

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

**“Estudio del estado actual para el desarrollo de un Plan de Saneamiento Ambiental
para la comunidad urbana del cantón de La Unión, Cartago”**

Wester Rodríguez González

Cartago, enero, 2016

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Ambiental

**“Estudio del estado actual para el desarrollo de un Plan de Saneamiento Ambiental
para la comunidad urbana del cantón de La Unión, Cartago”**

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

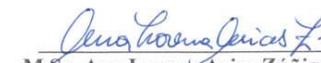

M.Sc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Profesora Guía del Proyecto


M.Sc. Diana A. Zambrano P.
Lector 1


Ing. Macario Pino Gómez
Lector 2


M.Sc. Diana A. Zambrano P.
Coordinador COTRAFIG


Dra. Floria Roa Gutiérrez
Directora Escuela de Química


M.Sc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Directora Escuela Ing. Ambiental

DEDICATORIA

A la fuente infinita de motivación a lo largo de mi vida, mi familia.

A mi madre Enia González y a mi padre Benito Rodríguez.

A mi hermana Jensie y a mi sobrino Sebastián, con mucho amor.

AGRADECIMIENTOS

A la profesora M.Sc. Ana Lorena Arias, por permitirme entrar en el proyecto y ser mi profesora guía, así como a la M.Sc. Diana A. Zambrano y el Ing. Macario Pino, por todo cuanto me enseñaron y apoyaron, tanto durante el proyecto como en la carrera.

A Luis Miranda, Edward Matamoros y demás personal de la Municipalidad de La Unión, por su ardua colaboración con mi persona y mi proyecto.

A Óscar Montero, por ser mi compañero de investigación a lo largo del proyecto.

A mis amigos Jonathan Loáiciga y Kenny Roberts, por la colaboración con sus conocimientos de QGIS, así como a Diego Chinchilla y Éricka Vargas.

Al profesor Ing. Jorge Calvo, por las consultas que siempre estuvo dispuesto a atender.

A Marco Méndez y Alejandro Córdoba, por su siempre atenta colaboración en los laboratorios de Ingeniería Ambiental y el CEQIATEC, respectivamente.

Al cuerpo estudiantil y demás miembros de la Municipalidad de La Unión, quienes aportaron sus esfuerzos en la encuesta realizada.

Al Lic. Miguel Fajardo Korea, profesor, escritor y amigo, por aportar sus envidiables conocimientos en la revisión filológica de este Proyecto de Graduación.

A Fabián Hidalgo y Danilo Corea, por ser mi familia de universidad.

A mi familia, por siempre estar y luchar conmigo.

A las increíbles personas que llegué a conocer en la universidad.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	1
Abstract	2
1 Introducción	3
1.1 <i>Objetivos</i>	4
1.1.1 Objetivo general	4
1.1.2 Objetivos específicos	4
2 Revisión de literatura	5
2.1 <i>Plan de saneamiento ambiental</i>	5
2.1.1 Aguas Residuales	6
2.2 <i>Problemática de la zona</i>	7
2.3 <i>Indicadores de saneamiento</i>	9
2.3.1 Indicadores visuales	9
2.3.2 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y privadas	10
2.3.3 Calidad del agua de los ríos y cuerpos de agua superficiales	10
2.3.3.1 pH	10
2.3.3.2 Temperatura	11
2.3.3.3 Oxígeno disuelto (OD)	12
2.3.3.4 DBO	12
2.3.3.5 DQO	13
2.3.3.6 Conductividad	13
2.3.3.7 Sólidos Totales (ST)	14
2.3.3.8 Sólidos Disueltos Totales (SDT)	14
2.4 <i>Legislación costarricense correspondiente</i>	14
2.4.1 Reglamento sobre Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601	15
2.4.2 Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de agua superficiales N° 33903	16
2.4.3 Ley General de la Salud N° 5395	16
2.4.4 Reglamento para la operación y administración del alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales del cantón de La Unión	17
2.5 <i>Legislación internacional</i>	17
2.6 <i>Trabajos relacionados</i>	18

3	Materiales y métodos	19
3.1	<i>Lugar de estudio</i>	19
3.2	<i>Encuesta a domicilio en la unión</i>	21
3.2.1	Escogencia de la población por encuestar	22
3.2.2	Aplicación de las encuestas	22
3.2.3	Composición de la encuesta	22
3.2.4	Análisis de resultados de encuesta	23
3.3	<i>Información de las PTAR del cantón</i>	23
3.3.1	Recolección de información	23
3.3.2	Análisis de resultados	24
3.4	<i>Monitoreo de cuerpos receptores de agua superficial</i>	25
3.4.1	Monitoreo de cuerpos receptores	25
3.4.1.1	Análisis in situ	25
3.4.1.2	Análisis ex situ	26
3.4.1.3	Análisis de resultados del muestreo	26
4	Resultados y discusión	27
4.1	<i>Proyecciones poblacionales para la duración del proyecto</i>	27
4.2	<i>Recolección y tratamiento de las aguas residuales según encuesta aplicada</i>	27
4.2.1	¿Las aguas grises dentro de su hogar se encuentran separadas de las aguas residuales?	27
4.2.2	Gestión actual de las aguas residuales: ¿posee instalaciones de saneamiento mejoradas? (Alcantarillado o tanque séptico con campo de infiltración, otras)	28
4.2.3	¿La salida de las aguas residuales se encuentra al frente del hogar?	31
4.2.4	¿El nivel de la vivienda se encuentra por encima del nivel de la calle?	33
4.2.5	Si su hogar cuenta con salida de aguas residuales por el frente ¿estaría dispuesto(a) a conectarse a una futura red de alcantarillado sanitario?	34
4.2.6	Si su hogar cuenta con salida de aguas residuales por la parte trasera ¿estaría dispuesto(a) a conectarse a una futura red de alcantarillado?	36
4.3	<i>Estado actual de las PTAR del cantón</i>	38
4.3.1	Reportes operacionales y de visitas a las PTAR administradas por la municipalidad de La Unión	38
4.3.2	Reportes operacionales y visitas a las PTAR administradas por entidades privadas	45

4.4	<i>Muestreo de ríos</i>	52
5	Conclusiones y recomendaciones	59
5.1	<i>Conclusiones</i>	59
5.2	<i>Recomendaciones</i>	60
6	Referencias	62
	APÉNDICE	69
	Apéndice 1: Otras leyes y códigos importantes	70
	Apéndice 2: Metodología de muestreo de parámetros in situ	71
	Medición de caudal	71
	Método de aforo por correntómetro o molinete	71
	Método de aforo por flotador	73
	Método de aforo volumétrico	74
	Otros parámetros de medición in situ	75
	Apéndice 3: Descripción de lugares importantes en las zonas generadas para la encuesta	76
	Apéndice 4: Cálculo del tamaño de muestra para la encuesta aplicada	78
	Apéndice 5: Encuesta aplicada	79
	Apéndice 6: Proyección poblacional para los cantones costarricenses según INEC	81
	Población base cantonal	81
	Población base total a nivel de distrito	81
	Procedimiento de proyección	82
	Apéndice 7: Resultados totales de la encuesta	84
	Apéndice 8: Resultados muestreo principales ríos de La Unión	86
	ANEXOS	89
	Anexo 1: Límites máximos permitidos para parámetros indicadores de calidad en alcantarillado sanitario o cuerpo receptor	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Área de influencia para el proyecto	20
Figura 4.1. Separación en hogares de aguas grises y aguas residuales.	28
Figura 4.2. Uso de instalaciones mejoradas de saneamiento en la población encuestada....	30
Figura 4.3. Disponibilidad actual al alcantarillado sanitario en la población encuestada	31
Figura 4.4. Población encuestada con salida de aguas residuales al frente del hogar.	32
Figura 4.5. Población encuestada con el nivel de la salida de aguas residuales por encima del de la calle.	34
Figura 4.6. Disponibilidad para la conexión al alcantarillado sanitario con salida de aguas residuales al frente del hogar.	35
Figura 4.7. Disponibilidad para la conexión al alcantarillado sanitario con salida de aguas residuales en la parte trasera del hogar.....	37
Figura 4.8. Concentración de DBO (mg/L) en las PTAR de administración pública de La Unión, 2014	42
Figura 4.9. Concentración de DQO (mg/L) en las PTAR de administración pública de La Unión, 2014	43
Figura 4.10. Concentración de SST (mg/L) en las PTAR de administración pública de La Unión, 2014	43
Figura 4.11. Ubicación de las PTAR del cantón de La Unión.	51
Figura 4.12. Ubicación de los puntos de muestreo en el cantón de La Unión.	53
Figura 4.13. ST para la Quebrada Chagüite.	55
Figura 4.14. OD para la Quebrada Chagüite.	56
Figura 4.15. DQO para la Quebrada Chagüite.	56
Figura 4.16. ST vertidos al día para el río Chiquito.	57
Figura 4.17. DQO para el río Tiribí.....	58

