 4	Proyecto de saneamiento
Mala	5-8	Proyecto de saneamiento
Regular	9-12	Optimización
Buena	13 - 16	Oportunidades de mejora
Excelente	≥ 17	Oportunidades de mejora

La evaluación “Ausente” y “Mala”, con lleva realizar proyectos de saneamiento de aguas residuales comunitarios, para dar un apronta solución a la situación de la gestión de las aguas residuales de la comunidad, asegurando la salud pública y ambiental, tal y como establece los criterios del Decreto Ejecutivo N.º 32133 (2004) y la Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales.

La evaluación “Regular”, establece la optimización de los sistemas de saneamiento de agua residuales, con el fin de asegurar la calidad del agua residual tratada establecidas en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales (2007) y prevenir la afectación de los cuerpos receptores.

La evaluación “Buena” y “Excelente”, con lleva a realizar estudios de oportunidades de mejorar para continuar con la adecuada gestión de las aguas residuales.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados de la encuesta

La encuesta se aplicó en un periodo de tiempo de aproximadamente 40 días y se obtuvieron 202 respuestas, sin embargo, no se logró obtener la totalidad de la distribución territorial de los barrios (ver Cuadro 4.2). Dicha cantidad representa el 81,1 % de la muestra original de 249 usuarios, por tal razón el margen de error corregido es de 5,6 %.

5.1.1. Datos de los usuarios

En el cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso, la antigüedad media de las edificaciones es de 32,5 años. El 99,5 % de las edificaciones cuentan con un medidor de agua, no obstante, el 79,2 % de los encuestados no conocen el consumo de agua potable en unidades de volumen (m³), por lo que se asume que no existe conciencia por conocer la cantidad de agua potable consumido, y solamente se responsabilizan por cubrir el costo económico del servicio brindado por la Municipalidad de Paraíso.

Es de suma importancia identificar los dispositivos de consumo de agua, para determinar las actividades en las que se concentra la mayor generación de aguas residuales. En el Cuadro 5.1 se muestran los principales dispositivos utilizados por los usuarios.

Cuadro 5.1. Dispositivos de consumo de agua potable utilizados por los usuarios del cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso

Dispositivos de consumo de agua	Uso (%)
Inodoro/sanitario	99,5
Ducha	96,0
Lavamanos	96,5
Fregadero	94,6
Pila	94,6
Tina de baño	3,0
Mingitorio u orinal	3,0
Lavadora y/o secadora de ropa	95,5

Solamente el 3,0 % de los usuarios tienen una tina de baño, por lo tanto, los grandes volúmenes de agua de estos dispositivos no es un factor significativo en la higiene de las personas, sin embargo, las otras tecnologías superan el 94,0 % de uso, por lo que, representan los típicos dispositivos utilizados en la vida cotidiana por los ciudadanos de la zona de estudio, no obstante, los resultados no se deben interpretar como los dispositivos de mayor consumo de agua.

Del 99,5 % de los encuestados que utilizan inodoros/sanitarios, el 36,1 % son de bajo consumo, el 2,5 % desconocen el tipo de tecnología del sanitario y 61,4 % no utilizan la tecnología de bajo consumo de agua, por lo tanto, una gran cantidad de usuarios no han optado por sustituir los sanitarios convencionales y disminuir el consumo de agua potable en el saneamiento de las excretas y orina. Además, solamente el 3,0 % utilizan un mingitorio para el saneamiento de la orina.

5.1.2. Caracterización de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales

En el cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso, el principal sistema de tratamiento de aguas residuales es el tanque séptico con un 91,6 % del total de viviendas, comercios e instituciones. No se obtuvieron respuestas de otros sistemas de tratamiento de aguas residuales, por el contrario, el 8,4 % de los usuarios no tienen ningún tipo de tratamiento, incumpliendo con el “Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (2020)”. En los siguientes apartados se detallan los principales resultados obtenidos en la encuesta para el tratamiento preliminar (trampa de grasas y colador), tanques sépticos y la gestión de las aguas residuales sin tratamiento previo a su disposición final en algún cuerpo receptor.

5.1.3. Usuarios con pretratamiento básico

El 14,4 % de los usuarios cuentan con trampa de grasas como método de pretratamiento de las aguas residuales generadas en los fregaderos o pilas. De tal manera que aproximadamente el 86,0 % de los usuarios incumplen con la gestión de las aguas provenientes del lavado de platos mediante trampa de grasas, la cual se establece en la

normativa de Costa Rica. El Cuadro 5.2. muestra la gestión de los residuos retenidos en la trampa de grasas.

Cuadro 5.2. Gestión de los residuos retenidos en la trampa de grasas

Gestión de los residuos retenidos	Usuarios (%)
Basurero	82,8
Cunetas de la vía pública	10,3
Quebrada o río	NR
En alguna zona verde	NR
Entregados a una empresa para su tratamiento	NR
Otro	6,9

NR: no se obtuvo respuesta

La mayoría de los usuarios que cuentan con una trampa de grasas, gestionan los residuos generados en los basureros y el 6,9 % realizan otro tipo de actividad. El 10,3 % vierten los residuos en las cunetas de la vía pública, lo que implica una gestión inadecuada de la trampa de grasas.

Ninguno de los encuestados vierte o deposita los residuos de la trampa de grasas en las quebradas o zonas verdes, ni tampoco contratan los servicios de alguna empresa para el tratamiento de las grasas y líquidos retenidos en este tipo de pretratamiento.

El colador de fregadero es otra tecnología consultada, el 94,6 % de los usuarios cuentan con un fregadero (Cuadro 5.1), y a partir de este porcentaje, el 66,8 % utilizan un colador para evitar la entrada de residuos sólidos al sistema de redes y tratamiento de agua residual. La gestión de los residuos retenidos en el colador se muestra en el Cuadro 5.3.

Cuadro 5.3. Gestión de los residuos retenidos en el colador de fregadero

Gestión de los residuos retenidos	Usuarios (%)
Basurero	93,3
Compostaje o abono orgánico	5,9
Alimento para animales	0,7
Cunetas de la vía pública	NR
Quebrada o río	NR
En alguna zona verde	NR

NR: no se obtuvo respuesta

La mayoría de los usuarios gestionan los residuos del colador en el basurero. En segundo lugar, se realiza compostaje o abono orgánico. Son pocos los casos que utilizan este tipo de residuos como alimento para animales. Además, ninguno de los encuestados desecha los residuos del colador en el ambiente. Por lo tanto, un gran número de hogares desaprovechan la oportunidad de realizar compostaje a partir de los residuos orgánicos del colador.

5.1.4. Usuarios con tanque séptico

En la Figura 5.1, se muestran los sistemas complementarios al tanque séptico para el tratamiento de las aguas residuales. Es importante aclarar que se consultó por medio de la encuesta la existencia de biojardinera en las viviendas, comercios e instituciones, sin embargo, no se obtuvieron respuestas sobre la utilización de este sistema de tratamiento.

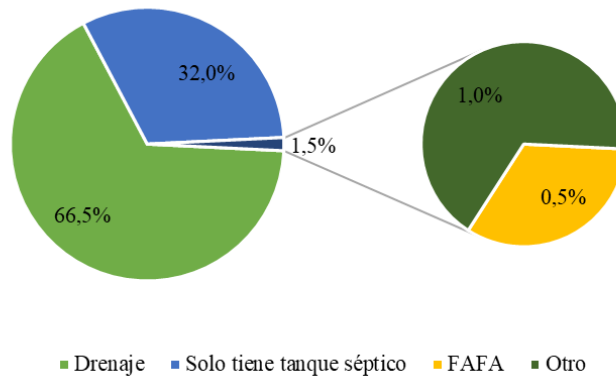


Figura 5.1. Sistemas de tratamiento de aguas residuales complementarios al tanque séptico

Del 91,6 % de los usuarios que cuentan con un tanque séptico, el 66,5 % de estos cuentan con un sistema de drenaje y el 1,5 % cuentan con Fafa o utilizan otros sistemas no contemplados en la encuesta. En estos casos se asume que existe una remoción mínima de materia orgánica y nutrientes, sin embargo, se desconoce la infraestructura de los sistemas de tratamiento secundarios y terciarios mencionados.

En cambio, el 32,0 % no tienen ningún sistema complementario para tratar las aguas residuales, por lo tanto, carecen de un tratamiento secundario y terciario, por lo que no se

garantiza la remoción adecuada de materia orgánica y de los nutrientes. En el caso del tratamiento primario, en la Figura 5.2. se muestran las diferentes formas del tanque séptico construido y el material utilizado en su construcción.

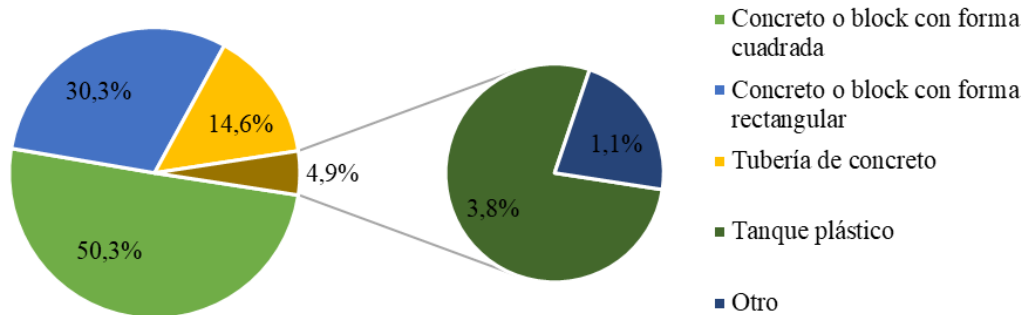


Figura 5.2. Materiales usados en la construcción de los tanques sépticos

La mayoría de las edificaciones cuentan con tanques sépticos cuadrados, sin embargo, con este tipo de diseño no se garantiza la sedimentación adecuada de la materia orgánica, ya que, no cumple con la relación 1:3; ancho: longitud. La tubería de concreto representa la tercera opción de “tanque séptico” de mayor empleo, al tener una configuración circular no se cumple la relación 1:3. En estos dos casos se incumple con la normativa, ya que, se prohíbe el uso de tuberías verticales u horizontales como sustituto al tanque séptico y deben ser construidos según lo dispuesto en el reglamento (Poder Ejecutivo, 2020).

En opinión de Rosales (2014), los procesos de construcción de un tratamiento de aguas residuales domésticas, se siguen patrones que la costumbre estableció, tanto por profesionales, encargados de obra o los jefes de familia y en general no se tiene el respaldo técnico para la toma de decisiones. En otras palabras, el diseño inadecuado de los tanques sépticos estudiados se relaciona con el desconocimiento de los criterios técnicos de la normativa nacional y el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (2017).

El 30,3 % de los tanques sépticos tienen una forma rectangular, por lo que se asume que al menos se garantiza la relación 1:3 entre el ancho y la longitud, recomendados para este sistema de tratamiento primario.

El plástico u otros materiales solamente representan el uso minoritario por parte de las viviendas, estos tipos de materiales son muy diversos, por lo tanto, no se consultan las

características, ya que, puede generar saturación de información en la encuesta, dificultando la comprensión por parte de los ciudadanos.

Por el contrario, los materiales más utilizados en la construcción de los tanques sépticos es el concreto o block, garantizando infraestructuras resistentes con pocos problemas, ya que, el tanque séptico y sus etapas requiere ser herméticos con paredes y el piso del tanque impermeables y resistentes a la corrosión (Poder Ejecutivo, 2020), tal y como se detallan en el Cuadro 5.4.

Cuadro 5.4. Problemas de los tanques sépticos

Problemas	Cantidad	Número de tanques sépticos afectados	%
Fugas	3		
Rebalses	14	18	9,7
Malos olores	8		
Ninguno	167	167	90,3

El 9,7 % de los tanques sépticos tienen problemas relacionados con fugas, rebalses o malos olores. En cambio, la mayoría de los tanques sépticos no presentan problemas de ningún tipo.

Los criterios de diseño y de construcción, y los problemas que se generan actualmente, son de suma importancia, ya que brindan información sobre la posibilidad que la calidad del agua residual tratada no cumpla con la legislación nacional, impactando negativamente a los cuerpos receptores del cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso, por tal razón es indispensable identificar los principales cuerpos receptores. En la Figura 5.3 se presentan los sitios donde se vierten las aguas residuales con el tratamiento de tanque séptico y red de infiltración

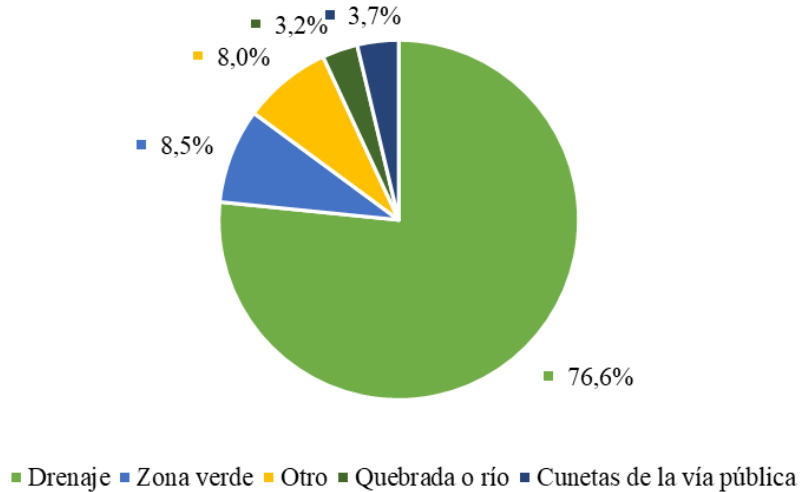


Figura 5.3. Disposición final del efluente de los sistemas de tratamiento complementados con un tanque séptico

La mayoría de las viviendas que cuentan con un tanque séptico disponen de sus aguas residuales tratadas en un sistema de drenaje, por lo que, se garantiza el cumplimiento de la disposición final que se establece en el “Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (2020)”, para las zonas con ausencia de alcantarillado sanitario. No obstante, no es un resultado que refleje el cumplimiento de los criterios para la utilización del sistema de drenaje.

El 8,5 % de las viviendas conectan el efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales en una zona verde, el 8,0 % las disponen en un sitio diferente a los consultados, el 3,7 % las vierten las aguas residuales tratadas directamente en las cunetas de la vía pública, donde no se garantiza la depuración de los nutrientes por la falta de una fuente de agua natural continúa, por el contrario, la minoría de las viviendas realizan la disposición final en una quebrada. El “Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (2020)”, prohíbe la descarga del efluente de los tanques sépticos a un cuerpo de agua, alcantarillado pluvial o cualquier otro elemento que no conduzca a un drenaje o a una unidad de tratamiento adicional antes de su descarga final, por lo tanto, se consideran como una disposición inadecuada de las aguas residuales tratadas.

Con respecto al mantenimiento del sistema de tratamiento individual que incluye un tanque séptico, el 33,0 % no tienen conocimientos sobre la limpieza de este sistema, por el contrario, el 67,0 % de los encuestados respondieron que tienen conocimientos básicos

sobre la limpieza del tanque séptico. En la Figura 5.4, se visualiza la frecuencia del mantenimiento de los tanques sépticos.

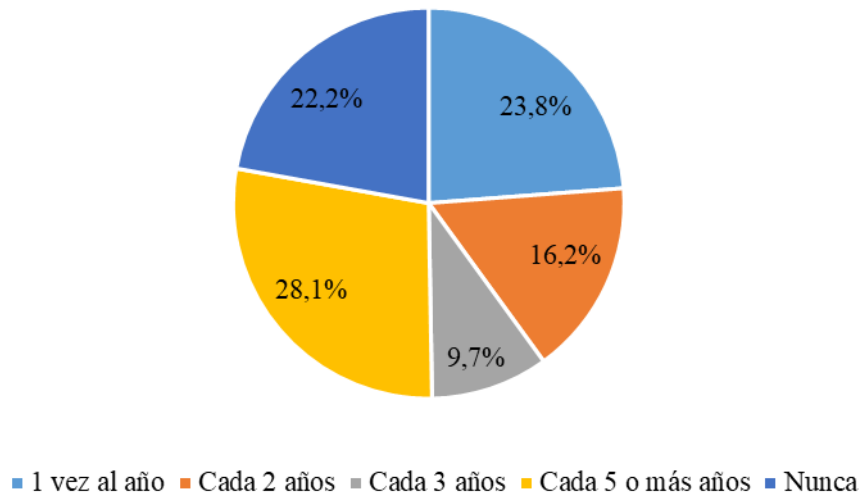


Figura 5.4. Frecuencia del mantenimiento de los sistemas de tratamiento complementados con un tanque séptico

El 22,2 % de los encuestados no realizan mantenimiento o vaciado de los lodos de sus tanques sépticos, lo que implica una inadecuada remoción de materia orgánica y el proceso de sedimentación, ya que, los lodos no purgados o no vaciados acumulados por un período de tiempo largo, ocuparan la mayor parte del volumen de sedimentación del sistema de tratamiento.

El 23,8% de los usuarios que realizan vaciado de lodos, no cumplen con la recomendación mínima de tiempo de 2 años para realizar el mantenimiento del “Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (2020)”. Por el contrario, el resto de los usuarios tienen una frecuencia igual o superior a los 2 años de limpieza, por lo tanto, se respeta la recomendación de la frecuencia del mantenimiento. Cabe considerar que los datos no reflejan si corresponde al periodo de tiempo adecuado según los criterios de diseño utilizados en el sistema individual de tratamiento de aguas residuales domésticas. Por otra parte, el Cuadro 5.5 muestra los responsables de realizar el mantenimiento o limpieza de los lodos en el tanque séptico.

Cuadro 5.5. Responsables del vaciado de los lodos en los sistemas de tratamiento complementados con un tanque séptico

Responsable	%
Un habitante de la vivienda	2,1
Una persona que presta sus servicios	9,7
Una empresa	88,2

La mayoría de los encuestados contrata a una empresa para que realice el mantenimiento de los tanques sépticos y en segundo lugar contratan a una persona que presta sus servicios, sin embargo, en ambos casos se desconoce si cumplen con el permiso sanitario de funcionamiento y el registro de gestor del “Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos (2015)”.

Por el contrario, son pocos los usuarios cuya limpieza de su sistema de tratamiento lo realiza un habitante o miembro de la familia. En el Cuadro 5.6, se muestra la gestión de los lodos vaciados del tanque séptico por los distintos responsables.

Cuadro 5.6. Gestión de los lodos vaciados de los sistemas de tratamientos complementados con un tanque séptico

Gestión de los lodos vaciados	%
Quebrada o río	0,7
A cielo abierto	NR
Enterrados	0,7
Tratamiento	11,1
Desconozco	87,5

NR: no se obtuvo respuesta

En general los usuarios desconocen si se realiza un tratamiento adecuado a los lodos o si son vertidos directamente sin tratamiento a un cuerpo receptor, de modo que existe una falta de conciencia en el contrato de los servicios de mantenimiento de los sistemas de tratamiento de agua residual. Aunque muy pocos encuestados disponen de los lodos vaciados del tanque séptico en una quebrada o enterrados, en estos casos se puede generar grandes problemas a los ecosistemas si se sigue practicando dicha actividad e irrespetando

el “Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos (2015)”. Mientras que solamente el 11,1 % de los encuestados están conscientes del tratamiento adecuado de los lodos que realiza la empresa contratada.

5.1.5. Usuarios sin tratamiento de aguas residuales

Como se mencionó anteriormente el 8,4 % de los usuarios no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales, en cambio vierten las aguas residuales en el ambiente, tal y como se muestra en la Figura 5.5.

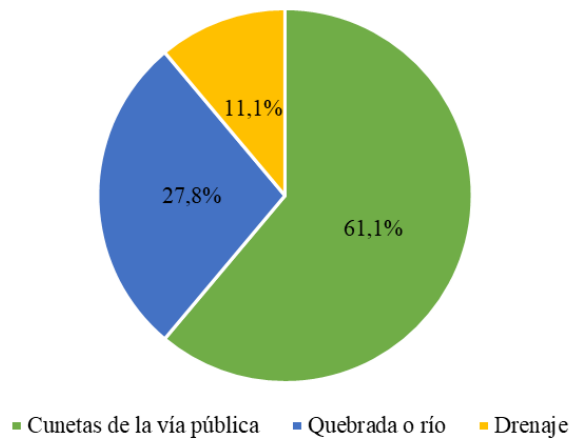


Figura 5.5. Disposición de las aguas residuales de las viviendas que no cuentan con sistemas de tratamiento en el cuadrante urbano de Paraíso

Se observa que la mayoría de las viviendas disponen de sus aguas residuales en las cunetas de las vías públicas, en segundo lugar, en las quebradas o ríos y en tercer lugar cuentan con un drenaje para verter las aguas residuales sin un tratamiento primario ni secundario.

Todos los casos mencionados incumplen el “Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (2020)”. Estos datos reflejan una problemática con respecto al vertimiento de este tipo de aguas crudas en el ambiente, que puede generar consecuencias negativas para la salud de las personas y de los ecosistemas en el cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso.

5.1.6. Gestión de las aguas grises

El 84,4 % de las aguas grises sin un tratamiento previo son vertidas en el ambiente, tal y como se muestra en el Cuadro 5.7.

Cuadro 5.7. Gestión de las aguas grises en el cuadrante urbano de Paraíso

Gestión de las aguas grises	%
Quebrada o río	6,3
Drenaje	2,4
Cunetas de la vía pública	75,1
Zona verde	0,5
Sistema de tratamiento AR	15,1
Otro	0,5

La mayoría de las aguas grises son vertidas en las cunetas de la vía pública, una actividad que se ha normalizado en el cuadrante urbano de Paraíso, tal y como se muestra en la Figura 5.6.



Figura 5.6. Vertido de aguas grises o jabonosas en las cunetas de la vía pública en el cuadrante urbano de Paraíso

Los otros cuerpos receptores de aguas grises el 6,3 % son quebradas o ríos y el 0,5 % son zonas verdes, por lo que implica un vertimiento directo en los ecosistemas. El 2,4 % son dispuestas en un sistema de drenaje sin un tratamiento previo y el 0,5 % realizan otro tipo

de gestión. Solamente el 15,1 % de las viviendas encuestadas gestionan sus aguas grises en los sistemas de tratamiento de agua residuales.

Se cree que es evidente la falta de conciencia ambiental y de educación en la gestión de las aguas jabonosas o grises, ya que, las personas encuestadas no realizan conexiones de tuberías para transportar este tipo de agua residual a sus sistemas de tratamiento, irrespetando la normativa nacional sobre el tratamiento de las aguas residuales, ignorando por completo la obligación de disponer este tipo de agua residual en el sistema de tratamiento de agua individual (Poder Ejecutivo, 2020).

5.1.7. Educación sobre la gestión de las aguas residuales

Es de suma importancia identificar el porcentaje de la población en la zona de estudio que tiene conocimientos sobre el tema de la gestión, normativa y la disposición final de las aguas residuales, en la Figura 5.7. se señalan los resultados de lo planteado anteriormente.

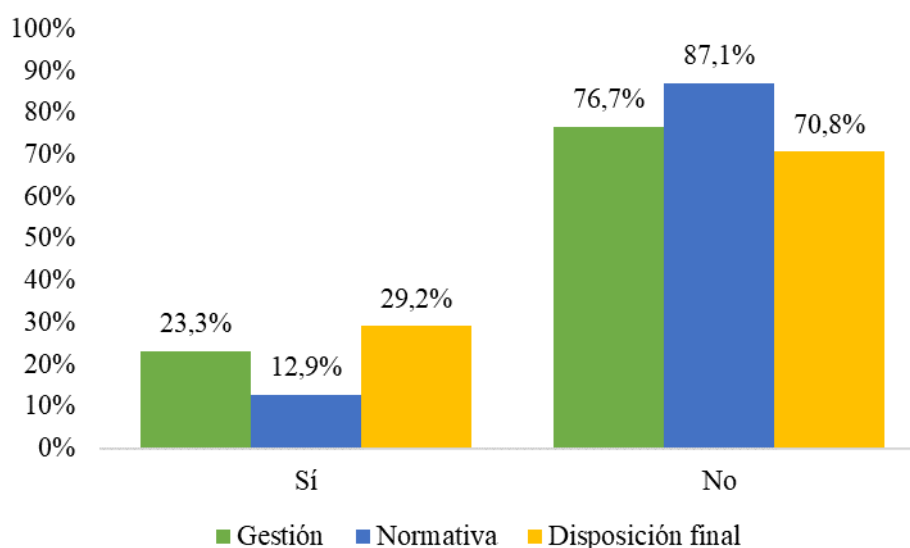


Figura 5.7. Nivel de conocimiento del encuestado sobre la gestión, la normativa y la disposición final de las aguas residuales

En cuanto al porcentaje de personas que conocen el tema de la gestión o saneamiento de las aguas residuales, el 23,3 % de los encuestados conocen los conceptos que implican, sin embargo, la mayoría desconoce el tema de la gestión del agua residual y su importancia.

Dentro de este orden de ideas, el 12,9 % de los encuestados conocen la normativa nacional en la gestión de las aguas residuales, pero el 87,1 % desconocen la existencia de las normativas nacionales que regulan el manejo de las aguas residuales, por lo tanto, muchas personas ignoran los criterios de diseño en los sistemas de tratamiento presentes en la normativa. También implica el desconocimiento de la concentración máxima de cada uno de los parámetros químicos, físicos y biológicos para el vertimiento de aguas residuales en el ambiente.

Por otro lado, solamente el 29,2 % tiene conocimientos del tratamiento previo que se debe realizar a las aguas residuales antes de su disposición final en el ambiente y el 70,8 % no tienen conocimientos sobre lo mencionado anteriormente. Se puede evidenciar con el alto porcentaje de usuarios que no realizan la gestión adecuada de las aguas grises, las cuales en su mayoría se vierten en el ambiente, como se evidenció en el apartado anterior.

La PNSAR (2016) menciona que la participación ciudadana es un factor importante para el saneamiento de las aguas residuales y una de las formas para lograrlo es por medio de la implementación de acciones de divulgación y comunicación masiva. Este objetivo no se ve reflejado en los resultados de la encuesta, por lo tanto, es indispensable que las instituciones del distrito de Paraíso tomen acciones para concientizar a los ciudadanos.

5.1.8. Percepción de los ciudadanos sobre la contaminación

La gestión comunitaria del agua se caracteriza por tomar en cuenta las opiniones de los ciudadanos y por ello, es de suma importancia determinar la percepción de los habitantes de la zona de estudio, sobre los diferentes aspectos perceptibles que pueden indicar indicios de contaminación en las quebradas y cunetas cercanas a sus viviendas (ver Figura 5.8.).

Alrededor del 25,0 % de los encuestados opina que tanto las quebradas como las cunetas que se encuentran cercanas a sus viviendas no presentan aspectos de contaminación, por otra parte, aproximadamente el 75,0 % de los encuestados han percibido diferentes aspectos que indican un estado de contaminación de los cuerpos receptores y cunetas. En la Figura 5.8, se detallan los porcentajes de opiniones sobre los aspectos perceptibles de contaminación.

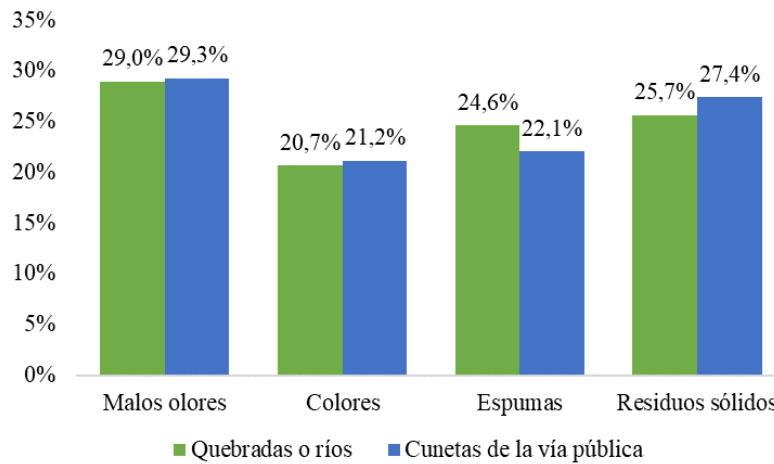


Figura 5.8. Aspectos perceptibles sobre la contaminación de las quebradas y cunetas que atraviesan el cuadrante urbano del distrito de Paraíso

El aspecto de malos olores es percibido por el 29,0 % de los habitantes tanto para las quebradas como para las cunetas de la vía pública. Aproximadamente el 21,0 % de los habitantes perciben olores en las quebradas y cunetas. Este aspecto identificado por la población puede indicar el vertimiento de aguas residuales con tratamientos inadecuados. Se debe considerar que los malos olores pueden incomodar las actividades cotidianas de los ciudadanos y en consecuencia implicaría denuncias ante el Ministerio de Salud.

Las espumas se han percibido en un 24,6 % en las quebradas y un 22,1 % en las cuentas de la vía pública, lo que se puede relacionar con el vertimiento de aguas jabonosas o grises en el ambiente, como se evidenció en las Figuras 5.6 y 5.7. Finalmente, los residuos sólidos representan el 25,7 % y 27,4 % para las quebradas y cunetas respectivamente.

Estos resultados no se deben interpretar como evidencia de la calidad del agua de los cuerpos receptores, simplemente forman parte de la percepción social sobre la contaminación del ambiente en el que habitan, ya que, a pesar de que el 75,0 % de los encuestados consideran haber percibido varios aspectos de contaminación, el 79,7 % de los encuestados considera que actualmente vive en un ambiente saludable, mientras que el 20,3 % no considera que su vivienda, comercio o institución se encuentra en un ambiente saludable, por lo tanto, son respuestas muy subjetivas y dependen de la interpretación del encuestado.

5.1.9. Resultados complementarios

Con el fin de tener una visión clara sobre la situación actual de la infraestructura de los sistemas de saneamiento para posibles proyectos de alcantarillado sanitario y de sistemas de tratamiento de agua residual centralizados, se determinó la posición de los sistemas de tratamiento de agua residual individuales de las viviendas, tal y como se muestra en la Figura 5.9.

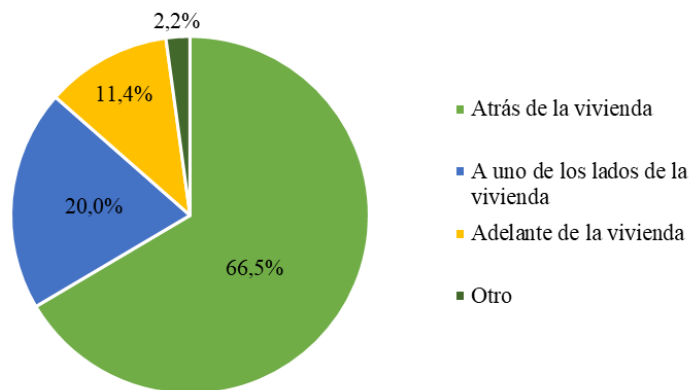


Figura 5.9. Posición del tanque séptico con respecto a la edificación

La mayoría de los tanques sépticos se encuentran atrás de la vivienda, lo que implica una inversión significativa de las familias para la conexión a un alcantarillado sanitario.

Los usuarios que no tienen un sistema de tratamiento de agua residual, el 64,7 % de estas tienen la salida de sus aguas residuales adelante, el 29,4 % atrás y el 5,9 % a los lados de la edificación. Existe la posibilidad de que la mayoría de estos usuarios se conecten al alcantarillado sanitario por la facilidad de conectar los efluentes de sus aguas residuales que se encuentran al frente de la vivienda. Para complementar la información, en la Figura 5.10, se muestran los resultados del nivel de elevación de las viviendas con respecto al suelo.

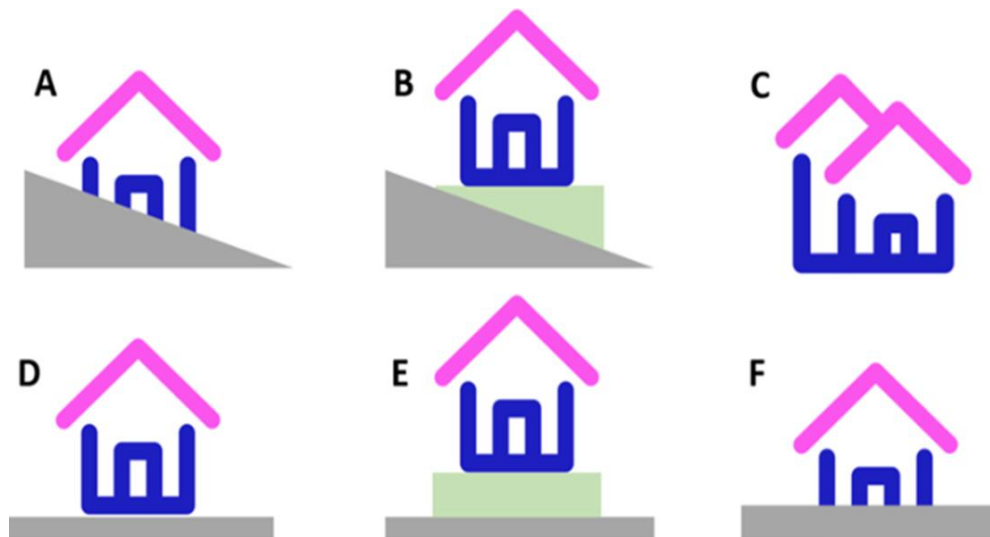


Figura 5.10. Resultados del nivel de elevación de las edificaciones con respecto al suelo en el cuadrante urbano del distrito de Paraíso

Los resultados de la Figura 5.10, se muestran en porcentajes en los siguientes puntos:

- A. Base de la vivienda por debajo del nivel de la calle con pendiente, 10,4 %.
- B. Base de la vivienda por encima del nivel de la calle con pendiente, 22,3 %.
- C. Vivienda detrás de otra vivienda, 2,5 %.
- D. Base de la vivienda al mismo nivel de la calle, 35,6%.
- E. Base de la vivienda en una elevación de terreno por encima del nivel de la calle, 23,3 %.
- F. Base de la vivienda por debajo del nivel de la calle, 5,9 %.

Cabe recordar que para fines de la encuesta la palabra vivienda también se puede referir a comercios e instituciones. Los usuarios que tienen la facilidad de conexión a un alcantarillado sanitario representan el 81,2 % del total de los encuestados, gracias a que sus edificaciones se encuentran en una posición con respecto al nivel de la calle que les favorece (Opciones B, D y E). Mientras que el 18,8 % tienen dificultad de conexión a un alcantarillado sanitario, por lo que representa un porcentaje significativo que debe ser estudiado para su incorporación ante un posible proyecto de dicha magnitud.

5.2. Monitoreo de las quebradas

A partir de los resultados visuales recolectados en la visita de campo, se identificaron los tramos entubados y los tramos libres de las quebradas, tal y como se muestra en la Figura 5.11.