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1. Disposición de aguas residuales e instalaciones de saneamiento en Costa Rica para el año 2011.....	6
Cuadro 2.2. Comportamiento poblacional de La Unión en los últimos censos	8
Cuadro 2.3. Tipos de instalaciones de saneamiento	9
Cuadro 2.4. Índices utilizados para determinación de la calidad de cuerpos de agua superficiales	18
Cuadro 2.5. Investigaciones científicas relacionadas	18
Cuadro 3.1. Parámetros analizados en los principales cuerpos receptores del cantón La Unión	25
Cuadro 4.1. Proyecciones poblacionales para el cantón de La Unión.....	27
Cuadro 4.2. Resumen de los reportes operacionales trimestrales de la PTAR de la Urbanización Bethel para el año 2014.....	38
Cuadro 4.3. Resumen de los reportes operacionales trimestrales de la PTAR de la Urbanización Monserrat para el año 2014.....	39
Cuadro 4.4. Resumen de los reportes operacionales trimestrales de la PTAR de la Urbanización Las Marianas para el año 2014	39
Cuadro 4.5. Resumen de los reportes operacionales trimestrales de la PTAR de la Urbanización Los Geranios para el año 2014.....	40
Cuadro 4.6. Principales características de las PTAR de administración privada de La Unión.	45
Cuadro 4.7. Parámetros del último reporte operacional disponible de cada PTAR de administración privada en La Unión	47
Cuadro 4.8. Categorización de los principales parámetros muestreados según resultados de los muestreos y el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales	54

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CEQIATEC	Centro Químico de Investigación y Asistencia Técnica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EAAS	Ente Administrativo de Alcantarillado Sanitario
EPA	Environmental Protection Agency
EU	European Union
GAM	Gran Área Metropolitana
ICA	Índice de Calidad de Agua
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
msnm	metros sobre el nivel del mar
OD	Oxígeno disuelto
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
SDT	Sólidos disueltos totales
ST	Sólidos totales
WHO	World Health Organization

RESUMEN

El cantón de La Unión busca prevenir y mejorar la calidad del medio ambiente, ya que presenta deficiencias en el saneamiento ambiental. Como un primer acercamiento para analizar la problemática, la municipalidad del lugar y el Tecnológico de Costa Rica ejecutan el proyecto “Desarrollo de un Plan de Saneamiento para la comunidad urbana del cantón de La Unión”. En este estudio se presentan los resultados de algunos indicadores de saneamiento del cantón: estado de las PTAR y de la red hidrológica (quebrada Chagüite, ríos La Cruz, Chiquito y Tiribí), además de datos de la infraestructura de los hogares del cantón (separación de aguas residuales y pluviales, instalaciones para la gestión de aguas residuales, ubicación y nivel de las salidas de aguas residuales con respecto a la calle), mediante la encuesta respectiva. Se monitorearon los parámetros universales de análisis obligatorio para plantas de tratamiento de aguas residuales, durante el 2014 para las 4 PTAR públicas, y para el 2015 en las 18 de administración privada. Se enlistan deficiencias tales como falta de parámetros de diseño, desconocimiento de las salidas de aguas a los cuerpos receptores, ausencia de plan de mantenimiento, sedimentadores ineficientes, lechos de secado inservibles, y sistemas de aireación colapsados. El monitoreo de los ríos del cantón se realizó mediante parámetros de interés para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales y de análisis obligatorio de vertido, en tres campañas de muestreo. Es necesario mitigar y prevenir la contaminación que tienen en la actualidad, ya que algunos puntos sobrepasan los 10 mg/L de DBO que establece la normativa internacional para ríos de buena calidad, lo que los convierte en insalubres. La cobertura de alcantarillado es muy baja (9 %), y la disposición a conectarse en un futuro alcantarillado, depende de la ubicación de la salida de aguas de cada hogar, y los gastos económicos que implica. El cantón necesita de intervención urgente en saneamiento ambiental, construcción de alcantarillado sanitario, mejoramiento en el tratamiento del agua residual, y eliminación de conexiones ilícitas a cuerpos receptores si en un futuro quiere posicionarse como una Ciudad Sostenible.

Palabras clave: La Unión, Saneamiento ambiental, Aguas residuales, Plantas de tratamiento de aguas residuales, Cuerpos de agua superficial.

ABSTRACT

The community of La Union aim to prevent and improve the quality of the environment, as it shows deficiencies in the environmental sanitation. As a first approach to analyze the problematic, the local municipality and the Tecnológico of Costa Rica are executing the project "Developing of a sanitation plan for the urban community of La Union". This research show the results of some sanitation indicators of the community: the status of the WWTP and hydrological network (rivers: Chagüite, La Cruz, Chiquito y Tiribí), besides community homes infrastructure data(separation of sewage and rain water, facilities for the sewage management, the sewage location and exits level from the street) through the respective survey. Universal parameters required for treatment plants wastewater analyzes were monitored during 2014 for 4 public WWTP and for 2015 in 18 of private management. Deficiencies such as lack of design parameters, lack of water exits to the receiving bodies, no maintenance plan, inefficient settlers, useless drying beds, and aeration systems collapsed. Monitoring of rivers in the city was performed using interest parameters for the Evaluation and Classification of the Quality of the Superficial Water Bodies and dumping analysis required, in three sampling campaigns. It is necessary to mitigate and prevent the pollution they have now, since some points are exceeding 10 mg / L BOD that the international standards set for good quality rivers which makes them unhealthy. Sewerage coverage is very low (9 %), and the willingness to connect in a future sewer, depends on the location of the water outlet of each household, and the economic costs involved. The city need for urgent intervention in environmental sanitation, sewerage construction, improvement in the wastewater treatment, and elimination of illicit connections receiving bodies if in the future the city wants to position itself as a sustainable city.

Keywords: Sanitation, sewage, wastewater treatment plant, superficial water bodies.

1 INTRODUCCIÓN

El estado del saneamiento establece un poderoso indicador del desarrollo humano y la calidad de vida (Undesa, 2014). Vela, desde hace algunos años, entre otras condiciones, por un manejo sanitario adecuado de las aguas residuales y las excretas (Sancho Chavarría, 2008). Ahora bien, las condiciones actuales del cantón de La Unión y de nuestro país, no satisfacen los parámetros deseables de salubridad sanitaria, en el ciclo de la recolección y el tratamiento de las aguas residuales (Mora & Araya, 2008).

Aunque el país tiene elementos positivos; por ejemplo, que una gran mayoría de personas tenga acceso a servicios de saneamiento básico (tanque séptico o alcantarillado sanitario), las técnicas de saneamiento son insuficientes (World Health Organization, 2015), ya que presentan anomalías, tales como conexiones ilícitas o erróneas al alcantarillado sanitario, mala operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, ineficiencia de remoción de contaminantes, falta de infraestructura y de monitoreo (Arias, 2010). Todo esto, provoca que los cuerpos de agua del país y el cantón hayan disminuido radicalmente la calidad de las aguas que contienen (Mora, 2004).

Una forma de conocer el estado actual de la problemática es contabilizar la infraestructura relacionada con el saneamiento ambiental existente: delimitar la zona influenciada por el proyecto (Marín & Ramírez, s.f.); determinar el impacto de la forma del relieve de la zona; contabilizar las conexiones ilícitas al alcantarillado sanitario (Rivera, 2014); analizar los cuerpos receptores actuales (Mora, 2004); estudiar la operación actual de las plantas de tratamiento; registrar la anuencia de la población a la posibilidad de cambios, tales como conexiones nuevas al alcantarillado o cambio del tratamiento dado a las aguas residuales (AyA, 2002).

En este caso, se monitorean las PTAR existentes, la calidad de los cuerpos de agua superficial y la opinión de la población del cantón, en relación con el saneamiento actual.