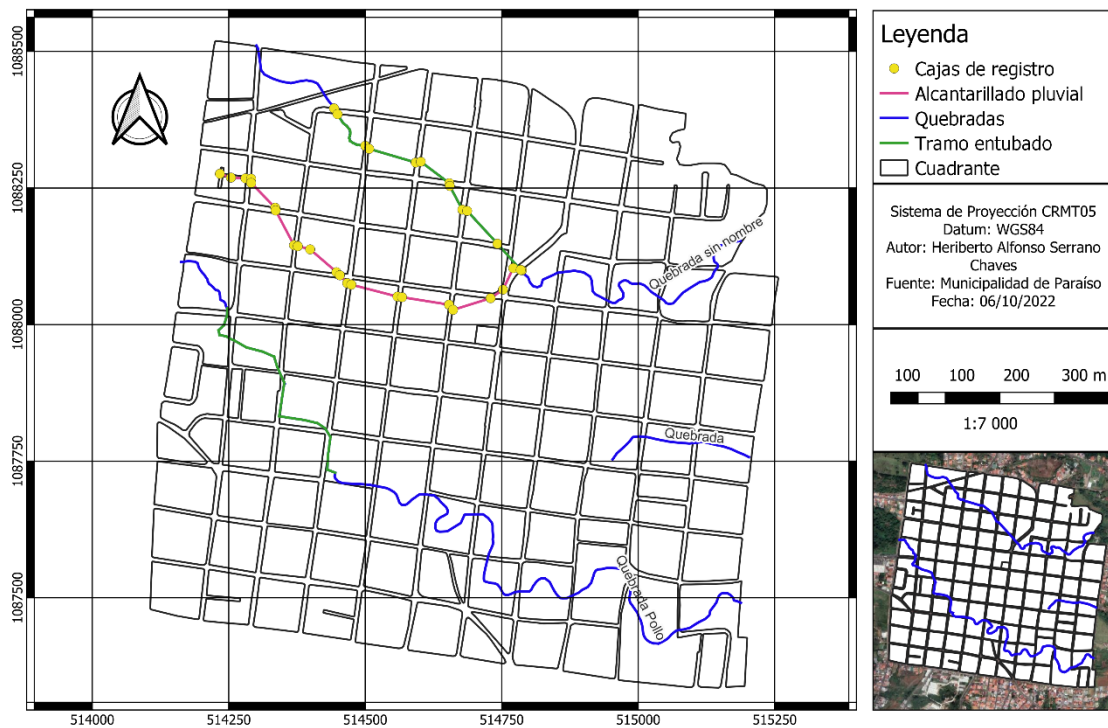


Figura 5.11. Red hidrográfica del cuadrante urbano del distrito Paraíso

Las cajas de registro están identificadas por puntos, los cuales, se unieron para dibujar el tramo entubado de la quebrada sin nombre. Además, el tramo entubado de la quebrada Pollo se complementa con la información satelital y visual de las visitas de campo, ya que por las características del terreno no se identificaron las cajas de registro necesarias para construir el tramo entubado de dicha quebrada. Cabe considerar que no se contempló los tramos entubados por calles, carreteras o puentes. La longitud de cada quebrada se resume en el Cuadro 5.8.

Cuadro 5.8. Longitud de los tramos estudiados de la quebrada sin nombre y Pollo

Quebrada	Longitud (m)	Tramo sin cubierta (m)	Tramo entubado (m)
Sin nombre	1 820,35	1 399,91	420,44
Pollo	1 343,28	885,54	457,74

Se determinó que el porcentaje de los tramos entubados es de 23,1 % en la quebrada sin nombre y de 34,1 % en la quebrada Pollo. Con la información de la longitud libre de la Municipalidad Paraíso se logró completar las capas catastrales de las quebradas en estudio, permitiendo la localización de los puntos críticos para la toma de muestras de agua superficial, tal y como se observó en la Figura 4.5 de la metodología. Igualmente se logra comprender las características de los tramos entubados y la posibilidad de la existencia de descargas ocultas de aguas residuales en las quebradas. Con el fin de determinar el impacto de los habitantes en la zona de estudio se establece el área de protección de las quebradas, tal y como se muestra en la Figura 5.12.

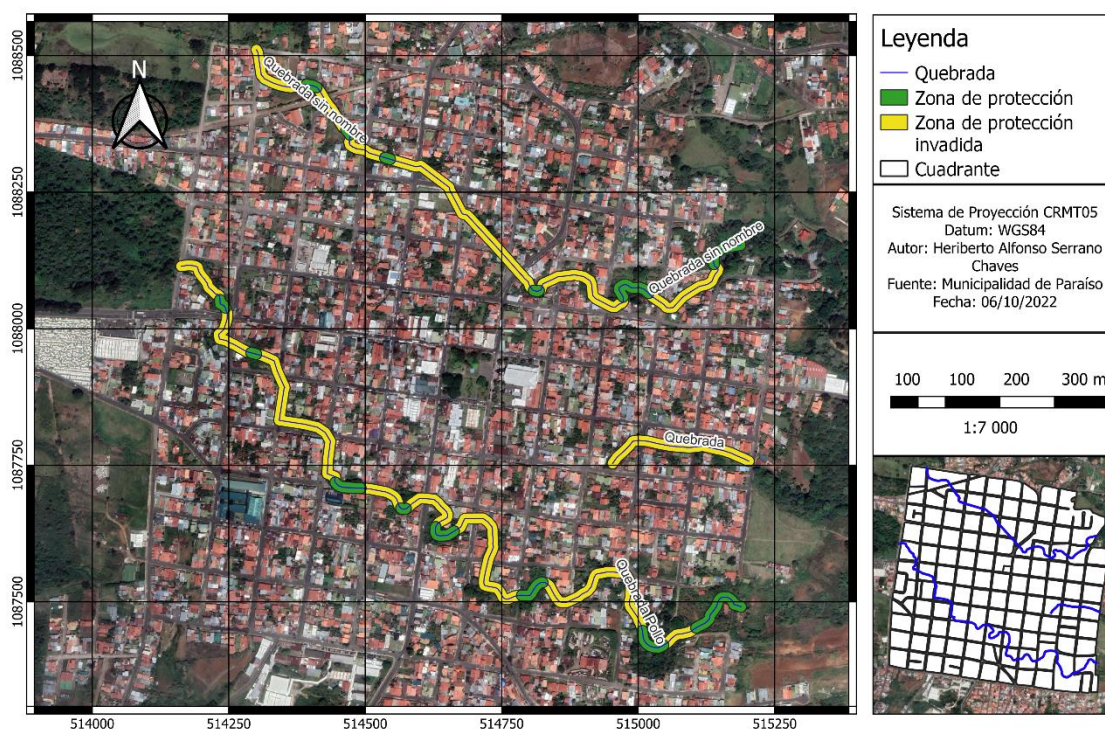


Figura 5.12. Zona de protección de las quebradas del cuadrante urbano del distrito Paraíso

Únicamente 249,43 m de la longitud de la quebrada sin nombre está protegido, lo que equivale al 13,7 % de la zona de protección de la quebrada. En la quebrada Pollo, 368,08 m de longitud respeta los límites de la zona de protección, lo que equivale al 27,4 % de dicha zona. En conjunto son 617,51 m de longitud protegidas, lo que equivale al 19,5 % de la zona de protección en total de las quebradas estudiadas del cuadrante urbano de Paraíso. En resumen, el 80,5 % de la zona de protección total de ambas quebradas esta invadida.

Gracias a las imágenes satelitales y las visitas de campo se comprueba la existencia de edificaciones como viviendas, aceras, muros, comercios, calles, entre otros, dentro de la zona de protección, una clara violación a la Ley Forestal de 1996. Del mismo modo existe la posibilidad que no se cumplan los retiros de los sistemas de tratamiento de agua residual y de drenaje que estipula el “Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas del 2020”.

Tomando las características de las viviendas y comercios que se encuentran dentro de la zona de protección de las quebradas, existe la posibilidad de vertidos de aguas residuales (en los siguientes apartados se exploran los resultados de los indicadores de la calidad del agua superficial). Además, en la época lluviosa aumenta el riesgo de inundaciones y pueden afectar a los ciudadanos que se encuentran dentro de la zona de protección.

5.3. Monitoreo del alcantarillado pluvial

Se identificaron 22 cajas de registro de la red pluvial en estudio, señaladas por puntos, los cuales, se unieron para dibujar el tramo del alcantarillado pluvial (ver Figura 5.11). Se determinó que la longitud total de la red pluvial es de 690,9 m. Se identificaron edificaciones construidas sobre la red pluvial, en varios tramos cuyas longitudes suman aproximadamente 568,4 m lo que equivale al 82,3 % de la longitud total del alcantarillado pluvial.

Se debe considerar que los tramos del alcantarillado pluvial es una aproximación en base a la información vista en campo, ya que, no se logró recolectar datos sobre el diseño, ubicación ni el tipo de material utilizado en su construcción. Asimismo, es posible que se

hayan omitido cajas de registro debido a la invasión de las edificaciones sobre el alcantarillado.

Como se puede observar en la Figura 5.11, el alcantarillado pluvial atraviesa cuadras, lo que implica posiblemente la invasión sobre la infraestructura por parte de los usuarios y en caso de obstáculos que deban atravesarse subterráneamente, tales como cuerpos de agua superficial, construcciones existentes, autopistas, líneas férreas y otros, se deben diseñar las estructuras necesarias para garantizar el paso y la integridad de las tuberías (AyA, 2017). Debido a la falta de información de los criterios de diseño utilizados no es posible determinar si se cumplen las garantías mencionadas.

Dentro de este orden de ideas, se tiene una visión más clara de la influencia de la población sobre el alcantarillado pluvial, lo que facilita ubicar posibles edificaciones con conexiones de aguas residuales en este alcantarillado y en ningún caso se permiten conexiones sanitarias al sistema pluvial y viceversa (AyA, 2017). En los siguientes apartados se exploran los resultados de los indicadores de la calidad del agua del alcantarillado pluvial.

5.4. Resultados del análisis de los indicadores de la calidad del agua superficial

Para tener una visión aún más clara del impacto del saneamiento que realizan los usuarios sobre el ambiente de la zona de estudio, se analizaron los indicadores de la calidad del agua del “Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales, (2007)”.

Se debe considerar que la medición de caudales se realizó en una mañana con poca nubosidad y en el transcurso de 24 horas antes de la toma de muestras no hubo precipitaciones, este dato se confirmó con los funcionarios de la Municipalidad de Paraíso que habitan en el cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso. Los datos de los caudales son de la temporada lluviosa y por lo general, los periodos con alta precipitación pluvial están asociados con el arrastre de sustancias contaminantes provenientes de actividades humanas, así como de las excretas de animales, tanto domésticos como silvestres, que habitan en la zona (Calvo & Mora, 2012). El Cuadro 5.9 muestra los caudales determinados en cada punto de muestreo.

Cuadro 5.9. Caudales en los puntos de muestreo

Punto	Quebrada	Caudal (L/s)
1	Sin nombre	7,46
2	Pollo	46,42
3	Alcantarillado pluvial	0,50
4	Sin nombre	57,76
5	Sin nombre	88,04
6	Pollo	70,00

Con respecto a los caudales de las quebradas se debe considerar que:

- Tomando en cuenta los puntos 1 y 4 de la quebrada sin nombre, hay una diferencia del 87,08 % entre los caudales.
- Tomando en cuenta los puntos 1 y 5 de la quebrada sin nombre, hay una diferencia del 91,5 % entre los caudales.
- Tomando en cuenta los puntos 2 y 6 de la quebrada Pollo, hay una diferencia del 33,7 % entre los caudales.
- Se ha verificado que el caudal de ambas quebradas aumenta considerablemente, en consecuencia, dentro del cauce en estudio existen aportes naturales o antrópicos de agua.
- Se ha verificado que el alcantarillado pluvial cuenta con un caudal de agua 24h después de la última precipitación. Este alcantarillado pluvial vierte sus aguas en la quebrada sin nombre, por esta razón, se concluye que el flujo de agua es un aporte de agua antrópica.

Con respecto a los resultados del análisis de los indicadores de la calidad del agua superficial (Anexo 4 presenta los resultados del CEQIATEC) de las quebradas en estudio, estos serán comparados con los límites permitidos (ver Anexo 2) y las distintas clasificaciones (ver Anexo 3) del “Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales (2007)”.

5.4.1. Resultados de los indicadores de agua de la quebrada sin nombre

Los puntos de la toma de muestras de agua de la quebrada sin nombre corresponden al 1, 4 y 5. En el Cuadro 5.10 se observan los resultados de los indicadores de la calidad del agua superficial identificados según el número de cada punto.

Cuadro 5.10. Resultados de los indicadores de la quebrada sin nombre

Indicador	Punto 1	Punto 4	Punto 5
T (°C)	(20,2 ± 0,2)	(22,6 ± 0,7)	(22,4 ± 0,5)
Turbiedad (UNT)	(26,00 ± 0,52)	(13,34 ± 0,27)	(9,96 ± 0,20)
Color (Pt-Co)	(155 ± 8)	(75 ± 4)	(65 ± 3)
ST (mg/L)	(71,00 ± 0,05)	(259,0 ± 0,1)	(243,0 ± 0,1)
SSed (mg/L)	< 0,1	< 0,1	< 0,1
SS (mg/L)	(15,0 ± 0,9)	(19,0 ± 0,2)	(18,0 ± 0,3)
SD (mg/L)	(56 ± 1)	(240,0 ± 0,2)	(225,0 ± 0,4)
pH	(5,5 ± 0,6)	(6,3 ± 0,3)	(6,0 ± 0,1)
SAAM (mg/L)	< 0,1	(0,40 ± 0,03)	(0,35 ± 0,03)
GyA (mg/L)	< 10	< 10	< 10
DQO (mg/L)	< 10	(54 ± 6)	(42 ± 5)
CF (NMP/100 mL)	920	1600	1600

Utilizando los resultados del Cuadro 5.10, se realiza la clasificación por Clases (ver Anexo 3) para cada punto de la quebrada, según los resultados de los indicadores de la calidad del agua superficial, tal y como se muestra en el Cuadro 5.11.

Cuadro 5.11. Clasificación en clases según los resultados de los indicadores de la quebrada sin nombre

Indicador	Punto 1	Punto 4	Punto 5
T (°C)	1	1	1
Turbiedad (UNT)	Clase 2	Clase 1	Clase 1
Color (Pt-Co)	1	Clase 2	Clase 2
SS (mg/L)	Clase 2	Clase 2	Clase 2
SD (mg/L)	Clase 1	Clase 1	Clase 1
pH	Clase 4	Clase 2	Clase 2
SAAM (mg/L)	1	Clase 3	Clase 3
GyA (mg/L)	ND	ND	ND
DQO (mg/L)	Clase 1	Clase 4	Clase 3
CF (NMP/100 mL)	Clase 2	Clase 3	Clase 3

ND: Los valores se encuentran por debajo del mínimo, se consideran No Detectables

1: Natural o que no afecte el uso indicado

En el Cuadro 5.12 se detallan los resultados de los indicadores de calidad del agua con respecto al Cuadro 5.10 y 5.11.

Cuadro 5.12. Discusión de los resultados de los indicadores de la calidad del agua superficial de la quebrada sin nombre

Indicador	Discusión
Temperatura	<p>El rango de temperatura de la quebrada es de 20,2 – 22,4 °C. No existe un límite mínimo ni máximo en el reglamento, así que, la recomendación es verificar que la temperatura del agua sea la apropiada para las actividades que se establecen en las distintas clases.</p> <p>Se desconoce la fauna y flora de la quebrada, por lo tanto, no se puede concluir que cumple con los criterios para mantener el equilibrio del ecosistema acuático. La importancia de la temperatura radica en que es un factor para determinar el PSO y la relación con el OD del agua superficial (ver Anexo 5).</p>

<p>Turbiedad y color</p>	<p>La turbiedad y el color están relacionados entre sí, ya que interfieren en la transmisión de la luz en las aguas naturales y, por consiguiente, regulan los procesos biológicos que en ellas se realizan (Roldán & Ramírez, 2008). En el caso de la clasificación de la turbiedad, el punto 1 es Clase 2 y los otros dos puntos bajan a la categoría Clase 1, permitiendo el aprovechamiento del agua en más actividades.</p> <p>Lo mismo ocurre con el color, donde el punto 1 tiene una concentración que supera los límites máximos de la clasificación, por tal razón el agua necesita un tratamiento avanzado, mientras que los otros dos puntos, el agua necesita un tratamiento convencional para el consumo humano (ver Anexo 3).</p>
<p>Sólidos</p>	<p>La concentración de SSed no es significativa en el impacto de las actividades que se puedan desarrollar en la quebrada. La concentración de los SS clasifica el agua superficial en la Clase 2. La actividad de la protección del equilibrio de las comunidades acuáticas es la única en la que no se puede utilizar este tipo de agua, ya que, los SS propicia la formación de depósitos y en consecuencia las condiciones anaeróbicas, dificultando la vida de las plantas acuáticas y de los peces.</p> <p>Por el contrario, si solamente tomamos en cuenta la concentración de los SD, el agua superficial se agrupa en la Clase 1. Debido a la baja concentración de SD, se asume que no son los responsables del origen del color del agua de la quebrada sin nombre, dado que, el color del agua es generada por los sólidos disueltos, los cuales son originados en la descomposición natural de la materia orgánica y residuos industriales (Roldán & Ramírez, 2008).</p>
<p>Potencial de hidrógeno</p>	<p>Tomando como base el rango de pH de la clasificación, la quebrada sin nombre se agrupa en las Clases 4 y 5. Ambas clases impiden el uso del agua de la quebrada en la mayoría de las actividades, especialmente en el riego y protección de la vida acuática. Sin embargo, considerando los valores mínimos de la clasificación (ver Anexo 3), los puntos 4 y 5 se agrupan en la Clase 2, ya que, son valores que se encuentran en el rango</p>

	de 4-9 pH en las fuentes de agua naturales, por lo anterior, este parámetro no supone un peligro para los ecosistemas acuáticos de la quebrada sin nombre.
Sustancias activas al azul de metileno	<p>La concentración de SAAM en el punto 1 de la quebrada Pollo, se encuentra por debajo del límite mínimo permitido, por lo tanto, el reglamento lo clasifica como sustancia indetectable, lo que implica la ausencia de detergentes sintéticos en el agua superficial.</p> <p>En los puntos 4 y 5, la concentración de SAAM se encuentran dentro del rango ND – 1 de la Clase 3, por consecuencia, se determina la presencia de sustancias como los detergentes sintéticos, lo que implica la formación de espumas y aporte de nutrientes en el agua superficial de la quebrada.</p>
Grasas y aceites	La concentración de grasas y aceites en todos los puntos de estudio de la quebrada sin nombre, se encuentran por debajo del límite mínimo permitido, por lo tanto, el reglamento lo clasifica como sustancia indetectable, lo que implica la ausencia de estas sustancias en el agua superficial.
Demanda química de oxígeno	En el punto 1 la concentración de DQO lo cataloga en la Clase 1, por lo tanto, no presenta materia orgánica significativa. En los otros dos puntos la concentración de DBO los clasifica en la Clase 4 y 5, por consiguiente, existen altas concentraciones de materia orgánica. Estas características reflejan los aportes de agua residuales en el agua superficial de la quebrada sin nombre, ya que, el punto 1 se encuentra antes de la influencia de las viviendas, mientras que los otros puntos de estudio están dentro del cuadrante urbano.
Coliformes fecales	De acuerdo con las altas concentraciones de CF en los puntos 4 y 5, el agua superficial se clasifica en la Clase 3, por consiguiente, se confirma la descarga de agua con contenido fecal, ya que, se encuentra en el área de influencia de las viviendas, comercios e instituciones del sector urbano en la zona de estudio. El agua de estos puntos de la quebrada no se puede utilizar para ninguna actividad de riego, consumo o recreación, ya que, representa un peligro para la salud pública (ver Anexo 3).

5.4.2. Resultados de los indicadores de agua de la quebrada Pollo

Los puntos de la toma de muestras de la quebrada Pollo corresponden al 2 y 6. En el Cuadro 5.13, se observan los resultados de los indicadores de la calidad del agua superficial identificados por el número de cada punto.

Cuadro 5.13. Resultados de los indicadores de la quebrada Pollo

Indicador	Punto 2	Punto 6
T (°C)	(21,1 ± 0,1)	(21,4 ± 0,5)
Turbiedad (UNT)	(11,35 ± 0,23)	(3,44 ± 0,07)
Color (Pt-Co)	(125 ± 6)	(25 ± 1)
ST (mg/L)	(170,0 ± 0,1)	(186,0 ± 0,2)
SSed (mg/L)	< 0,1	< 0,1
SS (mg/L)	(18,00 ± 0,03)	(15,0 ± 0,6)
SD (mg/L)	(152,0 ± 0,2)	(171,0 ± 0,8)
pH	(5,5 ± 0,6)	(6,5 ± 0,6)
SAAM (mg/L)	< 0,1	(0,30 ± 0,03)
GyA (mg/L)	< 10	(15 ± 1)
DQO (mg/L)	(4,2 ± 0,7)	(20 ± 3)
CF (NMP/100 mL)	70	1600

Utilizando los resultados anteriormente presentados, se realiza la clasificación por Clases (ver Anexo 3) para cada punto de la quebrada, según los resultados de los indicadores de la calidad del agua superficial, tal y como se muestra en el Cuadro 5.14.

Cuadro 5.14. Clasificación en clases según los resultados de los indicadores de la quebrada Pollo

Indicador	Punto 2	Punto 6
T (°C)	1	1
Turbiedad (UNT)	Clase 1	Clase 1
Color (Pt-Co)	1	Clase 2
SS (mg/L)	Clase 2	Clase 2
SD (mg/L)	Clase 1	Clase 1
pH	Clase 1	Clase 4
SAAM (mg/L)	ND	Clase 3
GyA (mg/L)	ND	Clase 5
DQO (mg/L)	Clase 1	Clase 2
CF (NMP/100 mL)	Clase 1	Clase 3

ND: Los valores se encuentran por debajo del mínimo, se consideran No Detectables

1: Natural o que no afecte el uso indicado

En el Cuadro 5.15 se detallan los resultados de los indicadores de calidad del agua con respecto al Cuadro 5.13 y 5.14.

Cuadro 5.15. Discusión de los resultados de los indicadores de la calidad del agua superficial de la quebrada Pollo

Indicador	Discusión
Temperatura	El rango de temperatura de la quebrada es de 21,1 – 21,4 °C, por lo tanto, la temperatura del agua superficial no tiene una variación significativa.
Turbiedad y color	La concentración de la turbiedad clasifica el agua superficial en la Clase 1, no es un parámetro que impacte negativamente en las actividades de riego, consumo humano y en los ecosistemas. Lo mismo ocurre con el color del agua, ya que, se considera como concentración natural, perteneciendo a la Clase 2, lo que implica un límite de uso en la protección de los ecosistemas acuáticos.
Sólidos	La concentración de los SS clasifica el agua superficial en la Clase 2. Por el contrario, si solamente tomamos en cuenta la concentración de los SD, el agua superficial se agrupa en la Clase 1. La concentración de

	<p>SSed no es significativa en el impacto de las actividades que se puedan desarrollar en la quebrada. Este comportamiento es similar a la quebrada sin nombre previamente analizada.</p>
Potencial de hidrógeno	<p>Tomando en base el rango de pH de la clasificación, la quebrada sin nombre se agrupa en las Clases 1 y 4. El valor del pH del agua superficial en el punto 2 no tiene un impacto significativo, sin embargo, el valor del pH en el punto 6 es de suma importancia, ya que, se limita el uso en las actividades como el riego y protección de los ecosistemas (ver Anexo 3).</p>
Sustancias activas al azul de metileno	<p>La concentración de SAAM en el punto 2 de la quebrada Pollo, se encuentra por debajo del límite mínimo permitido, por lo tanto, el reglamento lo clasifica como sustancia indetectable, lo que implica la ausencia de detergentes sintéticos en el agua superficial. En el Punto 3, la concentración de SAAM se encuentra dentro del rango ND – 1 (ver Anexo 3), por lo tanto, se detentan detergentes sintéticos.</p>
Grasas y aceites	<p>La concentración de GyA en el punto 2 de estudio de la quebrada Pollo, se encuentra por debajo del límite mínimo permitido, por lo tanto, el reglamento lo clasifica como sustancia indetectable, lo que implica la ausencia de estas sustancias en el agua superficial. En cambio, en el Punto 6, la concentración de las GyA es aproximadamente 15 mg/L y se encuentra en el rango de la Clase 5, como consecuencia el agua no se puede utilizar en la mayoría de las actividades (ver Anexo 3), del mismo modo, su menor densidad con respecto al agua hace que se acumulen en la superficie e impiden un adecuado intercambio de gases, con ello disminuye el oxígeno en el agua (Rodríguez, 2015). Este comportamiento se ve reflejado en la disminución del oxígeno disuelto del punto 2 (6,7 mg/L) al punto 6 (4,8 mg/L) de la quebrada Pollo que contrasta con el aumento de la concentración de las grasas y aceites en los puntos respectivos, tal y como se observa en la Cuadro 5.13. Finalmente, de acuerdo con los resultados expuestos se asume que existen descargas de grasas y aceites por parte de las personas que habitan en la zona de estudio, puesto que, el punto 6 se encuentra dentro del cuadrante urbano y el porcentaje de trampa de grasas es bajo.</p>

Demanda química de oxígeno	El punto 2 y 6 se clasifican en la Clase 1 y 2 respectivamente. Por lo tanto, se pueden utilizar en la mayoría de las actividades de riego, consumo humano y protección de los ecosistemas lo que implica bajas concentraciones de materia orgánica, ya que, la mayor concentración es de aproximadamente 20 mg/L en el punto 6.
Coliformes fecales	El punto 2 presenta bajas concentraciones de Coliformes fecales, por lo cual, se clasifica en la Clase 1. El punto 6 tiene altas concentraciones de CF, como consecuencia el agua superficial pertenece a la Clase 3, lo que imposibilita el uso en actividades de riego, consumo humano y protección de los ecosistemas acuáticos (ver Anexo 3). Se asume la descarga de agua con contenido fecal en el cuadrante urbano.

5.4.3. Resultados de los indicadores de agua del alcantarillado pluvial

Como se mencionó anteriormente, el alcantarillado pluvial presenta un caudal aproximado a los 0,5 L/s en un día sin precipitaciones, en consecuencia, es un aporte que puede afectar el caudal de diseño recomendados por el AyA (2017), provocando desbordamientos en los días lluviosos. Con el fin de determinar descargas de aguas residuales por parte de los habitantes, se realizó la toma de muestras de agua para analizar la calidad del agua. Para normalizar los resultados, se consideran los indicadores recomendados en el “Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales (2007)” y el Índice Holandés para el alcantarillado pluvial, ya que, el vertido de aguas lluvias se realiza en la quebrada sin nombre de la zona de estudio.

En el Cuadro 5.16 se observan los resultados de los indicadores de la calidad del agua superficial identificados del Punto 3 del alcantarillado pluvial.

Cuadro 5.16. Resultados de los indicadores de la quebrada Pollo

Indicador	Punto 3
T (°C)	(22,2 ± 0,2)
Turbiedad (UNT)	(45,60 ± 0,91)
Color (Pt-Co)	(270 ± 14)
ST (mg/L)	(438,0 ± 0,1)
SSed (mg/L)	< 0,1
SST (mg/L)	(55,0 ± 0,4)
SD (mg/L)	(383,0 ± 0,4)
pH	(6,1 ± 0,1)
OD (mg/L)	(0,5 ± 0,6)
SAAM (mg/L)	(0,30 ± 0,03)
GyA (mg/L)	< 10
DQO (mg/L)	(105 ± 12)
CF (NMP/100 mL)	1600

Utilizando los resultados anteriormente presentados, se realiza la clasificación por Clases (ver Anexo 3) para el punto de muestreo del alcantarillado pluvial, según los resultados de los indicadores de la calidad del agua superficial, tal y como se muestra en el Cuadro 5.17.

Cuadro 5.17. Clasificación en clases según los resultados de los indicadores del alcantarillado pluvial

Indicador	Punto 3
T (°C)	1
Turbiedad (UNT)	Clase 2
Color (Pt-Co)	1
SS (mg/L)	Clase 3
SD (mg/L)	Clase 2
pH	Clase 4
SAAM (mg/L)	Clase 3
GyA (mg/L)	ND
DQO (mg/L)	Clase 5
CF (NMP/100 mL)	Clase 3

ND: No Detectables 1: Natural o que no afecte el uso indicado

En el Cuadro 5.18 se detallan los resultados de los indicadores de calidad del agua con respecto al Cuadro 5.16 y 5.17.

Cuadro 5.18. Discusión de los resultados de los indicadores de la calidad del agua del alcantarillado pluvial

Indicador	Discusión
Temperatura	El rango de temperatura de la quebrada es de 22,2 °C, por lo tanto, la temperatura del agua del alcantarillado pluvial se encuentra dentro del rango de temperatura de la quebrada sin nombre 20,2 – 22,4 °C.
Turbiedad y color	La concentración de la turbiedad clasifica el agua superficial en la Clase 2, no es un parámetro que impacte negativamente en las actividades de riego, consumo humano y en los ecosistemas. Tomando en cuenta la turbiedad aproximada de 9,96 mg/L del Punto 5 (Cuadro 5.10.), se concluye que no impacta significativamente este parámetro en la quebrada sin nombre.
Sólidos	La concentración de los SS y SD clasifica el agua superficial en la Clase 3 y 2. Esta clasificación sugiere que el agua del alcantarillado tiene limitaciones para ser utilizada en el riego de cultivos, en el consumo humano y especialmente en la protección de la fauna y flora acuática. Son indicadores que se deben considerar, ya que, pueden generar un impacto negativo en el agua superficial de la quebrada.
Potencial de hidrógeno	La concentración de pH del alcantarillado es de aproximadamente 6,1, sin embargo, considerando las características del agua en el alcantarillado pluvial, su clasificación es en la Clase 4. Esta Clase limita el uso en la mayoría de las actividades de aprovechamiento del agua (ver Anexo 3).
Sustancias activas al azul de metileno	Se detectó la concentración de sustancias activas al azul de metileno, como consecuencia el agua del alcantarillado se clasifica en la Clase 4, por tal razón, se asume la existencia de descargas de agua con contenido de detergentes sintéticos, relacionado a la ausencia del tratamiento de las aguas grises por parte de los usuarios. Las SAAM facilitan la formación de espumas y aporta nutrientes en la quebrada sin nombre, ya que la descarga de las aguas lluvias se realizan en dicha quebrada.

Grasas y aceites	La concentración de GyA en el punto 3, se encuentra por debajo del límite mínimo permitido, por lo tanto, el reglamento la clasifica como sustancia no detectable, lo que implica la ausencia de estas sustancias en el agua superficial.
Demanda química de oxígeno	La concentración de DQO es de aproximadamente 105 mg/L, por lo tanto, se determina que la presencia de materia orgánica en el alcantarillado pluvial es significativa y la clasificación es Clase 5. Estos resultados evidencian los aportes de agua residuales de las viviendas del cuadrante urbano y como consecuencia no se permite el uso del agua para actividades de consumo y riego, además, representa una amenaza para los ecosistemas de la quebrada sin nombre.
Coliforme fecales	La concentración de los coliformes fecales en agua del alcantarillado se clasifica en la Clase 3, por lo tanto, se determina el aporte de aguas residuales fecales. Esto refleja que las viviendas, comercios e instituciones no realizan un adecuado tratamiento de las aguas residuales, especialmente las aguas negras y que utilizan como cuerpo receptor al alcantarillado pluvial. Dichos microorganismos, son vertidos directamente en la quebrada sin nombre, por lo que se ve reflejado en los resultados de CF de dicha quebrada.

5.5. Resultados del Índice Holandés

El Cuadro 5.19 muestra los resultados de los indicadores fisicoquímicos estudiados para los seis puntos de muestreo en las quebradas y alcantarillado pluvial. El PSO se obtuvo siguiendo la metodología del Anexo 5.

Cuadro 5.19. Resultados de los indicadores fisicoquímicos de la calidad del agua, según la metodología del Índice Holandés

Indicador	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
OD (mg/L)	(3,7 ± 0,8)	(6,7 ± 0,8)	(0,5 ± 0,6)	(3,1 ± 0,1)	(3,8 ± 0,9)	(4,8 ± 0,9)
PSO (%)	46,8	84,8	6,3	39,2	47,9	60,6
DBO (mg/L)	< 3	(18 ± 3)	(64 ± 8)	(24 ± 4)	(21 ± 3)	(7 ± 1)
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	< 0,5	< 0,5	(8,8 ± 0,4)	(3,0 ± 0,4)	(6,7 ± 0,4)	(2,0 ± 0,4)

La concentración de DBO y nitrógeno amoniacal del alcantarillado pluvial del punto 3 son superiores a los de las quebradas, ya que, no cuenta con un flujo de agua natural continua y en los días sin precipitaciones los únicos aportes de agua que se pueden identificar son por parte de los habitantes de la zona de estudio. Asimismo, en el alcantarillado la concentración de OD es menor, ya que, al presentar mayor carga orgánica y de nitrógeno amoniacal el oxígeno disminuye por el proceso de oxidación de los microorganismos.

Los puntos 1 y 2 se encuentran antes de la influencia de los habitantes, la variación en la concentración de nitrógeno amoniacal indica fuentes de contaminación en el agua superficial de las quebradas. Aunque el nitrógeno amoniacal se encuentra normalmente en aguas superficiales y subterráneas, cambios en los niveles de concentración conllevan sospechas de contaminación antropogénica (Calvo & Mora, 2012), como fertilizantes y materia orgánica.

Los indicadores de porcentaje de saturación de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno amoniacal se utilizan para la clasificación de la calidad del agua superficial, acorde con los criterios del Índice Holandés, tal y como se muestra en el Cuadro 5.20.

Cuadro 5.20. Clasificación de la calidad del agua, según la metodología del Índice Holandés

Punto	Nombre	Clase	Interpretación de calidad
1	Quebrada sin nombre	3	Contaminación moderada
2	Quebrada Pollo	3	Contaminación moderada
3	Alcantarillado Pluvial	5	Contaminación muy severa
4	Quebrada sin nombre	5	Contaminación muy severa
5	Quebrada sin nombre	5	Contaminación muy severa
6	Quebrada Pollo	3	Contaminación moderada

El punto 1 de la quebrada sin nombre clasifica el agua superficial en la Clase 3 y cumple con las condiciones de contaminación moderada. Los puntos 4 y 5 de dicha quebrada se clasifican en la Clase 5 y cumple con el criterio de contaminación muy severa. Estos puntos se encuentran dentro del cuadrante urbano del distrito, por lo tanto, tiene influencia de los usuarios, según la clasificación del Índice Holandés se determina que existen vertimientos de aguas residuales en la quebrada.

El alcantarillado pluvial se clasifica en la Clase 5 y se interpreta con contaminación muy severa. Estos datos demuestran el vertimiento de aguas residuales e implica la mezcla de este tipo de agua con las pluviales en la temporada lluviosa. Además, las aguas del alcantarillado pluvial confluyen con la quebrada sin nombre, lo que representa un punto de vertido de aguas contaminadas que afectan el ecosistema acuático, incumpliendo con Ley General de Salud (1974).

Los dos puntos analizados de la quebrada Pollo presentan contaminación moderada, por tal razón, la clasificación es igual tanto para el punto sin influencia de los habitantes como para el punto que se encuentra dentro del cuadrante urbano.

El agua superficial de los cuerpos receptores estudiados no se puede utilizar en actividades como el riego de cultivos, en el consumo humano, protección de los ecosistemas, entre otros (ver Anexo 3).

5.6. Evaluación del saneamiento de las aguas residuales

Los apéndices 3 y 4 muestran a detalle las opciones aceptables (1) y no aceptables (0) para la adaptación del “Método Sencillo de Estandarización”, empleado para determinar el nivel de gestión según la sumatoria de los valores de los criterios empleados de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. El Cuadro 5.21 detalla los resultados de los indicadores, para establecer la evaluación del saneamiento de la gestión de aguas residuales del cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso.