Se pretende conocer cuál es la situación actual de los sistemas y técnicas en la recolección y el tratamiento de las aguas residuales, mediante un estudio exhaustivo de

todas las variables implícitas: cuerpos receptores, sistemas de tratamiento actuales, cobertura de saneamiento y opinión de la población.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Realizar estudio de prefactibilidad con indicadores adecuados al plan de saneamiento ambiental de las aguas residuales para el cantón de La Unión, Cartago.

1.1.2 Objetivos específicos

Comprobar la gestión actual de aguas residuales y la anuencia de la población al uso y la conexión del sistema de alcantarillado sanitario y el tratamiento de las aguas residuales en del cantón.

Establecer las condiciones del sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales actuales.

Determinar zonas de atención prioritaria para la posterior recuperación de los cuerpos de agua según el grado de contaminación.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 PLAN DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

El saneamiento ambiental es un conjunto de prácticas aplicadas en favor de la manutención de las condiciones aptas para el desarrollo del ser humano y los demás seres vivos: controla, disminuye o elimina riesgos originados de actitudes y prácticas inadecuadas en dotación y control de agua, manejo y tratamiento de aguas residuales, gestión de residuos sólidos, contaminación atmosférica, del suelo, control de vectores biológicos, entre otros (Selva, 2014; Unicef, 2010).

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (*WHO*, 2012), indica que el saneamiento ambiental es “la disciplina que comprende aquellos aspectos de la salud humana, incluida la calidad de vida, que son determinados por factores ambientales físicos, químicos, biológicos, sociales y psicosociales”. El saneamiento ambiental busca prevenir y mejorar la calidad del medioambiente humano y de las demás formas de vida (Campos, 2000).

Un adecuado saneamiento ambiental disminuye las posibilidades de contraer enfermedades causadas por consumo de agua no apta para humanos, mal manejo y ausencia de tratamiento de aguas residuales, o una mala gestión de los residuos sólidos producidos.

Sin embargo, en la Tierra existen cerca de 2,4 mil millones de personas viviendo en condiciones insalubres, la mayoría con un alto nivel de exposición a riesgos de incidencia y dispersión de enfermedades infecciosas (*WHO*, 2015).

Un plan de saneamiento ambiental debe incluir métodos y prácticas que garanticen la manutención de los factores originales una vez usados o desechados. En el caso de las aguas residuales, un plan de saneamiento debe contener la recolección, el manejo, el tratamiento y la disposición de las aguas producidas (Suárez Duque, 2012).

El primer paso es cuantificar la infraestructura disponible en cuanto a saneamiento básico, que en el caso de Costa Rica, se muestra en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Disposición de aguas residuales e instalaciones de saneamiento en Costa Rica para el año 2011

Clasificación	Total (%)
Vertido al sistema de alcantarillado	20,5
Conexión a tanque séptico	74,7
Conexión a pozos de descarga	1,7
Otro cuerpo receptor	0,3
Letrinas secas	1,2
Otros	0,8
NS/NR	0,8

Fuente: WHO, 2015a.

2.1.1 Aguas Residuales

Las aguas residuales son aquellas que se eliminan por medio del servicio sanitario, contienen, principalmente, heces y orina (conocidas tradicionalmente como aguas negras), y que se mezclan con aguas procedentes de lavamanos, duchas, lavadoras y fregaderos (conocidas tradicionalmente como aguas grises). Las aguas residuales son dispuestas normalmente en un tanque séptico, o un alcantarillado sanitario; sin embargo en algunos casos se disponen directamente en un cuerpo receptor, sin el tratamiento previo (Arias, A. comunicación personal, octubre, 2015).

El promedio diario de aguas negras producido por una persona varía, dependiendo del sistema sanitario que utilice, ya que mientras una persona puede producir solo 1,5 litros por día; otras producen entre 25 y 50 litros en las mismas 24 horas, gracias a su sistema de descarga (Hamburg Water Cycle, 2015).

Las aguas residuales, contienen componentes físicos, químicos y biológicos; por ejemplo, presentan una gran cantidad de microorganismos, patógenos, materia orgánica, concentraciones altas de nutrientes, principalmente, fósforo y nitrógeno, aceites y grasas, nutrientes, sólidos y gases (Universidad de Salamanca, s.f.).

No obstante, estas aguas servidas tienen especial importancia en el saneamiento de una persona, comunidad o país, ya que en caso de una mala gestión de ellas, pueden aflorar distintos organismos patógenos (bacterias, protozoarios, helmintos y virus) que provocan diversas enfermedades, por ejemplo: cólera, disentería, fiebres paratifoidea, tifoidea y diarrea; además, implica un mal aspecto de los lugares donde se presenta el problema, presencia de malos olores, filtraciones no deseadas, contaminación de cultivos y de cuerpos de agua receptores, tales como ríos, lagunas y mares (Mihelcic, 2009).

El ciclo de las aguas residuales abarca desde la producción en hogares y otros, la recolección de ellas, filtraciones y fugas, el transporte hacia el tratamiento específico, las conexiones ilícitas a conductos que desembocan en los tratamientos y el estado de los cuerpos de agua receptores (CARE Internacional-Avina, 2012).

En Costa Rica existe una alta cobertura de saneamiento básico, esto es, la cantidad de hogares conectados al sistema de alcantarillado y/o algún otro sistema de disposición de las aguas residuales. Aunque este saneamiento básico, desafortunadamente no asegura un correcto tratamiento y disposición de ellas (Programa del Estado de la Nación, 2013).

Todas aquellas descargas de aguas residuales existentes deben tener un sistema de tratamiento y depuración que remueva o minimice los contaminantes del agua hasta niveles tolerables para el cuerpo receptor, sistemas con un nivel de eficiencia controlada y constante, buscando verter en los cuerpos receptores dentro de los límites establecidos para la normativa de aguas residuales en particular (Chammany, s.f.; Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013).

2.2 PROBLEMÁTICA DE LA ZONA

Un adecuado saneamiento ambiental en aguas residuales envuelve un sinnúmero de factores y situaciones que deben ser monitoreados, de tal manera que se garantice la mejor funcionalidad y eficiencia para cada paso hacia un saneamiento mejorado y constante.

En el cantón de La Unión, se presenta un crecimiento bastante acelerado de la población desde hace algunos años (Cuadro 2.2), lo que ha hecho que las costumbres, actividades y uso del suelo, por ejemplo, se vean alteradas, aumentando el número y el grado de contaminación de las aguas residuales producidas.

Incluso, en el centro del distrito de Tres Ríos, muy cerca del plantel de la municipalidad, se encuentra la quebrada Chagüite que, en muchos sectores, pasa por debajo de edificaciones y casas, debido al hacinamiento y la mala planificación a la hora de construir este sector. El hacinamiento está relacionado con la contaminación de los cuerpos de agua superficial que se encuentran en el lugar (Calvo & Mora, 2012).

Cuadro 2.2. Comportamiento poblacional de La Unión en los últimos censos

Año	Población	Relación con respecto a 1973
1973	23 352	1,00
1984	41 005	1,75
2000	80 279	3,44
2011	99 399	4,26

Fuente: INEC, 2011; Quesada, s.f.

Aunado a esto, el sector empresarial en crecimiento se ubica muy cerca de los principales ríos y quebradas de la zona, lo cual provoca contaminaciones específicas de residuos de los procesos industriales.

Muchos de los hogares que no cuentan con alcantarillado, tienen en sus viviendas un tanque séptico, situación común en el país, aunque estos presentan algunos problemas: remueven solo una parte de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), de un 30 a 40%, alrededor de la mitad de los sólidos y, además, en zonas de densidad poblacional como en La Unión, el suelo puede sobresaturarse con las infiltraciones de los numerosos tanques sépticos, hacinamiento que también dificulta, en algunos casos, la extracción de los residuos del tanque séptico mediante las empresas que brindan el servicio (Tilley, Lüthi, Morel, Zurbrügg, & Schertenleib, 2008).

2.3 INDICADORES DE SANEAMIENTO

Existen una serie de indicadores de saneamiento para una situación o población específica, siendo el más significativo, el tipo de instalaciones de saneamiento utilizadas, aunque aún en ellas no se refleja la calidad del servicio de cada una (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Tipos de instalaciones de saneamiento

Mejoradas	No mejoradas
Conexión a alcantarillado	Letrina pública o compartida
Conexión a sistema de tanque séptico	Letrina de pozo abierta
Letrina de sifón	Letrina de cubo
Letrina de pozo simple	
Letrina de pozo mejorada con ventilación	

Fuente: *United Nations Environment Programme, 2003.*

Ahora bien, el hecho de contar con una instalación de saneamiento mejorada no es el fin del ciclo, ya que muchas de esas instalaciones tienen un inadecuado manejo de las aguas residuales que recolectan, por varias razones: conexiones ilícitas al alcantarillado sanitario (D. Rivera, 2014); tratamiento deficiente o inexistente en el lugar al cual el alcantarillado conduce las aguas; mal funcionamiento de los tanques sépticos existentes (Rosales, 2005), y mezcla de los tipos de agua por tratar.

2.3.1 Indicadores visuales

Algunos indicadores visuales de ineficiencia del sistema de saneamiento del cantón son los siguientes: inexistencia del alcantarillado sanitario en algunos sectores; conexiones ilícitas de aguas pluviales al alcantarillado sanitario y viceversa; conexiones ilícitas a los ríos; tanques sépticos con rebases; alcantarillados bloqueados con residuos sólidos o de insuficiente tamaño; descargas de aguas residuales especiales; presencia de escombros, espumas y distintos colores en el agua de los ríos.

2.3.2 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y privadas

Una forma de conocer la calidad de una gran parte de las aguas que vuelven a cuerpos receptores es analizar las salidas de las PTAR existentes, una vez que han sido tratadas, cumpliendo o no con la normativa respectiva. Se debe estudiar los reportes operacionales que cada uno de los entes administradores realiza en distintos períodos del año.

En los reportes operacionales debe aparecer el nombre del cuerpo receptor, caudal de diseño y caudal promedio, y los parámetros obligatorios universales (MINAE, 2007), que permitirán conocer la eficiencia del tratamiento aplicado.

2.3.3 Calidad del agua de los ríos y cuerpos de agua superficiales

Por otra parte, el grado de contaminación de un cuerpo superficial receptor o río arroja información valiosa sobre el tipo de contaminantes existentes en las aguas que son vertidas en ellos, ya sea con el tratamiento debido, o bien, sin el mismo. La presencia de residuos sólidos, coloración de las aguas, maleza, espumas, olores indeseables, conexiones ilícitas de descarga y otros, son indicadores de un mal sistema de saneamiento previo a las descargas.

Los siguientes son parámetros importantes para diagnosticar el estado de un cuerpo de agua superficial o río.

2.3.3.1 *pH*

El monitoreo de la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ es provechoso, ya que ciertos niveles de pH resultan peligrosos, además, conocer su concentración influye directamente en la dosis de productos químicos que deben ser añadidos para un debido

tratamiento, como reducir la dureza o coagular partículas (Crittenden, Trussell, Hand, Howe, & Tchobanoglous, 2012).

En caso de que el pH sea menor a 5, el flujo en cuestión puede resultar corrosivo para una tubería o provocar altas temperaturas a la hora de entrar en una planta de tratamiento. El intervalo de acidez en el cual se beneficia la proliferación y desarrollo de microorganismos es bastante estrecho, así que para un posterior tratamiento de agua residual, es necesario conocer en donde se encuentra el nivel de pH (Universidad de Salamanca, s.f.).

Por otra parte, el monitoreo del pH es una de las variables más tomadas en cuenta para la supervisión de ríos dentro de los distintos Índices de Calidad del Agua (ICA) históricos, junto con la temperatura, el oxígeno disuelto, DBO₅ y los sólidos disueltos totales (Samboni, Carvajal, & Escobar, 2007; Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

2.3.3.2 Temperatura

La temperatura de las aguas residuales influye en muchos factores y parámetros: desarrollo de la vida acuática, reacciones químicas y velocidades de reacción, densidad y peso específico.

Una mayor temperatura del agua disminuye la concentración de oxígeno disuelto, ya que las velocidades de las reacciones químicas aumentan. Un aumento elevado de la temperatura puede hacer proliferar plantas acuáticas y hongos indeseados.

El desarrollo óptimo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35 °C. Alrededor de los 15 °C las bacterias productoras de metano suprimen su actividad. Además, un cambio brusco de la temperatura del agua puede causar un aumento de la mortalidad de la vida acuática (Universidad de Salamanca, s.f.)

2.3.3.3 Oxígeno disuelto (OD)

Se sabe que el oxígeno disuelto en las aguas es necesario para la respiración de microorganismos aerobios y otros. Los niveles de su concentración dependen de su solubilidad característica, la presión parcial del gas en la atmósfera (altitud), temperatura y pureza del agua; por lo que se convierte en un indicador de la calidad del agua residual y un reflejo de la salud de los sistemas acuáticos. Se estima que alrededor de 5 mg/L es la concentración mínima de O₂ para que se mantenga la vida acuática (Calvo & Mora, 2007; Rivera, Encina, Muñoz-Pedrerros, & Mejías, 2004).

Sus concentraciones suelen verse disminuidas en la época seca, ya que las reacciones que consumen oxígeno son más rápidas con el aumento de la temperatura (Universidad de Salamanca, s.f.).

La presencia de oxígeno evita la formación de malos olores, por lo que es importante que los cuerpos de agua tengan concentraciones adecuadas de OD. Es un parámetro físico-químico que refleja alteraciones en la calidad del agua (Vernier, s.f.).

2.3.3.4 DBO

Es uno de los parámetros de contaminación orgánica más importantes y empleados. Está relacionado con la medición del oxígeno disuelto que consume la vida microbiana con el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Es un parámetro de monitoreo obligatorio.

La oxidación bioquímica es un proceso en teoría infinito, aunque para un período de 20 días, se estima que ya se ha completado alrededor del 95-99 % del proceso, y de un 60 a un 70 % para los primeros cinco días, que resultan en las mediciones de DBO₂₀ y DBO₅, respectivamente (Universidad de Salamanca, s.f.).

Una concentración de DBO mayor a 10 mg/L indica que el cuerpo receptor tiene aguas contaminadas, hasta por debajo de los 3 mg/L se puede considerar una contaminación débil (Rivera et al., 2004).

2.3.3.5 DQO

Este ensayo busca medir el contenido de materia orgánica en las aguas residuales, midiendo la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos (Rosabal, Chang, & Pérez, 2011).

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) de un agua residual suele ser mayor que la DBO, debido al mayor número de compuestos cuya oxidación es llevada a cabo mediante compuestos químicos, frente a la vía biológica (Universidad de Salamanca, s.f.).

2.3.3.6 Conductividad

La medición de la conductividad permite analizar la capacidad del agua en cuestión de conducción de corriente eléctrica, siendo una medida indirecta de la cantidad de iones en solución, mayoritariamente, cloruros, nitratos, sulfatos, fosfatos, sodio, magnesio y calcio (Goyenola, 2007), por lo que se sabe que un agua pura es un mal conductor de electricidad. Esa agua no tendría iones disueltos que incrementaran su conductividad (Crittenden et al., 2012).

Es destacable que, para el caso de las aguas residuales, la conductividad se ve afectada al aumentar la concentración de Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , u otros iones, y factores macro como la vegetación de la cuenca y los usos de los sectores aledaños (Samboni et al., 2007; Toro et al., 2002).

No es una medida específica como para la distinción entre iones, más bien, es una lectura proporcional al efecto combinado de todos los iones presentes (Emerson Process Management, 2010).

De acuerdo con la conductividad presente en un cuerpo de agua superficial, existen limitaciones de uso de las aguas respectivas, como no poder utilizarlas para usos industriales, debido a la posibilidad de corrosiones en la planta o equipos utilizados, o a la ineficiencia en los procesos deseados (Emerson Process Management, 2010).

2.3.3.7 Sólidos Totales (ST)

Los sólidos totales son la materia total resultante de un proceso de evaporación del agua alrededor de los 104°C, éstos contienen los sólidos filtrables y los suspendidos; son un indicador de la cantidad de contaminantes en forma sólida que contiene el agua de los ríos en estudio, parámetro que también permite obtener, junto con el caudal, la cantidad de sólidos totales vertidos en una unidad de tiempo (Espino, 2006).

2.3.3.8 Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Es la suma de varias sustancias disueltas en el agua: sales inorgánicas (calcio, magnesio, bicarbonatos, cloruros, sodio, sulfatos y minerales traza), materia orgánica y otros materiales (Lagger, 2000).