Cuadro 5.21. Resultados de los indicadores para la evaluación del saneamiento de las aguas residuales

Objetivo	Indicador	Resultado (%)	Valor
Sistemas de tratamiento de aguas residuales	Nivel de gestión "Adecuada"	36,6	3
Disposición final de las aguas residuales	Nivel de gestión "Adecuada"	3,5	1
Zona de protección total de las quebradas estudiadas	Zona de protección sin invasión de edificaciones	19,5	2
Índice Holandés	Puntos dentro del cuadrante urbano con la clasificación "Sin contaminación" o "Contaminación incipiente"	0	1

La sumatoria total de los valores de los indicadores es igual a 7, dando como resultado la evaluación general del saneamiento como “Mala” (véase Cuadro 4.9.). Esta evaluación se argumenta con los bajos porcentajes obtenidos de los indicadores del análisis multicriterio, a partir de los resultados directos de los análisis de datos realizados en la encuesta, monitoreo de las quebradas y de la calidad del agua superficial, de los puntos

influenciados por las actividades cotidianas de los usuarios del cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso.

Una evaluación “Mala” del saneamiento implica que los usuarios no ponen en práctica criterios para una adecuada gestión del agua residual. Lo que conlleva a utilizar sistemas de tratamiento que no cumplen con los criterios de diseño de la norma, baja remoción de materia orgánica y microorganismos fecales, impactando los ecosistemas acuáticos, tal y como se demostró con los resultados de los indicadores de calidad de agua del Índice Holandés y los complementarios del Reglamento Para La Evaluación y Clasificación de La Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (2007).

Es importante señalar la problemática en la falta de fiscalización debido al escaso recurso humano del Ministerio de Salud y la Municipalidad de Paraíso, ya que en la actualidad no es suficiente para abarcar todo el cantón. Como consecuencia en la etapa de construcción de las edificaciones, que al momento de presentar planos y tramitar permisos ante las instituciones presentan diseños que cumplen con la normativa para tratamiento de aguas residuales, sin embargo, en la etapa constructiva no respetan esos diseños (J. Varela y V. Carvajal entrevista, 18 de noviembre del 2022).

Finalmente, las soluciones individuales de la zona de estudio para la disposición de las aguas residuales técnica y ambientalmente no son adecuadas, y según lo estipulado en el Decreto Ejecutivo N.º 32133 (2004), se requiere de un plan maestro de alcantarillado sanitario y de un sistema de tratamiento de agua residual comunitario para solucionar dicho problema.

6. CONCLUSIONES

- El 79,2 % de los usuarios desconocen el volumen de agua potable que consumen mensualmente en sus viviendas, comercios o instituciones, por lo que no existe la cultura de verificar el valor de la cantidad de agua que se consume.
- El 91,6 % de los usuarios tienen un sistema de tratamiento de aguas residuales. El 8,4 % de los usuarios no tienen ningún sistema de tratamiento de aguas residuales, representando una amenaza para la salud pública y del ambiente.
- El 66,8 % de los usuarios que cuentan con un fregadero, utilizan un colador para retener los residuos sólidos y estos son gestionados en los basureros, compost y como alimento para animales.
- El tanque séptico es el sistema de tratamiento individual más utilizado en el cuadrante urbano del distrito primero de Paraíso, representado el 91,6 %.
- Los usuarios que cuentan con un tanque séptico, el 68,0 % tienen algún sistema de tratamiento secundario y/o terciario, siendo el sistema de drenaje el más utilizado.
- Únicamente el 30,3 % de los tanques sépticos cumplen con la relación 1:3 ancho: longitud, por lo tanto, en la mayoría de estos sistemas individuales no se garantiza la adecuada sedimentación de materia orgánica.
- Los usuarios que cuentan con un sistema de tratamiento, el 76,6 % disponen sus aguas residuales tratadas en un drenaje, y el resto de los usuarios vierten este tipo de aguas en las quebradas, cunetas de la vía pública y zonas verdes.
- Los usuarios que no cuentan con un sistema de tratamiento, el 11,1 % vierten sus aguas residuales en un sistema de drenaje y el porcentaje restante en las cunetas de la vía pública y en las quebradas.
- El 15,1 % de los usuarios gestionan sus aguas grises en los sistemas de tratamiento individual, por lo tanto, no existe la cultura de realizar el tratamiento previo antes de disponer este tipo de agua residuales en los cuerpos receptores.
- Se debe mejorar la educación sobre la gestión y legislación nacional de las aguas residuales, ya que, los usuarios desconocen las implicaciones e importancia de estos temas en la protección de la salud de las personas y del ambiente.

- El 75,0 % de los usuarios manifestaron que se percibe contaminación en las quebradas y cunetas debido a la presencia de espumas, residuos sólidos y malos olores.
- La zona de protección de las quebradas ha sido invadida en un 80,5 % por la comunidad en la zona de estudio, lo cual genera la descarga de contaminantes sólidos y líquidos afectando las fuentes receptoras y generando riesgo de inundaciones en época de lluvia.
- La concentración de grasas y aceites, demanda química de oxígeno y coliformes fecales en las aguas superficiales son las más significativas, según los parámetros máximos del “Reglamento Para La Evaluación y Clasificación de La Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales”, afectando la calidad del agua de los cuerpos receptores.
- El análisis de agua del alcantarillado pluvial arroja altas concentraciones de sustancias activas al azul de metileno, demanda química de oxígeno y coliformes fecales, lo que implica descargas de aguas residuales a esta red.
- El punto estudiado que se encuentra fuera del cuadrante urbano de la quebrada sin nombre clasifica el agua superficial como contaminación moderada, según los criterios del Índice Holandés.
- Los puntos estudiados de la quebrada Pollo clasifican el agua superficial como contaminación moderada, según los criterios del Índice Holandés.
- Los puntos de la quebrada sin nombre y del alcantarillado pluvial que se encuentran dentro del cuadrante urbano se clasifican según el Índice Holandés como contaminación muy severa.
- Los resultados del Índice Holandés evidencian que la calidad del agua superficial de las quebradas es afectada por las actividades de los usuarios dentro del área de estudio, principalmente por el vertido de aguas residuales con tratamiento inadecuado.
- De acuerdo con la clasificación del “Reglamento Para La Evaluación y Clasificación de La Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales”, el agua superficial de las quebradas y alcantarillado pluvial del cuadrante urbano, no se puede utilizar en las actividades como: abastecimiento de agua para uso y consumo humano, abastecimiento de agua para abrevadero y actividades

pecuarias, actividades recreativas de contacto primario, fuente para la protección de las comunidades acuáticas, entre otras.

- El resultado de la evaluación multicriterio del saneamiento de la gestión de aguas residuales la clasifica como “Mala”. Este resultado refleja que la gestión del agua residual que se realiza en el cuadrante urbano del distrito de Paraíso es inadecuada, ya que, los sistemas de tratamiento no operan correctamente por los diseños ineficientes utilizados en su construcción, la poca protección que se le brinda a las quebradas y la falta de educación de los usuarios sobre el manejo de las aguas residuales. En conclusión, es urgente que se realicen los estudios pertinentes para tener un plan maestro de alcantarillado sanitario y un plan maestro para el drenaje urbano.
- Se debe considerar que la mayoría de los tanques sépticos se encuentran atrás de la vivienda, lo que implica una inversión significativa de las familias para la conexión a un alcantarillado.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar una campaña de recuperación de residuos sólidos principalmente en las quebradas que atraviesan el cuadrante urbano del distrito de Paraíso.
- Fomentar la conciencia ambiental de los desarrolladores y constructores en los procesos constructivos, para que respeten los diseños de los sistemas de tratamiento de aguas residuales presentados y aprobados por la Municipalidad de Paraíso.
- Fomentar la instalación de dispositivos de bajo consumo de agua en los hogares, comercios e instituciones.
- Concientizar a los usuarios sobre la importancia de tratar las aguas grises en sus sistemas de tratamiento de agua residual y el impacto que estas tienen sobre el ambiente.
- Realizar un proyecto en conjunto con el Ministerio de Salud para la educación a los usuarios, que aborde como mínimo los temas básicos del saneamiento enfocados en la gestión integral del agua.
- Realizar estudios de infiltración en el suelo para determinar la factibilidad de los sistemas de drenaje y de infiltración.
- Replicar la metodología de los análisis de indicadores de la calidad del agua superficial (Índice Holandés) en la temporada seca, con el objetivo de comparar los resultados y tener una mejor visión del comportamiento de la calidad del agua superficial.
- Buscar financiamiento para el desarrollo de un proyecto de alcantarillado sanitario, conectado a un sistema de tratamiento de agua residual comunitario, que cumpla con los factores sociales, económicos, culturales y ambientales de la zona.
- A partir de los resultados de este estudio se recomienda iniciar acciones para disponer de un Plan Maestro de Alcantarillado Sanitario mediante el cual se realicen los estudios de campo (topográfico y de suelos) para el diseño de las redes del alcantarillado sanitario, establecer el sistema y localización del sistema de tratamiento y se diseñe la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Dadas las condiciones del drenaje urbano es urgente igualmente disponer de un Plan Maestro de Alcantarillado Pluvial.

8. REFERENCIAS

- Agüi, V., Alias, E., Arturo, J., Arroyo, Á., Benito, M., Casanova, M., Lastra, A., Contreras, C., Cuesta, L., González, P., & Gutiérrez, A. (2020). *Normas para Redes de Saneamiento*. Canal de Isabel II.
- Ahmad, T., Ahmad, K., & Alam, M. (2016). Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. *Journal of Cleaner Production*, 124(41), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.073>
- Ansari, A. A., & Gill, S. S. (2014). *Eutrophication: Causes, Consequences and Control*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7814-6>
- Asamblea Legislativa. (1974). Ley General de Salud, No. 5395.
- Asamblea Legislativa. (1996). Ley Forestal, No. 7575
- Asamblea Legislativa. (1998). Ley Código Municipal, No. 7794
- AyA. (2017). *Norma técnica para Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*. Acueductos y Alcantarillados. <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Norma%20diseño%20y%20construcción%20sistemas%20agua,%20saneamiento%20y%20pluvial.pdf>
- AyA, MS, & MINAE. (2016). *Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045* (1st ed.). AyA-MINAE-MS.
- Briceño, N. (2016). *Fundamentos para el manejo de aguas residuales*. Acueductos y Alcantarillados.
- Calvo, G. (2018). *Índice e indicadores sobre la calidad del agua* (1st ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Calvo, G., & Mora, J. (2012). Análisis de la calidad de varios cuerpos de agua superficiales en el GAM y la Península de Osa utilizando el Índice Holandés. *Revista Tecnología En Marcha*, 25(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.18845/tm.v25i5.471>
- Calvo, G., & Mora, J. (2012). Contaminación fecal en varios ríos de la Gran Área Metropolitana y la Península de Osa. *Revista Tecnología En Marcha*, 25(4), 33–39. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i4.617>
- Campos, J. (1999). *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo* (1st ed.). Projeto PROSAB.
- CFIA. (2017). *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones* (Edición 2017). Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.
- Cheng, S., Li, Z., Nazim, S., Mang, H., Zhou, X., Zhang, J., Zheng, L., & Zhang, L. (2018). Toilet revolution in China. *Journal of Environmental Management*, 216, 347–356. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.043>
- Cubillo, M., & Gómez, W. (2017). Biojardineras como alternativas para el tratamiento de aguas residuales: experiencia en cinco biojardineras en las comunidades de Barra

- Honda y La Vigía de Nicoya, Guanacaste. *Revista Universidad En Diálogo*, 7(1), 69–87. <https://doi.org/https://doi.org/10.15359/udre.7-1.4>
- Desye, B. (2021). COVID-19 Pandemic and Water, Sanitation, and Hygiene: Impacts, Challenges, and Mitigation Strategies. *Environmental Health Insights*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/11786302211029447>
- Duque, N., Bach, P., Scholten, L., Fappiano, F., & Maurer, M. (2022). A Simplified Sanitary Sewer System Generator for Exploratory Modelling at City-Scale. *Water Research*, 209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117903>
- Eaton, A., Clesceri, L., Rice, E., & Greenberg, A. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (21st ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Freeman, M., Garn, J., Sclar, G., Boisson, S., Medlicott, K., Alexander, K., Penakalapati, G., Anderson, D., Mahtani, A., Grimes, J., Rehfuess, E., & Clasen, T. (2017). The impact of sanitation on infectious disease and nutritional status: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(6), 928–949. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.05.007>
- Gaviria, L., Pino, M., & Soto, S. (2016). *Evaluación del saneamiento ambiental sostenible en las zonas atendidas por ASADAs en el cantón de Paraíso*. CIPA. https://kimuk.conare.ac.cr/Record/RTEC_0b5604ddb31c1356ab6ffa387aef8dfa
- González, L. (2013). Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. *Revista Mente & Materia*, 4. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/view/334>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). McGraw-Hill.
- IMN. (2008). *El clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. Comité Regional de Recursos Hidráulicos. http://users.clas.ufl.edu/prwaylen/geo3280articles/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf
- INDER. (s.f.). *Caracterización del Territorio Paraíso-Alvarado*. Instituto de Desarrollo Rural. <https://www.inder.go.cr/istaru/Caracterizacion-Territorio-Paraiso-Alvarado.pdf>
- INDER. (2016). *Plan De Desarrollo Rural Territorial: Territorio Paraíso-Alvarado 2016-2021*. Instituto de Desarrollo Rural. <https://www.inder.go.cr/istaru/PDRT-Paraiso-Alvarado.pdf>
- INEC. (2021). Encuesta Nacional de Hogares (ENAH): Características De Las Viviendas Y Acceso A Servicios Según Zona Y Región De Planificación. In *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. <https://www.inec.cr/documento/enaho-2021-caracteristicas-de-las-viviendas-y-acceso-servicios-segun-zona-y-region-de>
- Jaramillo, J. (2021). Desarrollo de nueva configuración sistema híbrido tanque séptico-filtro anaerobio para el tratamiento in situ de aguas residuales doméstica [Tesis de

- maestría, Universidad Tecnológica de Pereira]. In *Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica de Pereira*. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/11059/13645>
- Jouravlev, A. (2004). Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. *CEPAL*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/11362/6440>
- Kusum, S. A., Pour-Ghaz, M., & Ducoste, J. J. (2020). Reducing fat, oil, and grease (FOG) deposits formation and adhesion on sewer collection system structures through the use of fly ash replaced cement-based materials. *Water Research*, 186, 116304. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116304>
- Larriva, J., Torres, J., & Tosi, D. (2019). Diseño y elaboración de un prototipo para trampa de grasa, aplicable al sector comercial de la ciudad de Cuenca [Trabajo de graduación, Universidad del Azuay]. <https://doi.org/http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9570>
- León, R. (2017). *Inventario de plantas recomendadas para fitorremediación de coliformes fecales en aguas negras* [Tesis, Universidad de Guayaquil]. <https://doi.org/http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17560>
- Lin, S. (2007). *Water and Wastewater Calculations Manual* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- MIDEPLAN. (2018). *Costa Rica. Agua y Saneamiento 2030, análisis relacionado con los ODS*. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. <https://documentos.mideplan.go.cr/share/s/yLO3YMDuRE6oaK5f0jmf4g>
- Municipalidad de la Unión (2018). Reglamento para la autorización de desfogues de aguas pluviales.
- Municipalidad de Paraíso. (2012). *Plan Regulador del Cantón de Paraíso*. Plan Regulador del Cantón de Paraíso.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- Ndikumana, L., & Pickbourn, L. (2017). The Impact of Foreign Aid Allocation on Access to Social Services in sub-Saharan Africa: The Case of Water and Sanitation. *World Development*, 90, 104–114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.09.001>
- Pacheco, J., & Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES). <https://doi.org/https://doi.org/978-92-1-323231-6>
- Pardinas, F. (2005). *Metodología y técnicas de investigación en ciencias sociales* (38th ed.). Siglo XXI.
- Poder Ejecutivo. (2004). Declara de interés público y necesidad social el diseño, financiamiento, ejecución, operación y mantenimiento de obras para la recolección, tratamiento y disposición final de aguas residuales, generados en centros urbanos, No. 32133.

- Poder Ejecutivo. (2007). Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, No. 33601.
- Poder Ejecutivo. (2007). Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, No. 33903-MINAE-S.
- Poder Ejecutivo. (2015). Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos, No. 39316- S.
- Poder Ejecutivo. (2020). Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas, No. 42075- S- MINAE.
- Prieto, A., & Velasquez, V. (2018). *Diseño, construcción y evaluación de un reactor de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) a nivel de laboratorio para el tratamiento de agua residual Doméstica* [Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6086>
- Rodríguez, D., Serrano, H., Delgado, A., Nolasco, D., & Saltiel, G. (2020). De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe. In *World Bank*. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/33436>
- Rodríguez, J. (2015). *Manual de muestreo de aguas* (1st ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (2nd ed.). Editorial Universidad de Antioquia.
- Rosales, E. (2014). *Tanques sépticos conceptos teóricos base y aplicaciones* (1st ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Rosales, F., Rovira, D., & Campos, R. (2019). Calidad de las aguas residuales de tipo especial en la ciudad La Libertad. *Revista Tecnología En Marcha*, 32(3). <https://doi.org/http://10.18845/tm.v32i3.4504>
- Sánchez, E., Nikolaeva, S., & Travieso, L. (2015). *Tratamiento de Residuales: Fundamentos y Aplicaciones para Latinoamérica* (1st ed.). Editorial Universidad Nacional.
- Sánchez, V., Valdés, J., Coto, J., Solís, E., Fernández, J., & Mendelewicz, M. (2008). *Química analítica experimental* (1st ed.). Editorial Universidad Nacional.
- Singh, R. P., Kun, W., & Fu, D. (2019). Designing process and operational effect of modified septic tank for the pre-treatment of rural domestic sewage. *Journal of Environmental Management*, 251. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109552>
- Soto, L. (2019). *Análisis del nivel de contaminación en la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí* [Proyecto Final de Graduación, Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10702>

- Soto, S., Gaviria, L., & Pino, M. (2019). Estudio De Caso: Disposición De Las Aguas Residuales Domésticas En Zonas Rurales De Costa Rica. *Ambiente & Sociedad*, 22. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20170156r2vu2019L2AO>
- Sperling, M. (2007). *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal* (1st ed., Vol. 1). IWA Publishing.
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento* (2nd ed.). Banco Interamericano de Desarrollo y Hábitat para la Humanidad.
- Venkatesh, C., Rao, D., & Kalamdhad, A. (2022). Combined treatment of high-strength fresh leachate from municipal solid waste landfill using coagulation-flocculation and fixed bed upflow anaerobic filter. *Journal of Water Process Engineering*, 46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102554>
- Villón, M. (2004). *Hidrología* (1st ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Water Environment Federation. (2011). *Sanitary Sewers*. <https://www.wef.org/globalassets/assets-wef/3---resources/topics/a-n/collection-systems/technical-resources/ss-fact-sheet-with-wider-margins-1.pdf>
- Withers, P., Jordan, P., May, L., Jarvie, H., & Deal, N. (2014). Do septic tank systems pose a hidden threat to water quality? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(2), 123–130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/130131>
- Yeob, S., Won, J., Hyung, J., Ho, Y., & Kyu, S. (2022). Potential organic matter management for industrial wastewater guidelines using advanced dissolved organic matter characterization tools. *Journal of Water Process Engineering*, 46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102604>
- Zúñiga, J. (2020). *Diseño de un campo de drenaje de agua residual ordinaria con enfoque en remediación, más allá de su disposición en el subsuelo urbano* [Proyecto final de graduación, Tecnológico de Costa Rica]. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11449/TFG_Jordan_Zúñiga.pdf?sequence=1&isAllowed=y

9. APÉNDICE

Apéndice 1. Encuesta

24/9/22, 20:04

Saneamiento de las aguas residuales del distrito de Paraíso

Saneamiento de las aguas residuales del distrito de Paraíso

-La siguiente encuesta pretende recolectar información sobre el saneamiento de las aguas residuales de las viviendas que se encuentran dentro del cuadrante urbano del distrito de Paraíso.