La concentración de Sólidos Disueltos Totales se puede conocer sabiendo el valor de la conductividad, ya que se ha llegado a observar que la relación en soluciones diluidas es representada de la siguiente manera (Crittenden et al., 2012):

$$SDT = 0,5 * Conductividad \text{ (Hanna Instruments, 2015)}$$

2.4 LEGISLACIÓN COSTARRICENSE CORRESPONDIENTE

Existen varias leyes, reglamentos y artículos que dictan normas por seguir en el tema de la gestión de aguas residuales y saneamiento en Costa Rica (Apéndice 1, Cuadro A.1.1).

2.4.1 Reglamento sobre Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601

Según este reglamento, toda aquella persona o ente generador de aguas residuales deberá brindar el tratamiento correspondiente a ellas, además de elaborar los respectivos informes operacionales ante la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud, en caso de que el efluente sea vertido a un cuerpo receptor o alcantarillado sanitario, o bien, sea reusado.

Este reglamento establece las cantidades límites o máximas para parámetros obligatorios y complementarios en el vertido de aguas residuales (Anexo 1, Cuadro A.1.1). Es necesario recordar que, en caso que el Ministerio de Salud, el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) o el Ente Administrador de Alcantarillado Sanitario (EAAS) correspondiente, consideren necesario el análisis permanente de otros parámetros relevantes, éstos deberán ser reportados permanentemente, de forma obligatoria.

Por otra parte, el reglamento contiene las directrices necesarias para la elaboración correcta de los reportes operacionales necesarios, los que deberían incluir: datos generales, disposición de las aguas residuales, medición de caudales, resultados de las mediciones de parámetros por parte del ente generador, resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos, evaluación de las unidades de tratamiento, plan de acciones correctivas, registro de producción, el nombre y la firma del responsable técnico y del propietario o representante legal.

Una parte muy importante son las prohibiciones y las sanciones que ellas ameritan. Se prohíbe la dilución de las aguas residuales para alterar la concentración de contaminantes, verter aguas pluviales en el alcantarillado sanitario, o aguas residuales en el alcantarillado pluvial, o bien, el vertido de lodos residuales, materias peligrosas, aguas residuales de industrias de plaguicidas o contaminadas con sustancias radiactivas, ya sea en cuerpos receptores o en cualquier parte del alcantarillado sanitario (MINAE, 2007).

2.4.2 Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de agua superficiales N° 33903

Este reglamento es claro al indicar que la calidad de algunos cuerpos de agua superficial de nuestro país han venido sufriendo un deterioro progresivo, que ha llegado a causar que se limiten los usos de estas aguas para consumo domiciliario, industrial, riego, pesca o recreación.

Define parámetros físico-químicos de clasificación importante, además de detallar una lista de parámetros complementarios (Anexo 1, Cuadro A.1.2 y A.1.3).

Para todos estos parámetros, se detalla la clasificación entre clase 1 y 5, de acuerdo con el grado de contaminación de cada parámetro.

2.4.3 Ley General de la Salud N° 5395

El capítulo 3 de esta Ley abarca las obligaciones y restricciones para la evacuación sanitaria de excretas y aguas negras. Es claro en declarar la obligatoriedad que las excretas, aguas negras y servidas deben ser eliminadas de una forma adecuada. Indica que los dueños de propiedades son directamente los encargados de contar con un sistema de disposición de excretas y de aguas negras, además de asegurarse que dichos sistemas estén conectados al alcantarillado sanitario, en los lugares donde el servicio esté disponible.

En la Ley también se hace hincapié en nunca descargar aguas pluviales en el alcantarillado sanitario, ni las excretas y aguas negras en el alcantarillado pluvial (Gobierno de Costa Rica, 1973).

2.4.4 Reglamento para la operación y administración del alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales del cantón de La Unión

Se establece como obligatorio construir el alcantarillado sanitario por parte de las personas dueñas de un lote, dentro del mismo, o por los(as) propietarios de urbanizaciones, estos últimos además deben proveer el sistema de tratamiento de la población contenida, incluso hasta tener un 70% de población asentada en el lugar.

Se dictan las especificaciones técnicas del tratamiento de aguas residuales y las formas de dar operación y mantenimiento adecuados, tanto del alcantarillado sanitario como de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

El reglamento comenta acerca de varias prohibiciones: mezclar aguas pluviales con aguas residuales; vertido directo de aguas residuales a los cauces de agua superficial o subterránea, o a terrenos baldíos, sin previo tratamiento, o bien, construir tanques sépticos, en caso que se tenga acceso al alcantarillado sanitario (Municipalidad de La Unión, 2012).

2.5 LEGISLACIÓN INTERNACIONAL

Numerosos estándares de parámetros indicadores han sido desarrollados, en organizaciones como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*EPA*), la Organización Mundial de la Salud (*WHO*) y la Unión Europea (*EU*) (Universidad de Pamplona, s.f.; *WHO*, 1997). Con base en ellos se han elaborado numerosos Índices de Calidad e Índices de Contaminación del Agua a lo largo del mundo para casos específicos (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Índices utilizados para determinación de la calidad de cuerpos de agua superficiales

Nombre del Índice	Parámetros incluidos
Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (Estados Unidos)	OD, coliformes fecales, pH, DBO, temperatura, nitratos, turbidez y sólidos totales.
Índice de Calidad de Agua para el río Des Moines (Estados Unidos)	OD, pH, DBO ₅ , nitratos + nitritos, sólidos suspendidos, turbidez, nitrógeno amoniacal.
Índice de Calidad de Agua de Alberta (Canadá)	pH, porcentaje de OD, DBO, DQO, sólidos suspendidos, nitrógeno amoniacal, nitratos y cloruros.
Proyecto de AMOEBA (Países Bajos)	Utiliza 8 índices: contaminación bacterial, contaminación por nutrientes, producción-respiración, contaminación orgánica, saprobio bentónico, diversidad biológica, contaminación industria y por pesticidas.

Fuente: (Universidad de Pamplona, s.f.)

2.6 TRABAJOS RELACIONADOS

Cuadro 2.5. Investigaciones científicas relacionadas

Lugar del estudio	Objetivo	Características del estudio
Varias ciudades del sureste de Asia.	Analizar la calidad de los cuerpos de agua superficiales.	Parámetros medidos: DBO, DQO, Sólidos suspendidos totales, metales pesados, coliformes totales (Asian Development Bank, 2008).
Gran Área Metropolitana (GAM) y Península de Osa, Costa Rica	Verificar la existencia de la relación entre la densidad poblacional y la contaminación de los ríos.	Muestreo en tres zonas de cada río, se estudiaron los coliformes fecales, y los criterios de evaluación y clasificación contemplados en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales (Calvo & Mora, 2012).
Río Vístula, Polonia.	Determinar contaminantes del río.	Algunos de los parámetros medidos: temperatura, color, turbiedad, pH, oxígeno disuelto, DBO ₅ , DQO (Best, Bogacka, & Niemirycz, 1997).
Ríos Cautín e Imperial, Chile	Establecer la calidad descriptiva de los ríos	Análisis físico-químico (pH, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, conductividad, DBO, DQO y otros) y microbiológico del agua (Rivera et al., 2004).
Río Lavapés, Brasil	Establecer parámetros de contaminación	Se utilizó la DBO, DQO y el OD como parámetros para cuantificar la contaminación de este río (Valente, Padhila, & Silva, 1997).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE ESTUDIO

Existen dos versiones populares sobre el origen del nombre del cantón: una cuenta la travesía de un grupo de misioneros españoles que luego de un convento en Guatemala, instauraron un pequeño poblado en la zona del cantón con indígenas de diferentes grupos culturales; la otra versión se atribuye a que en el cantón se presenta la unión de tres ríos, a saber: Tiribí, Chiquito y La Cruz (Gaviria, 2008).

El cantón de La Unión es el tercer cantón de ocho existentes en la provincia número tres de Costa Rica, Cartago. Cuenta con ocho distritos: Tres Ríos, San Diego, San Juan, San Rafael, Concepción, Dulce Nombre, San Ramón y Río Azul, siendo la cabecera de cantón Tres Ríos. Fue creado mediante la Ley número 36, del 7 de diciembre de 1848.

Limita al norte con Montes de Oca (San José); al oeste con Curridabat (San José) y Desamparados (San José); al este con Cartago (Cartago); al sur con Desamparados (San José) y Cartago (Cartago).

El cantón una extensión geográfica de 44,83 km², yendo desde los 1200 hasta los 1650 metros de altura. Sus coordenadas geográficas medias son: 09°54'49" latitud norte y 83°59'51" longitud oeste (Instituto de Formación y Estudios en Democracia, 2009).

Según el censo de 2011, el cantón se encontraba cerca de llegar a los 100 000 habitantes. El mayor centro poblacional es el distrito de San Diego (INEC, 2011).

El Proyecto “Desarrollo de un Plan de Saneamiento Ambiental para la comunidad urbana del cantón de La Unión”, comprende la mayoría del cantón, específicamente, aquellas zonas que se encuentran por encima de la cota de 1300 msnm, la cual sirve como límite (Figura 3.1), teniendo en cuenta que las áreas geográficas que se encuentran en el cantón por debajo de esta zona podrán ser conectadas al sistema de tratamiento de la PTAR Los Tajos, en La Uruca.

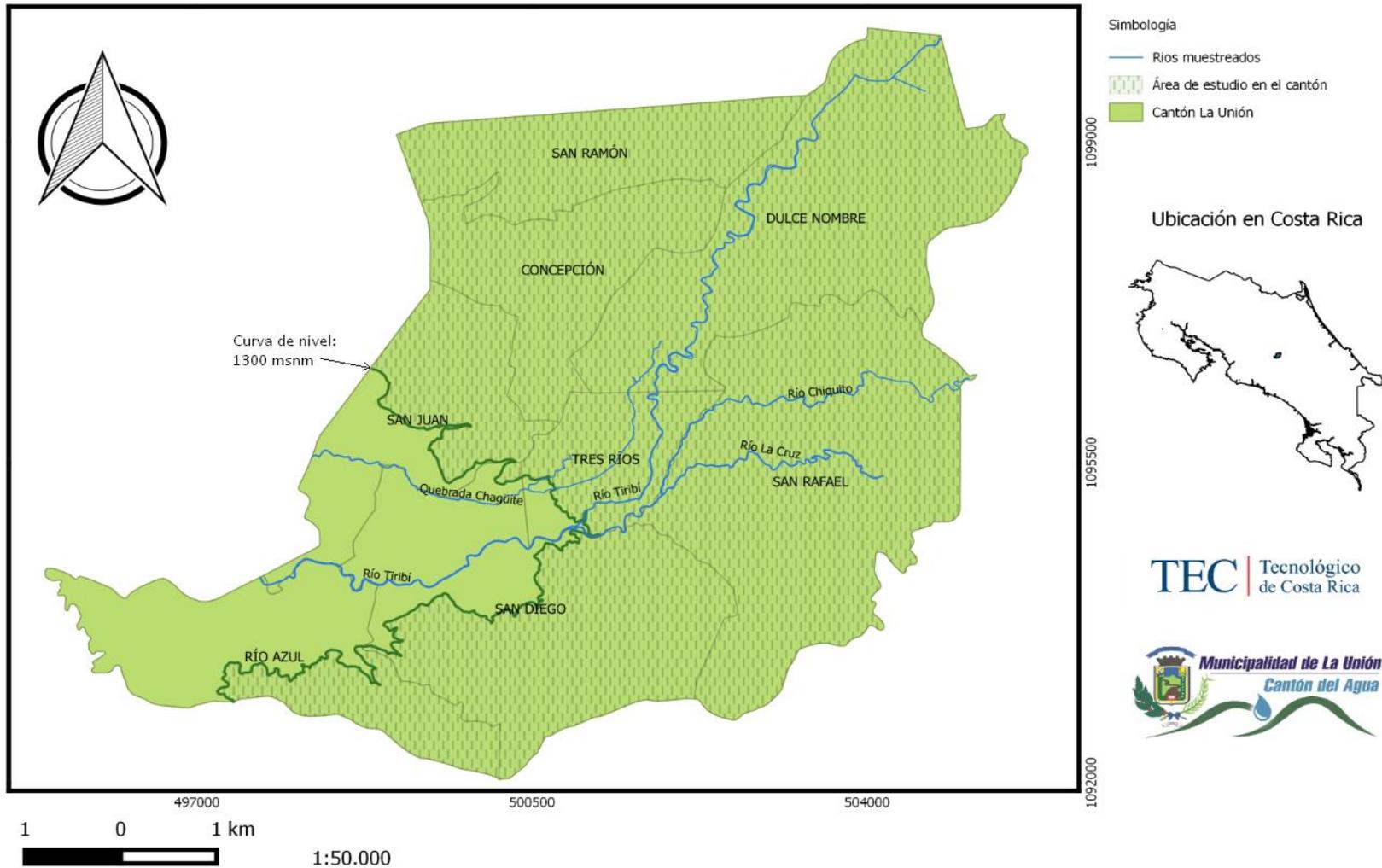


Figura 3.1. Área de influencia para el proyecto

Existe una red fluvial principal, que incluye: río Tiribí, río La Cruz, quebrada Chagüite y río Chiquito. El sistema fluvial del cantón es parte de la vertiente del Pacífico costarricense, que desemboca en la cuenca del río Grande de Tárcos (CNE, 2008).

Climatológicamente hablando, el cantón se encuentra en la región Central, de manera específica, en la parte oriental, donde se suele presentar un periodo seco entre diciembre y marzo, y el lluvioso entre los meses de mayo y octubre, teniendo a abril y noviembre como meses de transición (Instituto Meteorológico Nacional, 2009).

Los tipos de suelo, mayoritariamente presentes en la región, son los litosoles, andosoles y latosoles (Instituto Meteorológico Nacional, 2009).

En el sector empresarial, las presencias más significativas son de CoopeUnión R.L., Beneficio el Patalillo S.A., Beneficio Bellavista S.A., Tienda Terramall, Pricesmart, Irex, Bioland y Praxair (Gaviria, 2008).

En la actualidad, la municipalidad, mediante el área de Desarrollo Socioeconómico, tiene distintos programas destinados a promover el crecimiento personal, social y económico de las personas del cantón, en temas como: salud, educación, generación de oportunidades para micro y pequeñas empresas, derechos humanos, ambientes libres de violencia, promoción de relaciones interpersonales y familiares saludables, liderazgo, entre otros (Municipalidad de la Unión, 2012).

3.2 ENCUESTA A DOMICILIO EN LA UNIÓN

Era necesario conocer la opinión de la población que habita en el cantón de La Unión, entre otros aspectos es importante definir qué conoce la población en cuanto a saneamiento básico, específicamente en las temáticas de aguas residuales, aguas pluviales y recolección de residuos sólidos (información solicitada por la Municipalidad de La Unión, específicamente, por la Unidad Ambiental).

3.2.1 Escogencia de la población por encuestar

De la población total de La Unión se descartó la zona influenciada por la I Etapa del Proyecto de Mejoramiento Ambiental de San José, que son las de las zonas del cantón por debajo de los 1300 msnm (Figura 3.1), ya que ese sector tendrá alcantarillado sanitario con colectores que llevarán las aguas por tratarse en la nueva PTAR de los Tajos, en La Uruca, Costa Rica.

Además, se eliminó aquellos residenciales y zonas que cuentan con su propio sistema de tratamiento, además de los sectores influenciados por las plantas de tratamiento de aguas residuales administradas por la municipalidad (Figura 4.11).

Se estimó el número de hogares por encuestar, con ayuda de las imágenes satelitales de Google Earth y el mosaico catastral proporcionado por la oficina de la Unidad Ambiental, para un total de 10 234 hogares, luego, el área resultante se segmentó de tal manera, que cada encuestador estuviera designado por cubrir una zona por turno, con el mismo número de personas por entrevistar por encuestador, para un total de 38 zonas y un total de 857 hogares encuestados (Apéndice 3, Cuadro A.3.1).

3.2.2 Aplicación de las encuestas

Para la aplicación de las encuestas se contó con un equipo de trabajo de varias personas: profesores(as) de la carrera de Ingeniería Ambiental y líderes del proyecto: M.Sc. Diana A. Zambrano y el Ing. Macario Pino Gómez; estudiantes líderes del proyecto Óscar Montero y el sustentante, alumnos voluntarios(as) de la carrera de Ingeniería Ambiental y personal de la Municipalidad de La Unión.

3.2.3 Composición de la encuesta

La encuesta pretendió obtener información acerca de la opinión de las personas sobre la recolección de residuos sólidos por parte de la municipalidad (información para

Unidad Ambiental), acerca de las condiciones del agua intradomiciliar suministrada, y la situación actual del manejo de las aguas residuales, junto con la disponibilidad de las personas hacia la posibilidad de una conexión al alcantarillado sanitario (Apéndice 5, Figura A.5.1 y A.5.2).