-Los datos serán utilizados de forma anónima en el proyecto llamado "Evaluación de la gestión del sistema de saneamiento de las aguas residuales en la zona urbana distrito primero, cantón Paraíso", el cual es un trabajo final de graduación para la Licenciatura en Ingeniería Ambiental en el Tecnológico de Costa Rica y se trabaja en conjunto con la Municipalidad de Paraíso, que pretende beneficiar a la comunidad social, económica y ambientalmente.

-Solo se acepta una respuesta por vivienda.

-Para mayor información consultar el siguiente enlace: <https://www.facebook.com/photo/?fbid=349304057317011&set=pb.100067122579740.-2207520000..>

* Obligatoria

Datos del entrevistado y de la vivienda

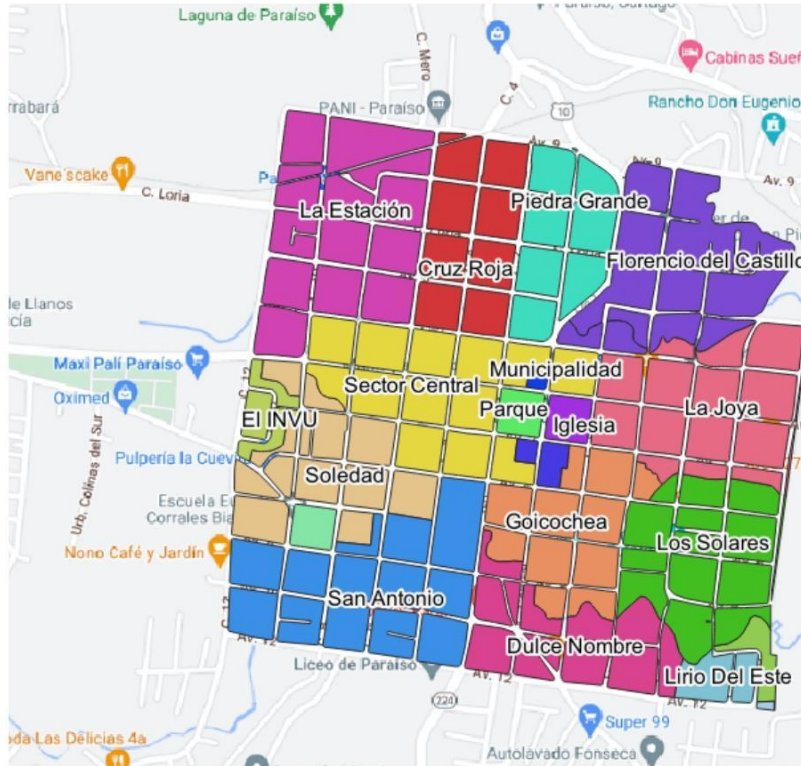
1

¿Cuál es su nombre y apellidos? *

2

¿Su vivienda se encuentra en alguno de los barrios que se muestran en el mapa? Los barrios que se van a estudiar se identifican con el nombre y colores.

*



Sí

No

3

Número de habitantes de la vivienda *

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7 o más

4

Antigüedad en años de la vivienda *

5

¿La vivienda cuenta con medidor de agua? *

- Sí
- No

6

¿Cuál es el consumo mensual de agua de la vivienda? **Nota:** no se refiere a la cantidad de dinero que paga, sino a la cantidad de agua en metros cúbicos (m^3) que consume al mes, **el dato se encuentra en la factura.** *

- 10 m^3 o menos
- Entre 11 m^3 a 15 m^3
- Entre 16 m^3 a 20 m^3
- Entre 21 m^3 a 25 m^3
- 26 m^3 o más
- Desconozco

7

Seleccione los dispositivos de consumo de agua que se encuentran en su vivienda *

- Inodoro/sanitario
- Ducha
- Lavamanos
- Fregadero
- Pila
- Tina de baño
- Mingitorio u orinal
- Lavadora y/o secadora de ropa

8

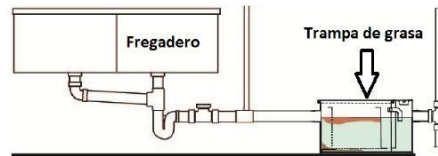
¿El inodoro/sanitario de su vivienda es de bajo consumo de agua o tiene 2 botones para la doble descarga? *

- Sí
- No
- Desconozco

Trampa de grasas

9

¿La vivienda cuenta con una trampa de grasas después de su fregadero o pila? *



- Sí
- No

Trampa de grasa

10

¿En cuál lugar coloca los residuos de la trampa de grasas? *

- Basurero
- Cunetas de la vía pública
- Quebrada o río
- En alguna zona verde
- Entregados a una empresa para su tratamiento
- Otro

Colador

11

¿El fregadero cuenta con un colador? *



- Sí
- No

Colador

12

¿En cuál lugar coloca los residuos del colador? *

- Basurero
- Compostaje o abono orgánico
- Alimento para animales
- Cunetas de la vía pública
- Quebrada o río
- En alguna zona verde
- Otro

Tratamiento de aguas residuales



El agua residual es generada por las actividades domésticas del humano como en los baños, inodoros y en el lavado de ropa, platos, alimentos, etc.

13

¿Cuál es el medio de tratamiento de agua residual de su vivienda? *

- Tanque séptico
- Otro sistema de tratamiento de aguas residuales
- No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales

Tanque séptico

14

Seleccione si su vivienda cuenta con **otros** sistemas de tratamiento de aguas residuales que **complementa al tanque séptico** *

- Solo tengo tanque séptico
- Drenaje
- Biojardinera
- Filtro anaerobio
- Otro

15

Seleccione el tipo de construcción de su **tanque séptico** *

- Concreto o block con forma rectangular
- Concreto o block con forma cuadrada
- Tubería de concreto
- Tanque plástico
- Otro

16

Seleccione la posición en la que se encuentra su **tanque séptico** *

- Frente de la vivienda
- Atrás de la vivienda
- A uno de los lados de la vivienda
- Otro

17

¿A dónde van las aguas residuales de su **tanque séptico**? *

- Quebrada o río
- Drenaje
- Cunetas de la vía pública
- Zona verde
- Otro

18

¿A dónde van las **aguas lluvias** de su vivienda? *

- Quebrada o río
- Drenaje
- Cunetas de la vía pública
- Zona verde
- Tanque séptico
- Otro

19

¿Las **aguas grises** (agua con jabón proveniente de fregaderos, duchas, pilas y lavado de ropa) van a su tanque séptico?

*

- Sí
- No

Aguas grises

Las aguas grises contienen jabón proveniente de fregaderos, duchas, pilas y lavado de ropa)

20

¿A dónde van las **aguas grises** (agua con jabón proveniente de fregaderos, duchas, pilas y lavado de ropa) de su vivienda? *

- Quebrada o río
- Drenaje
- Cunetas de la vía pública
- Zona verde
- Otro

Estado actual del tanque séptico

21

Seleccione los desechos que se depositan en el sanitario/inodoro *

- Papel higiénico
- Toallas femeninas
- Preservativos
- Excretas y orina
- Otros

22

Seleccione los problemas que presenta su tanque séptico *

- Fugas
- Rebalses
- Malos olores
- Ninguno

23

¿Tiene conocimiento sobre la limpieza de su tanque séptico? *

- Sí
- No

24

¿Con cuánta frecuencia realiza la limpieza de su tanque séptico? *

- 1 vez al año
- Cada 2 años
- Cada 3 años
- Cada 5 años o más
- Nunca

Limpieza o mantenimiento

25

¿Quién hace la limpieza de su tanque séptico? *

- Un habitante de la vivienda
- Una persona que presta sus servicios
- Una empresa

26

¿A cuál lugar va el agua residual que se saca de su tanque séptico después de la limpieza? *

- Quebrada o río
- A cielo abierto
- Enterrados
- Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual
- Desconozco

27

¿Cuánto es el costo monetario por la limpieza de su tanque séptico? *

- Menor a 50 000 colones
- Entre 50 000 colones y 100 000 colones
- Mayor a 100 000 colones

Sistema de tratamiento de agua residual

El agua residual es generada por las actividades domésticas del humano como en los baños, inodoros y en el lavado de ropa, platos, alimentos, etc.

28

Seleccione los **sistemas de tratamiento** de agua residual de su vivienda *

- Drenaje
- Biojardinera
- Planta de tratamiento de agua residual
- Filtro anaerobio
- Otro

29

Seleccione la posición en la que se encuentra su **sistema de tratamiento** de agua residual *

- Frente de la vivienda
- Atrás de la vivienda
- A uno de los lados de la vivienda
- Otro

30

¿A dónde van las aguas de su **sistema de tratamiento** de agua residual? *

- Quebrada o río
- Drenaje
- Cunetas de la vía pública
- Zona verde
- Otro

31

¿A dónde van las **aguas lluvias** de su vivienda? *

- Quebrada o río
- Drenaje
- Cunetas de la vía pública
- Zona verde
- Otro

32

¿Las **aguas grises** (agua con jabón proveniente de fregaderos, duchas, pilas y lavado de ropa) van a su sistema de tratamiento de agua residual?

*

- Sí
- No

Aguas grises sistema de tratamiento de agua residual

Las aguas grises contienen jabón proveniente de fregaderos, duchas, pilas y lavado de ropa)

33

¿A dónde van las **aguas grises** (agua con jabón proveniente de fregaderos, duchas, pilas y lavado de ropa) de su vivienda? *

- Quebrada o río
- Drenaje
- Cunetas de la vía pública
- Zona verde
- Otro

Estado actual del sistema de tratamiento de agua residual

34

Seleccione los desechos que se depositan en el sanitario/inodoro *

- Papel higiénico
- Toallas femeninas
- Preservativos
- Excretas y orina
- Otros

35

Seleccione los problemas que presenta su sistema de tratamiento de aguas residuales *

- Fugas
- Rebalses
- Malos olores
- Ninguno

36

¿Tiene conocimiento sobre la limpieza de su sistema de tratamiento de aguas residuales? *

- Sí
- No

37

¿Con cuánta frecuencia realiza la limpieza de su sistema de tratamiento de aguas residuales? *

- 1 vez al año
- Cada 2 años
- Cada 3 años
- Cada 5 años o más
- Nunca

Limpeza o mantenimiento del sistema de tratamiento de agua residual

38

¿Quién hace la limpieza de su sistema de tratamiento de agua residual? *

- Un habitante de la vivienda
- Una persona que presta sus servicios
- Una empresa

39

¿A cuál lugar va el agua residual que se saca de su sistema de tratamiento de aguas residuales después de la limpieza?? *

- Quebrada o río
- A cielo abierto
- Enterrados
- Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual
- Desconozco

40

¿Cuánto es el costo monetario por la limpieza de su sistema de tratamiento de aguas residuales? *

- Menor a 50 000 colones
- Entre 50 000 colones y 100 000 colones
- Mayor a 100 000 colones

Sin sistema de tratamiento de agua residual

El agua residual es generada por las actividades domésticas del humano como en los baños, inodoros y en el lavado de ropa, platos, alimentos, etc.

41

Seleccione la posición en la que se encuentra la salida de **aguas residuales** *

- Frente de la vivienda
- Atrás de la vivienda
- A uno de los lados de la vivienda
- Otro

42

Seleccione los residuos que se depositan en el sanitario/inodoro *

- Papel higiénico
- Toallas femeninas
- Preservativos
- Excretas y orina
- Otros

43

¿A dónde van las **aguas residuales** de su vivienda? *

- Quebrada o río
- Drenaje
- Cunetas de la vía pública
- Zona verde
- Otro

44

¿A dónde van las **aguas lluvias** de su vivienda? *

- Quebrada o río
- Drenaje
- Cunetas de la vía pública
- Zona verde
- Otro

¿A dónde van las **aguas grises** (agua con jabón proveniente de fregaderos, duchas, pilas y lavado de ropa) de su vivienda? *

- Quebrada o río
- Drenaje
- Cunetas de la vía pública
- Zona verde
- Otro

Conocimiento sobre el agua residual

46

¿Tiene conocimientos sobre la gestión de las aguas residuales? *

- Sí
- No

47

¿Tiene conocimientos sobre la legislación nacional de la gestión de las aguas residuales? *

- Sí
- No

48

¿Tiene conocimiento que las aguas residuales (aguas grises y aguas negras) no pueden ir sin tratamiento a las cunetas de la vía pública, ríos y quebradas? *

- Sí
- No

Seleccione las características que ha percibido en las quebradas/ríos cercanas a su vivienda *

- Malos olores
- Colores
- Espumas
- Residuos sólidos o basura
- Sin contaminación

50

Seleccione la frecuencia en la que ha percibido las características seleccionadas en la **pregunta anterior** *

- Siempre
- Casi siempre
- Algunas veces
- Nunca

Seleccione las características que ha percibido en las cunetas cercanas a su vivienda *

- Malos olores
- Colores
- Espumas
- Residuos sólidos o basura
- Sin contaminación

52

Seleccione la frecuencia en la que ha percibido las características seleccionadas en la **pregunta anterior** *

- Siempre
- Casi siempre
- Algunas veces
- Nunca

¿Con qué frecuencia los habitantes de su vivienda sufren malestares estomacales, vómitos o diarreas? *

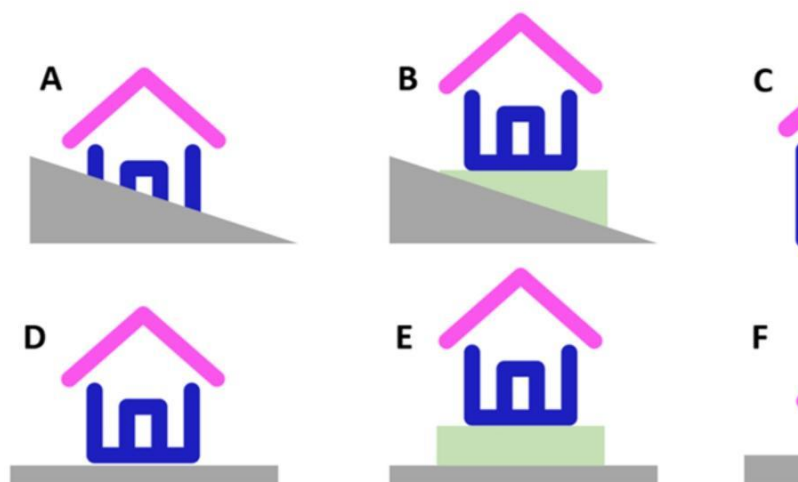
- 1 vez al año
- 2 veces al año
- 3 veces al año
- 4 o más veces al año
- Nunca

54

¿Considera vivir en un ambiente saludable? *

- Sí
- No

Seleccione la condición de la ubicación de su vivienda con respecto al nivel de la vía pública *



- A) Base de la vivienda por abajo del nivel de la calle con pendiente
- B) Base de la vivienda por encima del nivel de la calle con pendiente
- C) Vivienda atrás de otra vivienda
- D) Base de la vivienda al mismo nivel de la calle
- E) Base de la vivienda en una elevación de terreno por encima del nivel de la calle
- F) Base de la vivienda por abajo del nivel de la calle

56

¿Tiene la capacidad para pagar una tarifa mensual entre 3000 a 5000 colones, de un posible proyecto de alcantarillado sanitario, conectado a un sistema de tratamiento de agua residual comunitario para gestionar sus aguas residuales y disminuir el impacto ambiental de su comunidad? *

- Sí
- No

La encuesta es exclusiva para los habitantes de los barrios que se encuentran dentro del cuadrante urbano del distrito de Paraíso, muchas gracias por su interés!



Este contenido no está creado ni respaldado por Microsoft. Los datos que envíe se enviarán al propietario del formulario.