3.2.4 Análisis de resultados de encuesta

Se levantó una base de datos con las respuestas de la población encuestada en el programa Microsoft Excel, para luego realizar gráficos que indicaran el comportamiento de las respuestas, de distintas formas: por distritos, totales y por zonas encuestadas.

En el mosaico del cantón provisto por la Municipalidad de La Unión, se trazó los polígonos correspondientes a las zonas de encuesta, y cada polígono se rellenó con un color en función de la presencia de una respuesta específica para cada pregunta. El color cambia de acuerdo con el porcentaje de la población que comparte el mismo criterio.

Los dibujos trabajados sobre el mapa catastral de La Unión y Autodesk AutoCAD se exportaron a QGIS, para facilitar su representación en este documento escrito.

3.3 INFORMACIÓN DE LAS PTAR DEL CANTÓN

3.3.1 Recolección de información

El primer paso fue realizar una visita a las PTAR existentes en el cantón, mismas que son operadas por la municipalidad de La Unión; además, se solicitó toda la documentación necesaria para conocer el estado actual de ellas, como lo son: planos de diseño, bitácora de manejo de aguas residuales, reportes operacionales, caudales promedio de entrada (MINAE, 2007), aunque en algunas de las plantas no se lleva monitoreo de todos los elementos necesarios.

Por otra parte, se buscó mediante el Ministerio de Salud los reportes operacionales que permitieran tener la lista actualizada de las PTAR administradas por la empresa privada dentro del cantón, para dar seguimiento a la ubicación, existencia y tipo de PTAR. Una vez ubicadas las plantas, la municipalidad aportó el transporte y se realizó una visita de reconocimiento a cada una de ellas en compañía del señor Edward Matamoros Boza, operador de las plantas de tratamiento municipales. Se facilitó el ingreso a la mayoría de plantas privadas, pues esta es una facilidad que sólo tiene el personal del Ministerio de Salud (MINAE, 2007).

En todas las PTAR se realizó la debida georreferenciación con el GPS Garmin 64 s, en las que se facilitó la entrada, se analizó el tipo de tratamiento existente o, en caso de no conseguir el permiso, se consiguió la información de parte del Ente Administrador de cada PTAR.

3.3.2 Análisis de resultados

Las visitas arrojaron información valiosa del estado actual de las PTAR, así como de la ubicación de las salidas de aguas residuales a cuerpos receptores. Los reportes operacionales obtenidos reflejan la calidad de la salida de las distintas PTAR, basándose en los parámetros de la legislación costarricense (MINAE, 2007).

Se generó gráficos del comportamiento de los principales parámetros para las PTAR de administración pública; además, se señalará en los Cuadros 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 los parámetros que sobrepasan la norma vigente, y los que se encuentran cerca del límite, considerando un margen de menos de 10 % de error, con respecto al límite máximo.

3.4 MONITOREO DE CUERPOS RECEPTORES DE AGUA SUPERFICIAL

3.4.1 Monitoreo de cuerpos receptores

Se buscó distintos puntos específicos de donde tomar muestras representativas de los cuerpos de agua más importante del cantón, en algunos casos, antes de pasar por el casco central de La Unión, en la parte media y río abajo, donde se da la unión del río Chiquito con el río La Cruz; además de la unión del resultante (río Chiquito) con el río Tiribí (Figura 4.12), para desarrollar un muestreo con los parámetros según la legislación costarricense (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Parámetros analizados en los principales cuerpos receptores del cantón La Unión

Parámetro	Tipo de parámetro	Límite máximo para parámetros de aguas residuales vertidas en cuerpo receptor
DBO _{5,20} (mg/L)	Universal ^a	<50
DQO (mg/L)	Universal	<150
pH	Universal	5≤pH≤9
Temperatura °C	Universal	15≤T≤40
Oxígeno disuelto (mg/L)	Requerido ^b	<5 imposibilita el desarrollo de vida acuática
Conductividad (μS/cm)	Necesario para STD	No especificado
Sólidos totales (mg/L)	Necesario para Sólidos en Suspensión	No especificado
Sólidos sedimentables (ml/L)	Universal	≤5
Caudal	Necesario para cargas orgánicas	No especificado

^a según el Reglamento sobre Vertido y Reúso de Aguas Residuales. ^b según Índice Holandés de Valoración de la Calidad para los cuerpos receptores de aguas superficiales.

Fuente: MINAE, 2007.

3.4.1.1 *Análisis in situ*

En cada punto muestreado se procedió a analizar en el sitio los siguientes parámetros: caudal, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura y pH, el caudal mediante tres distintas técnicas: con correntómetro, con molinete y el volumétrico (Apéndice 2), mientras que los demás parámetros se realizaron mediante instrumentos específicos para

cada parámetro, excepto para el pH y la temperatura, que se midieron con el mismo aparato (Apéndice 2).

3.4.1.2 *Análisis ex situ*

Por otra parte, en el laboratorio CEQIATEC, perteneciente al Tecnológico de Costa Rica, se realizó los análisis pertinentes a DBO, DQO y Sólidos totales, según los lineamientos en el Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (Eaton & Franson, 2005), con las muestras en botellas de 250, 500 y 1000 ml que se trajeron de los ríos, conservadas a una baja temperatura (alrededor de los 10° C) hasta llegar al laboratorio, para su debido análisis.

3.4.1.3 *Análisis de resultados del muestreo*

Para el caudal se desarrolló las operaciones necesarias para conocer el flujo en cada punto muestreado por medio de las hojas electrónicas de Microsoft Excel, mediante la obtención del área superficial multiplicada por la velocidad promedio obtenida, esto para el caso del correntómetro y del flotador. Para los demás parámetros; se obtuvo el promedio en las medidas realizadas. Los Sólidos Totales Disueltos se calcularon por relación lineal y directa con la conductividad.

Se realizó gráficos con los parámetros de interés para estudiar los cambios en los valores de un punto a otro de la misma cuenca. También se generan mapas con el programa QGIS, que permitió conocer las distancias comprendidas entre estos puntos de muestreo en los debidos cuerpos de aguas superficiales, con la debida descripción de la zona en que se encuentra dentro del cantón (Figura 4.11 y 4.12).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PROYECCIONES POBLACIONALES PARA LA DURACIÓN DEL PROYECTO

La población será cada vez más densa en el cantón según las proyecciones (Figura 4.1), hasta un 16 % en 14 años, lo que hace suponer que las condiciones ambientales y sanitarias del cantón aumentarán en forma proporcional al crecimiento poblacional. De mantenerse las prácticas sanitarias actuales, se estima que la calidad del saneamiento empeorará en especial en los actuales focos de contaminación.

Cuadro 4.1. Proyecciones poblacionales para el cantón de La Unión

Cantón o distrito	2011	2015	2020	2025
La Unión	101 195	106 490	112 508	117 505
Tres Ríos	9 187	9 303	9 328	9 221
San Diego	22 143	23 416	24 845	26 055
San Juan	14 042	14 771	15 506	16 079
San Rafael	14 313	15 060	15 962	16 718
Concepción	16 833	17 783	18 873	19 796
Dulce Nombre	7 970	8 452	9 063	9 611
San Ramón	4 091	4 257	4 460	4 615
Río Azul	12 616	13 448	14 471	15 410

Fuente: INEC.

4.2 RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES SEGÚN ENCUESTA APLICADA

4.2.1 ¿Las aguas grises dentro de su hogar se encuentran separadas de las aguas residuales?

De los hogares encuestados; 698 separan las aguas grises del resto de aguas residuales, lo que representa 81,4% de la población. Sin embargo, sectores como la zona número 19, en los alrededores de la Plaza Monserrat, en Concepción de La Unión, 85 familias dicen no separar dichas aguas; lo que representa el 9,9% de la población. Situación contrastante con la observada en la mayoría del cantón (Figura 4.1), lo que llama la atención es que en esta zona no existe una planta de tratamiento para las aguas

residuales. Entonces se deducen varios escenarios, uno que el tratamiento in situ se da únicamente para aguas negras y las aguas grises son llevadas directamente a los ríos o no se separan, y el 100% de las aguas del hogar in situ son tratadas en tanque séptico.