Apéndice 2. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo

Cuadro A.B.1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo

Punto	Tipo	Nombre	Latitud (gms)	Longitud (gms)	Elevación (m)
1	Natural	Quebrada sin nombre	9°50'39,3"N	83°52'10,9"O	1355
2	Natural	Quebrada Pollo	9°50'59,0"N	83°52'48,0"O	1374
3	Aporte pluvial	Alcantarillado pluvial	9°50'31,0"N	83°52'10,9"O	1350
4	Natural	Quebrada sin nombre	9°50'27,4"N	83°51'56,3"O	1348
5	Natural	Quebrada sin nombre	9°50'25,7"N	83°51'43,1"O	1298
6	Natural	Quebrada Pollo	9°50'07,0"N	83°51'48,2"O	1310

gms = grados, minutos y segundos

Apéndice 3. Resultado de la evaluación de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales

Evaluación	CRITERIOS													VALOR		CALIFICACIÓN			
	Usuario	Medidor de agua	Sanitario de bajo consumo	Trampa de grasas	Colador de fregadero	Sistema de tratamiento de agua residual	Tratamiento secundario o terciario	Mantenimiento o limpieza	Conocimiento sobre la gestión de las AR	Medidor de agua	Sanitario de bajo consumo	Trampa de grasas	Colador de fregadero	Sistema de tratamiento de agua residual	Tratamiento secundario o terciario	Mantenimiento o limpieza	Conocimiento sobre la gestión de las AR	Total de puntos	Nivel de gestión de las AR
1	Sí	Sí	Sí	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	Sí	1	1	1	0	1	1	1	1	7	ALTO
2	Sí	Sí	No	No	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			Sí	1	1	0	0	0	0	0	1	3	BAJO
3	Sí	Sí	No	Sí	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	Sí	1	1	0	1	1	1	1	1	7	ALTO
4	Sí	Sí	No	Sí	No	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	Sí	1	1	0	1	1	1	0	1	6	ALTO
5	No	No	Sí	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	Sí	0	0	1	1	1	1	1	1	6	ALTO
6	Sí	Sí	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
7	Sí	No	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	Sí	1	0	0	0	1	1	1	1	5	BAJO
8	Sí	No	No	No	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			Sí	1	0	0	0	0	0	0	1	2	BAJO
9	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 3 años	Sí	1	1	1	1	1	1	1	1	8	ALTO
10	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	Sí	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
11	Sí	Sí	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	Sí	1	1	0	1	1	1	1	1	7	ALTO
12	Sí	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	1	0	0	1	1	1	0	5	BAJO
13	Sí	No	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	Sí	1	0	0	0	1	1	0	1	4	BAJO
14	Sí	No	No	No	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	0	0	0	0	0	0	0	1	BAJO
15	Sí	No	No	No	Sí	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	0	0	1	0	0	0	0	2	BAJO
16	Sí	No	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	1 vez al año	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
17	Sí	No	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 2 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
18	Sí	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	1 vez al año	No	1	1	0	0	1	1	1	0	5	BAJO
19	Sí	Sí	No	Sí	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 3 años	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
20	Sí	No	Sí	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	Sí	1	0	1	0	1	1	0	1	5	BAJO
21	Sí	No	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	Sí	1	0	0	0	1	1	1	1	5	BAJO
22	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
23	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	1	1	1	1	1	1	0	7	ALTO
24	Sí	Sí	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 2 años	Sí	1	1	0	1	1	1	1	1	7	ALTO
25	Sí	Desconozco	Sí	Sí	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	Sí	1	0	1	1	1	1	0	1	6	ALTO
26	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			Sí	1	1	0	1	0	0	0	1	4	BAJO
27	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	1	0	1	0	0	0	0	3	BAJO
28	Sí	Desconozco	Sí	Sí	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	Sí	1	0	1	1	1	1	1	1	7	ALTO
29	Sí	Sí	No	Sí	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
30	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
31	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
32	Sí	No	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 3 años	Sí	1	0	0	0	1	1	1	1	5	BAJO
33	Sí	No	No	Sí	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	0	0	1	0	0	0	0	2	BAJO
34	Sí	No	Sí	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	Sí	1	0	1	0	1	1	0	1	5	BAJO
35	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 3 años	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
36	Sí	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 3 años	No	1	1	0	0	1	1	1	0	5	BAJO
37	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Tanque séptico	Otro	Cada 2 años	Sí	1	1	1	1	1	1	1	1	8	ALTO
38	Sí	No	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
39	Sí	No	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
40	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
41	Sí	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	1	0	0	1	1	1	0	5	BAJO
42	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	Sí	1	1	1	1	1	1	1	1	8	ALTO
43	Sí	No	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
44	Sí	No	No	Sí	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	0	0	1	0	0	0	0	2	BAJO
45	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	1	1	1	1	1	1	0	7	ALTO
46	Sí	No	No	Sí	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	0	0	1	0	0	0	0	2	BAJO
47	Sí	No	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 3 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
48	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
49	Sí	Sí	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
50	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
51	Sí	Sí	No	Sí	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 3 años	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
52	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	1 vez al año	Sí	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
53	Sí	Sí	No	Sí	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	1	0	1	0	0	0	0	3	BAJO
54	Sí	No	Sí	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	1	0	1	1	1	0	5	BAJO
55	Sí	No	No	No	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	0	0	0	0	0	0	0	1	BAJO
56	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
57	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
58	Sí	No	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	Sí	1	0	0	0	1	1	0	1	4	BAJO
59	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	1 vez al año	Sí	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
60	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
61	Sí	No	No	Sí	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 3 años	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO

62	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
63	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	1	0	1	1	1	0	0	5	BAJO
64	Si	Si	Si	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	No	1	1	1	0	1	1	1	0	6	ALTO
65	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
66	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 3 años	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
67	Si	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	0	0	0	1	1	0	0	3	BAJO
68	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
69	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
70	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	1	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
71	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
72	Si	Si	Si	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 2 años	No	1	1	1	1	1	1	1	0	7	ALTO
73	Si	Si	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	No	1	1	0	0	1	1	1	0	5	BAJO
74	Si	Si	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	Si	1	1	1	1	1	1	1	1	8	ALTO
75	Si	No	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	Si	1	0	1	1	1	1	1	1	7	ALTO
76	Si	Si	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 3 años	Si	1	1	0	0	1	1	1	1	6	ALTO
77	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
78	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
79	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
80	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 3 años	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
81	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	Si	1	0	0	0	1	1	0	1	4	BAJO
82	Si	Si	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	1 vez al año	No	1	1	0	0	1	1	1	0	5	BAJO
83	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
84	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
85	Si	No	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	1	1	1	1	1	0	6	ALTO
86	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
87	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
88	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
89	Si	Si	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	1	1	1	1	1	1	0	7	ALTO
90	Si	Si	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	1	1	1	1	1	1	0	7	ALTO
91	Si	No	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	1	1	1	1	0	0	5	BAJO
92	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
93	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
94	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
95	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
96	Si	No	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	Si	1	0	1	1	1	1	0	1	6	ALTO
97	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
98	Si	Si	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	1 vez al año	No	1	1	0	0	1	1	1	0	5	BAJO
99	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
100	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
101	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
102	Si	Si	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	1	0	0	1	1	0	0	4	BAJO
103	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
104	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
105	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	Si	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
106	Si	Si	No	No	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	1	0	0	1	1	1	0	5	BAJO
107	Si	Si	Si	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	1	1	1	1	1	0	0	6	ALTO
108	Si	Si	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	1	0	0	1	1	1	0	5	BAJO
109	Si	No	No	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	0	0	0	0	0	0	0	1	BAJO
110	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
111	Si	No	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	1	1	1	1	0	0	5	BAJO
112	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
113	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	Si	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
114	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	Si	1	1	0	1	1	1	0	1	6	ALTO
115	Si	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 2 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
116	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	1	0	1	1	1	0	0	5	BAJO
117	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 3 años	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
118	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	2 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
119	Si	Si	Si	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 2 años	No	1	1	1	1	1	1	1	0	7	ALTO
120	Si	Si	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	No	1	1	0	0	1	1	1	0	5	BAJO
121	Si	Si	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	Si	1	1	1	1	1	1	1	1	8	ALTO
122	Si	No	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	2 vez al año	Si	1	0	1	1	1	1	1	1	7	ALTO
123	Si	Si	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 3 años	Si	1	1	0	0	1	1	1	1	6	ALTO
124	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
125	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
126	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
127	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 3 años	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
128	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	Si	1	0	0	0	1	1	0	1	4	BAJO
129	Si	Si	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	2 vez al año	No	1	1	0	0	1	1	1	0	5	BAJO
130	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
131	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
132	Si	No	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	1	1	1	1	1	0	6	ALTO
133	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	2 vez al año	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
134	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
135	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
136	Si	Si	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	1	1	1	1	1	1	0	7	ALTO
137	Si	Si	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	1	1	1	1	1	1	0	7	ALTO
138	Si	Si	No	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	1	0	0	0	0	0	0	2	BAJO
139	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
140	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	Si	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
141	Si	No	No	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	0	0	0	0	0	0	0	1	BAJO
142	Si	Desconozco	No	Si	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	0	0	1	0	0	0	0	2	BAJO
143	Si	No	No	Si	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	0	0	1	0	0	0	0	2	BAJO
144	Si	No	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	Si	1	0	1	1	1	1	0	1	6	ALTO
145	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
146	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
147	Si	Si	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	Si	1	1	1	1	1	1	1	1	8	ALTO
148	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
149	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	Si	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
150	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	0	1	1	0	0	3	BAJO
151	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
152	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
153	Si	No	No	No	No tengo ningún sistema de tratamiento de aguas residuales			No	1	0	0	0	0	0	0	0	1	BAJO
154	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
155	Si	No	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 3 años	Si	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
156	Si	Si	Si	Si	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	Si	1	1	1	1	1	1	1	1	8	ALTO
157	Si	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
158	Si	Si	No	Si	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO

159	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
160	Sí	Sí	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	Sí	1	1	0	1	1	1	1	1	7	ALTO
161	Sí	Sí	Sí	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	1	1	1	1	1	1	0	7	ALTO
162	Sí	Desconozco	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
163	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
164	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 3 años	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
165	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
166	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	0	1	1	0	0	3	BAJO
167	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
168	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
169	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	Sí	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
170	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
171	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
172	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
173	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
174	Sí	Sí	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
175	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
176	Sí	Sí	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	Sí	1	1	0	1	1	1	1	1	7	ALTO
177	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	0	0	0	1	1	0	0	3	BAJO
178	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	Sí	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
179	Sí	Sí	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	1	0	1	1	1	1	0	6	ALTO
180	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	0	0	0	1	1	0	0	3	BAJO
181	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	Sí	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
182	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	Sí	1	0	0	1	1	1	1	1	6	ALTO
183	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
184	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
185	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 3 años	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
186	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
187	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
188	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 2 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
189	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
190	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
191	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Nunca	No	1	0	0	0	1	1	0	0	3	BAJO
192	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
193	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 3 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
194	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
195	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
196	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	0	0	1	1	1	0	0	4	BAJO
197	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Cada 5 años o más	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
198	Sí	Sí	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	Sí	1	1	0	1	1	1	1	1	7	ALTO
199	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Drenaje	Cada 5 años o más	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
200	Sí	No	No	Sí	Tanque séptico	Otro	1 vez al año	No	1	0	0	1	1	1	1	0	5	BAJO
201	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Drenaje	Cada 2 años	No	1	0	0	0	1	1	1	0	4	BAJO
202	Sí	No	No	No	Tanque séptico	Solo tengo tanque séptico	Nunca	No	1	0	0	0	1	1	0	0	3	BAJO

Apéndice 4. Resultado de la evaluación de disposición final de las aguas residuales

Evaluación Usuario	CRITERIOS						VALOR						CALIFICACIÓN	
	Gestión de los residuos de la trampa de grasas	Gestión de los residuos del colador de fregadero	Disposición final de las aguas grises	Disposición final de las aguas residuales con tratamiento	Tratamiento de las AR vaciadas en la limpieza del sistema de tratamiento	Conocimiento de la legislación sobre el vertido de AR	Gestión de los residuos de la trampa de grasas	Gestión de los residuos del colador de fregadero	Disposición final de las aguas grises	Disposición final de las aguas residuales con tratamiento	Tratamiento de las AR vaciadas en la limpieza del sistema de tratamiento	Conocimiento de la legislación sobre el vertido de AR	Total de puntos	Nivel de gestión de las AR
1	Cunetas de la vía pública		Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
2						Sí	0	0	0	0	0	1	1	BAJO
3		Basurero	Drenaje	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
4		Basurero	Quebrada o río	Drenaje		No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
5	Basurero	Basurero	Sistema de tratamiento	Drenaje	Desconozco	Sí	1	1	1	1	0	1	5	ALTO
6		Basurero	Cunetas de la vía pública	Otro	Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual	No	0	1	0	0	1	0	2	BAJO
7			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual	No	0	0	0	1	1	0	2	BAJO
8						Sí	0	0	0	0	0	1	1	BAJO
9	Basurero	Compostaje o abono orgánico	Sistema de tratamiento	Otro	Enterrados	Sí	1	1	1	0	0	1	4	BAJO
10		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
11		Basurero	Cunetas de la vía pública	Otro	Desconozco	Sí	0	1	0	0	0	1	2	BAJO
12			Drenaje	Drenaje	Desconozco	No	0	0	0	1	0	0	1	BAJO
13			Cunetas de la vía pública	Otro		No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO
14						Sí	0	0	0	0	0	1	1	BAJO
15		Basurero				Sí	0	1	0	0	0	1	2	BAJO
16			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual	No	0	0	0	1	1	0	2	BAJO
17			Cunetas de la vía pública	Otro	Desconozco	Sí	0	0	0	0	0	1	1	BAJO
18			Quebrada o río; Cunetas de la vía pública		Desconozco	No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO
19		Basurero	Sistema de tratamiento	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	1	1	0	1	4	BAJO
20	Basurero		Sistema de tratamiento	Otro		No	1	0	1	0	0	0	2	BAJO
21			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	0	0	1	0	0	1	BAJO
22		Basurero	Cunetas de la vía pública	Otro	Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual	Sí	0	1	0	0	1	1	3	BAJO
23	Basurero	Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	1	1	0	1	0	0	3	BAJO
24		Basurero	Sistema de tratamiento	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	1	1	0	1	4	BAJO
25	Basurero	Basurero	Sistema de tratamiento	Drenaje		Sí	1	1	1	1	0	1	5	ALTO
26		Basurero				No	0	1	0	0	0	0	1	BAJO
27		Basurero				Sí	0	1	0	0	0	1	2	BAJO
28	Basurero	Basurero	Sistema de tratamiento	Drenaje	Desconozco	Sí	1	1	1	1	0	1	5	ALTO
29		Basurero	Cunetas de la vía pública	Otro	Desconozco	No	0	1	0	0	0	0	1	BAJO
30		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual	No	0	1	0	1	1	0	3	BAJO
31		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
32			Cunetas de la vía pública	Otro	Desconozco	Sí	0	0	0	0	0	1	1	BAJO
33		Basurero				No	0	1	0	0	0	0	1	BAJO
34	Basurero		Quebrada o río; Cunetas de la vía pública	Drenaje		Sí	1	0	0	1	0	1	3	BAJO
35		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
36			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	0	0	1	0	0	1	BAJO
37	Otro	Basurero	Sistema de tratamiento	Drenaje	Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual	Sí	1	1	1	1	1	1	6	ALTO
38			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	Sí	0	0	0	1	0	1	2	BAJO
39			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual	Sí	0	0	0	1	1	1	3	BAJO
40		Compostaje o abono orgánico	Sistema de tratamiento	Quebrada o río	Desconozco	Sí	0	1	1	0	0	1	3	BAJO
41			Otro	Drenaje	Desconozco	No	0	0	0	1	0	0	1	BAJO
42	Basurero	Basurero	Sistema de tratamiento	Drenaje	Desconozco	Sí	1	1	1	1	0	1	5	ALTO
43			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	0	0	1	0	0	1	BAJO
44		Basurero				No	0	1	0	0	0	0	1	BAJO
45	Basurero	Basurero	Cunetas de la vía pública	Otro	Desconozco	No	1	1	0	0	0	0	2	BAJO
46		Basurero				No	0	1	0	0	0	0	1	BAJO
47			Cunetas de la vía pública	Cunetas de la vía pública	Desconozco	No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO
48		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
49		Basurero	Cunetas de la vía pública	Otro	Desconozco	Sí	0	1	0	0	0	1	2	BAJO
50		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
51		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
52		Basurero	Sistema de tratamiento	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	1	1	0	1	4	BAJO
53		Compostaje o abono orgánico				Sí	0	1	0	0	0	1	2	BAJO
54	Otro		Cunetas de la vía pública	Quebrada o río	Desconozco	No	1	0	0	0	0	0	1	BAJO
55						No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO
56		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
57		Basurero	Cunetas de la vía pública	Otro		No	0	1	0	0	0	0	1	BAJO
58			Cunetas de la vía pública	Otro		Sí	0	0	0	0	0	1	1	BAJO
59		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual	No	0	1	0	1	1	0	3	BAJO
60		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
61		Alimento para animales	Quebrada o río; Cunetas de la vía pública		Desconozco	Sí	0	1	0	0	0	1	2	BAJO
62		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual	Sí	0	1	0	1	1	1	4	BAJO
63		Basurero	Drenaje	Drenaje		No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
64	Cunetas de la vía pública		Sistema de tratamiento	Drenaje	Desconozco	Sí	0	0	1	1	0	1	3	BAJO
65		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
66		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
67			Cunetas de la vía pública	Cunetas de la vía pública		Sí	0	0	0	0	0	1	1	BAJO
68		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
69		Basurero	Sistema de tratamiento	Drenaje	Desconozco	No	0	1	1	1	0	0	3	BAJO
70		Basurero	Sistema de tratamiento	Drenaje		Sí	0	1	1	1	0	1	4	BAJO

161	Basurero	Compostaje o abono orgánico	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	1	1	0	1	0	0	3	BAJO
162		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
163		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual	No	0	1	0	1	1	0	3	BAJO
164		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
165		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
166			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	0	0	1	0	0	1	BAJO
167			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	0	0	1	0	0	1	BAJO
168		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
169		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
170			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	0	0	1	0	0	1	BAJO
171			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	0	0	1	0	0	1	BAJO
172		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
173		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
174		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
175		Basurero	Quebrada o río;	Quebrada o río	Desconozco	No	0	1	0	0	0	0	1	BAJO
176		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
177			Cunetas de la vía pública	Zona verde;	Desconozco	No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO
178		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
179		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
180			Cunetas de la vía pública	Zona verde	Desconozco	No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO
181		Basurero	Quebrada o río;	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
182		Basurero	Quebrada o río;	Quebrada o río	Desconozco	Sí	0	1	0	0	0	1	2	BAJO
183		Basurero	Cunetas de la vía pública	Zona verde	Desconozco	No	0	1	0	0	0	0	1	BAJO
184			Cunetas de la vía pública	Zona verde	Desconozco	No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO
185		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
186		Basurero	Sistema de tratamiento	Drenaje	Desconozco	No	0	1	1	1	0	0	3	BAJO
187		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
188			Cunetas de la vía pública	Zona verde	Desconozco	No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO
189		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
190			Cunetas de la vía pública	Zona verde	Desconozco	No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO
191			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	0	0	1	0	0	1	BAJO
192			Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	0	0	1	0	0	1	BAJO
193			Cunetas de la vía pública	Zona verde;	Desconozco	No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO
194		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
195		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
196		Basurero	Cunetas de la vía pública	Zona verde	Desconozco	No	0	1	0	0	0	0	1	BAJO
197			Cunetas de la vía pública	Zona verde	Desconozco	No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO
198		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	Sí	0	1	0	1	0	1	3	BAJO
199		Basurero	Cunetas de la vía pública	Drenaje	Desconozco	No	0	1	0	1	0	0	2	BAJO
200		Basurero	Sistema de tratamiento	Otro	Llevados a otro sistema de tratamiento o planta de tratamiento de agua residual	Sí	0	1	1	0	1	1	4	BAJO
201			Sistema de tratamiento	Drenaje	Desconozco	No	0	0	1	1	0	0	2	BAJO
202			Cunetas de la vía pública	Zona verde	Desconozco	No	0	0	0	0	0	0	0	BAJO

10. ANEXOS

Anexo 1. Metodología para el aforo del caudal

El área y la velocidad para calcular caudales se determinaron a partir de la metodología propuesta por (Villón, 2004):

Medida de la velocidad superficial de la corriente (pág. 156-157)

El procedimiento para medir la velocidad es el siguiente:

1. Medir la longitud (L) del tramo.
2. Medir con un cronómetro el tiempo (T), que tarda en desplazarse el flotador (botella lastrada, madera, cuerpo flotante natural) en el tramo.
3. Calcular la velocidad superficial:

$$v = \frac{L}{T}$$

Calcular el área de la sección transversal (pág. 169-171)

Para iniciar un aforo, es necesario dividir la sección transversal (área hidráulica), en franjas. El procedimiento es el siguiente:

1. Medir el ancho del río (longitud de la superficie libre de agua o espejo de agua).
2. Dividir el espejo de agua, en un número N de tramos. (Para este estudio se siguió el criterio: ancho menor a 2 m, la distancia entre tramos es de 0,2 m).
3. Medir en cada vertical, la profundidad. Puede suceder que en los márgenes la profundidad sea cero o diferente de cero.
4. El área de cada tramo, se puede determinar como el área de un trapecio. Si la profundidad en algunos de los extremos es cero, se calcula como si fuera un triángulo:

$$A = \frac{h_0 + h_1}{2} * L$$

Donde:

A= área del tramo

h_0, h_1 = profundidades en los extremos del tramo

L = ancho de la superficie del tramo

Anexo 2. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales

Cuadro 1. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales para las clases establecidas en el presente Reglamento.

Parámetros Complementarios (Unidades)	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Turbiedad (UNT)	<25	25 a <100	100 a 300	(1)	(1)
Temperatura (°C)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Potencial de hidrógeno (pH)	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,0 a 9,0	5,5 a 9,5	5,5 a 9,5
Nitratos, NO ₃ (mg N/L)	<5	5 a <10	10 a <15	15 a <20	>20
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	<20	20 a <25	25 a <50	50 a <100	100 a 300
Cloruros (como Cl) (mg/L)	<100	100 a 200	NA	NA	NA
Fluoruros (como F) (mg/L)	<1,0	1 a 1,5	NA	NA	NA
Color (Pt-Co)	2,5 a 10	10 a 100	(1)	(1)	(1)
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	<10	10 a 25	25 a 100	100 a 300	>300
Sólidos Disueltos (mg/L)	<250	250 a <500	500 a 1000	>1 000	> 1 000
Grasas y Aceites (mg/L)	ND	ND	ND	ND	15 a 25
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L)	ND	ND	ND a 1	1 a 2	2 a 5
Arsénico (mg/L)	< 0,01	< 0,01	0,01 a 0,05	> 0,05	>0,05
Boro (mg/L)	0,1	0,2	0,5	1	1
Cadmio (mg/L)	<0,005	0,005	0,01	0,02	0,02
Cianuro (mg CN-/L)	<0,1	0,1 a <0,2	0,2	>0,2	>0,2
Cobre (mg/L)	<0,5	0,5 a <1	1,0 a 1,5	1,5 a 2,0	2,0 a 2,5
Cromo Total (mg/L)	<0,05	0,05	0,20	0,50	>0,5
Magnesio mg MgCO ₃ / L	<30	30 a 50	> 50	> 50	> 50
Mercurio (mg/L)	<0,001	0,001	0,002	0,004	0,005
Níquel (mg/L)	<0,05	0,05	0,1	0,2	0,3
Plomo (mg/L)	<0,03	0,03 a <0,05	0,05 a <0,10	0,10 a <0,20	0,20
Selenio (mg/L)	<0,005	0,005 a <0,010	0,010 a <0,020	0,020 a <0,050	0,050
Sulfatos (SO ₄) ⁻² (mg/L)	<150	150 a 250	>250	>250	>250
Parámetros orgánicos					
Sumatoria de los Compuestos Organoclorados (mg/L)	ND	ND	ND	0,01	0,01
Sumatoria de los Compuestos Organofosforados (mg/L)	ND	ND	ND	0,01	0,01
Biológicos					
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	< 20	20 a 1000	1000 a 2000	2000 a 5000	>5000

ND: No detectable por el método utilizado.

NA: No aplicable

(1) Natural o que no afecte el uso indicado

Fuente:(Reglamento Para La Evaluación y Clasificación de La Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, 2007).

Anexo 3. Clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial, y tratamiento que requiera

Cuadro 2. Clasificación de los Cuerpos de Agua según el uso potencial, y tratamiento que requiera.

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Abastecimiento de agua para uso y consumo humano	Con tratamiento simple con desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	tratamiento No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para actividades industriales destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano	Sin tratamiento previo o con tratamiento simple de desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	tratamiento No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias.	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Con limitaciones	No utilizable
Actividades recreativas de contacto primario.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Acuicultura.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas.	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la protección de las comunidades acuáticas.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Generación hidroeléctrica.	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable con limitaciones	Utilizable limitaciones
Navegación.	No utilizable	No utilizable	Utilizable	utilizable	Utilizable
Riego de especies arbóreas, cereales y plantas forrajeras.	Utilizable	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable
Riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

Fuente:(Reglamento Para La Evaluación y Clasificación de La Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, 2007)

Anexo 4. Resultados de los análisis de los indicadores de calidad de agua superficial del CEQIATEC



**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC**

Informe de resultados de análisis

Código de muestra: 4190922	Fecha de reporte: 11/10/2022
----------------------------	------------------------------

Información general	
Interesado: Heriberto Serrano Chaves	Teléfono: 6372-1261
Solicitante: Heriberto Serrano Chaves	Email: heri0196@estudiantec.cr
Tipo de actividad: No indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: Agua Superficial	Fecha recepción: 29/09/2022
Descripción de la muestra: consecutivo 1: Muestra 1	Fecha inicio análisis: 29/09/2022
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: Puntual	Fecha muestreo: 29/09/2022
Muestreado por: El Solicitante	
Dirección: No indica	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	< 10	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210-B
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520-B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	< 0,10	PT-QU-24
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	< 0,5	PT-QU-33
Coliformes fecales (NMP/100mL) (*)	920	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de resultados de análisis

Código de muestra: 4190922	Fecha de reporte: 11/10/2022
-----------------------------------	-------------------------------------

Información general	
Interesado: Heriberto Serrano Chaves	Teléfono: 6372-1261
Solicitante: Heriberto Serrano Chaves	Email: heri0196@estudiantec.cr
Tipo de actividad: No indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: Agua Superficial	Fecha recepción: 29/09/2022
Descripción de la muestra: consecutivo 2: Muestra 2	Fecha inicio análisis: 29/09/2022
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: Puntual	Fecha muestreo: 29/09/2022
Muestreado por: El Solicitante	
Dirección: No indica	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(18 ± 3)	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(4,2 ± 0,7)	5210-B
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520-B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	< 0,10	PT-QU-24
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	< 0,5	PT-QU-33
Coliformes fecales (NMP/100mL) (*)	70	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC**

Informe de resultados de análisis

Código de muestra: 4190922	Fecha de reporte: 11/10/2022
-----------------------------------	-------------------------------------

Información general	
Interesado: Heriberto Serrano Chaves	Teléfono: 6372-1261
Solicitante: Heriberto Serrano Chaves	Email: heri0196@estudiantec.cr
Tipo de actividad: No indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: Agua Superficial	Fecha recepción: 29/09/2022
Descripción de la muestra: consecutivo 3: Muestra 3	Fecha inicio análisis: 29/09/2022
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: Puntual	Fecha muestreo: 29/09/2022
Muestreado por: El Solicitante	
Dirección: No indica	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(105 ± 12)	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(64 ± 8)	5210-B
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520-B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	(0,30 ± 0,03)	PT-QU-24
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	(8,8 ± 0,4)	PT-QU-33
Coliformes fecales (NMP/100mL) (*)	1600	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC**

Informe de resultados de análisis

Código de muestra: 4190922	Fecha de reporte: 11/10/2022
-----------------------------------	-------------------------------------

Información general	
Interesado: Heriberto Serrano Chaves	Teléfono: 6372-1261
Solicitante: Heriberto Serrano Chaves	Email: heri0196@estudiantec.cr
Tipo de actividad: No indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: Agua Superficial	Fecha recepción: 29/09/2022
Descripción de la muestra: consecutivo 4: Muestra 4	Fecha inicio análisis: 29/09/2022
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: Puntual	Fecha muestreo: 29/9/2022
Muestreado por: El Solicitante	
Dirección: No indica	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(54 ± 6)	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(24 ± 4)	5210-B
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520-B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	(0,40 ± 0,03)	PT-QU-24
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	(3,0 ± 0,4)	PT-QU-33
Coliformes fecales (NMP/100mL) (*)	1600	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC**

Informe de resultados de análisis

Código de muestra: 4190922	Fecha de reporte: 11/10/2022
-----------------------------------	-------------------------------------

Información general	
Interesado: Heriberto Serrano Chaves	Teléfono: 6372-1261
Solicitante: Heriberto Serrano Chaves	Email: heri0196@estudiantec.cr
Tipo de actividad: No indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: Agua Superficial	Fecha recepción: 29/09/2022
Descripción de la muestra: consecutivo 5: Muestra 5	Fecha inicio análisis: 29/09/2022
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: Puntual	Fecha muestreo: 29/09/2022
Muestreado por: El Solicitante	
Dirección: No indica	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(42 ± 5)	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(21 ± 3)	5210-B
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520-B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	(0,35 ± 0,03)	PT-QU-24
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	(6,7 ± 0,4)	PT-QU-33
Coliformes fecales (NMP/100mL) (*)	1600	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC**

Informe de resultados de análisis

Código de muestra: 4190922	Fecha de reporte: 11/10/2022
-----------------------------------	-------------------------------------

Información general	
Interesado: Heriberto Serrano Chaves	Teléfono: 6372-1261
Solicitante: Heriberto Serrano Chaves	Email: heri0196@estudiantec.cr
Tipo de actividad: No indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: Agua Superficial	Fecha recepción: 29/09/2022
Descripción de la muestra: consecutivo 6: Muestra 6	Fecha inicio análisis: 29/09/2022
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: Puntual	Fecha muestreo: 29/09/2022
Muestreado por: El Solicitante	
Dirección: No indica	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(20 ± 3)	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(7 ± 1)	5210-B
Grasas y Aceites (mg/L) *	(15 ± 1)	5520-B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	(0,30 ± 0,03)	PT-QU-24
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	(2,0 ± 0,4)	PT-QU-33
Coliformes fecales (NMP/100mL) (*)	1600	9221 E

Observaciones

(*) **Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA).** Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) **Ensayos no acreditados.**

NA: **No aplica**

ND: **No detectable**

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

ANDREA QUESADA
GONZALEZ (FIRMA)
Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Firmado digitalmente
por ANDREA QUESADA
GONZALEZ (FIRMA)

DIANA
ROBLES
CHAVES
(FIRMA)

Firmado
digitalmente por
DIANA ROBLES
CHAVES (FIRMA)

M Sc. Diana Robles Chaves
Regente Química



Anexo 5. Metodología para calcular el porcentaje de saturación de oxígeno

El porcentaje de saturación de oxígeno es el porcentaje máximo de oxígeno que puede disolverse en el agua a una presión y temperatura determinadas (Roldán & Ramírez, 2008). Es un concepto equivalente al de saturación relativa de oxígeno y se calcula de la siguiente forma (Roldán & Ramírez, 2008):

$$PSO = OD_{observado} * \frac{100}{OD_{teórico\ corregido}}$$

Donde:

PSO: Porcentaje de saturación de oxígeno (%)

OD_{observado}: concentración de oxígeno experimental (mg/L)

OD_{teórico corregido}: concentración de oxígeno teórica (mg/L)

La concentración de oxígeno teórico debe corregirse por las diferencias en la presión del aire causadas por los cambios de temperatura y por la elevación sobre el nivel del mar (Lin, 2007) con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{2116,8 - (0,08 - 0,000115A) * E}{2116,8}$$

Donde:

f: Factor de corrección por encima del nivel del mar

A: Temperatura del aire (°C)

E: Elevación del sitio por encima del nivel del mar (m)

Finalmente la ecuación para obtener la concentración de oxígeno teórica corregida es (Lin, 2007):

$$OD_{teórico\ corregido} = OD_{teórico} * f$$

Donde:

OD_{teórico corregido}: concentración de oxígeno teórica (mg/L)

OD_{teórico}: concentración de oxígeno teórica (véase Cuadro A.1.)

f: Factor de corrección por encima del nivel del mar

Cuadro A.1. Valores de oxígeno disuelto teórico (mg/L) según la temperatura del agua

Temp, °C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	14.65	14.61	14.57	14.53	14.49	14.45	14.41	14.37	14.33	14.29
1	14.25	14.21	14.17	14.13	14.09	14.05	14.02	13.98	13.94	13.90
2	13.86	13.82	13.79	13.75	13.71	13.68	13.64	13.60	13.56	13.53
3	13.49	13.46	13.42	13.38	13.35	13.31	13.28	13.24	13.20	13.17
4	13.13	13.10	13.06	13.03	13.00	12.96	12.93	12.89	12.86	12.82
5	12.79	12.76	12.72	12.69	12.66	12.62	12.59	12.56	12.53	12.49
6	12.46	12.43	12.40	12.36	12.33	12.30	12.27	12.24	12.21	12.18
7	12.14	12.11	12.08	12.05	12.02	11.99	11.96	11.93	11.90	11.87
8	11.84	11.81	11.78	11.75	11.72	11.70	11.67	11.64	11.61	11.58
9	11.55	11.52	11.49	11.47	11.44	11.41	11.38	11.35	11.33	11.30
10	11.27	11.24	11.22	11.19	11.16	11.14	11.11	11.08	11.06	11.03
11	11.00	10.98	10.95	10.93	10.90	10.87	10.85	10.82	10.80	10.77
12	10.75	10.72	10.70	10.67	10.65	10.62	10.60	10.57	10.55	10.52
13	10.50	10.48	10.45	10.43	10.40	10.38	10.36	10.33	10.31	10.28
14	10.26	10.24	10.22	10.19	10.17	10.15	10.12	10.10	10.08	10.06
15	10.03	10.01	9.99	9.97	9.95	9.92	9.90	9.88	9.86	9.84
16	9.82	9.79	9.77	9.75	9.73	9.71	9.69	9.67	9.65	9.63
17	9.61	9.58	9.56	9.54	9.52	9.50	9.48	9.46	9.44	9.42
18	9.40	9.38	9.36	9.34	9.32	9.30	9.29	9.27	9.25	9.23
19	9.21	9.19	9.17	9.15	9.13	9.12	9.10	9.08	9.06	9.04
20	9.02	9.00	8.98	8.97	8.95	8.93	8.91	8.90	8.88	8.86
21	8.84	8.82	8.81	8.79	8.77	8.75	8.74	8.72	8.70	8.68
22	8.67	8.65	8.63	8.62	8.60	8.58	8.56	8.55	8.53	8.52
23	8.50	8.48	8.46	8.45	8.43	8.42	8.40	8.38	8.37	8.35
24	8.33	8.32	8.30	8.29	8.27	8.25	8.24	8.22	8.21	8.19
25	8.18	8.16	8.14	8.13	8.11	8.10	8.08	8.07	8.05	8.04
26	8.02	8.01	7.99	7.98	7.96	7.95	7.93	7.92	7.90	7.89
27	7.87	7.86	7.84	7.83	7.81	7.80	7.78	7.77	7.75	7.74
28	7.72	7.71	7.69	7.68	7.66	7.65	7.64	7.62	7.61	7.59
29	7.58	7.56	7.55	7.54	7.52	7.51	7.49	7.48	7.47	7.45
30	7.44	7.42	7.41	7.40	7.38	7.37	7.35	7.34	7.32	7.31

SOURCE: American Society of Civil Engineering Committee on Sanitary Engineering Research, 1960

Fuente: (Lin, 2007)