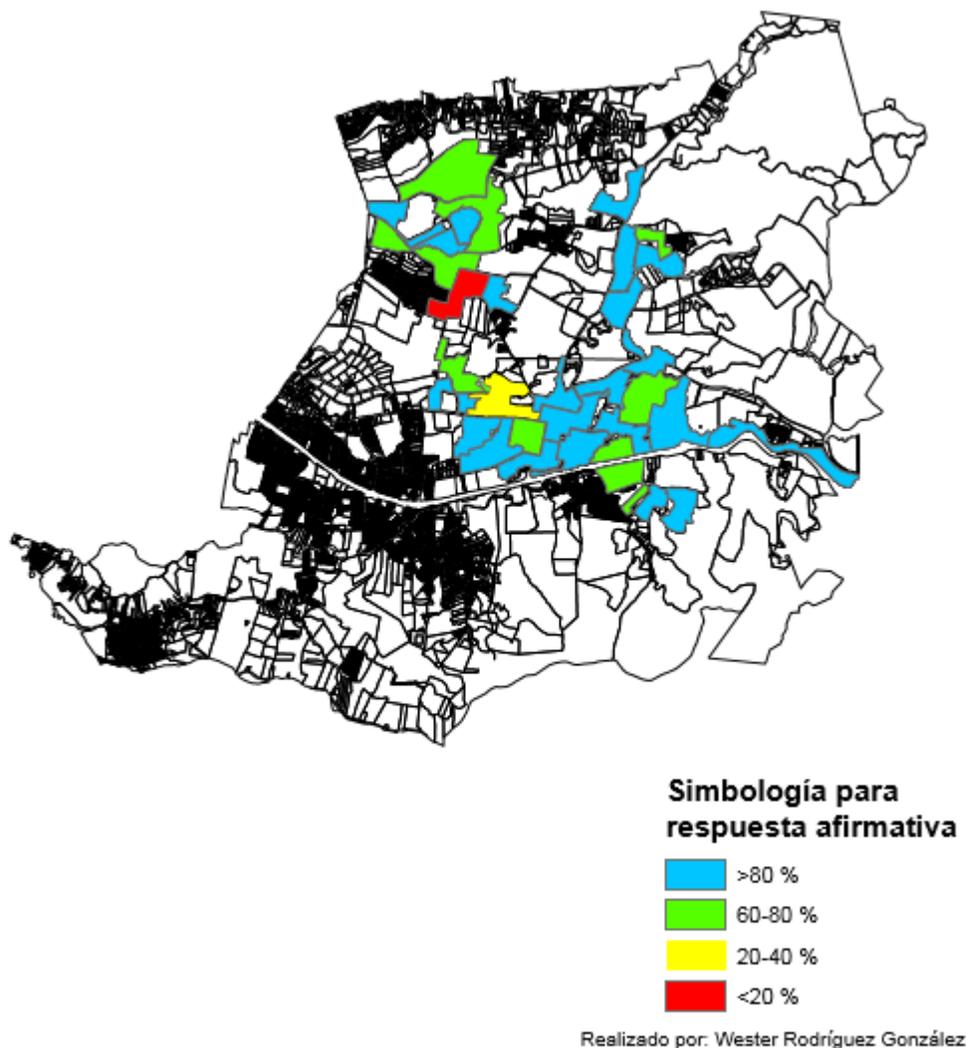


Figura 4.1. Separación en hogares de aguas grises y aguas residuales.

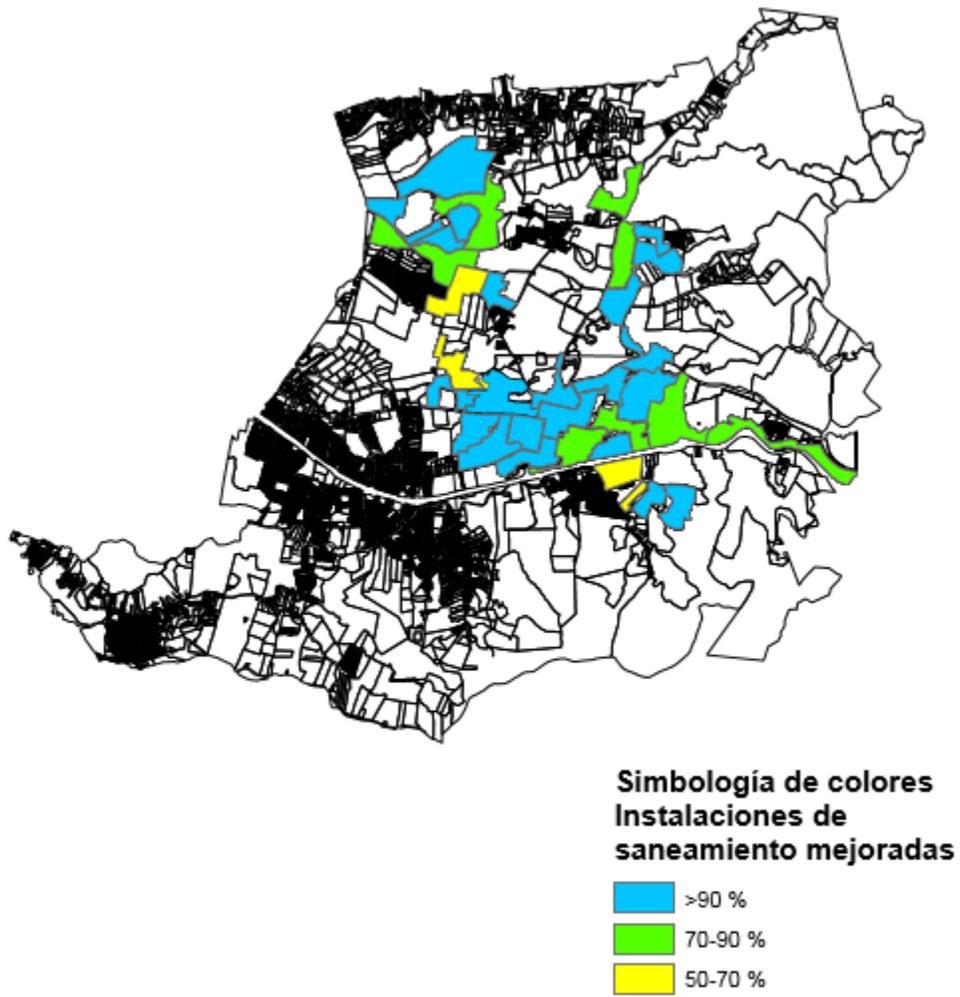
4.2.2 Gestión actual de las aguas residuales: ¿posee instalaciones de saneamiento mejoradas? (Alcantarillado o tanque séptico con campo de infiltración, otras)

La cobertura de la población con alguna de las instalaciones de saneamiento mejoradas es tan alta como la del promedio de Costa Rica (Cuadro 2.1). En el caso del cantón de La Unión, el porcentaje de la población que posee tanque séptico o hace su descarga a un alcantarillado sanitario es de 90,4%.

De la cobertura actual, 80,9 % corresponde a tanques sépticos y la mayoría se relaciona con los mismos sectores censales en donde se separan las aguas grises de la totalidad de las aguas residuales (Figura 4.2). El alcantarillado sanitario representa el 9,5% y lo más preocupante es que 8,5% de la población afirma descargar directamente las aguas residuales directamente a los ríos o quebradas, o bien desconocen el sitio de descarga

Es importante señalar; a modo de ejemplo, que en el segmento censal 19, donde la población no separa aguas grises del resto de las aguas residuales, tampoco hay alcantarillado sanitario ni tanque séptico. Por lo que es posible que ese porcentaje de la población descargue sus aguas sin tratamiento al cuerpo de agua. Por otro lado, en las zonas donde existe alcantarillado, no necesariamente existe planta de tratamiento. Es decir, las conexiones se realizan al alcantarillado y es posible que la descarga final sea al cuerpo receptor sin el debido tratamiento. En los sectores cercanos a Calle Vieja, la que en el pasado fue la principal vía de comunicación de San José con Cartago, no existe ningún tipo de alcantarillado, por lo que se convierte en un sector que requiere atención inmediata (figura 4.3).

El problema actual consiste en que se deja a la deriva muchas aguas residuales que son expulsadas de los hogares, sin que éstos tengan alcantarillado, a expensas de que exista un tanque séptico adecuado, o teniendo estas que ser expulsadas en cuerpos de agua superficiales, tales como los ríos del cantón, esto hace aumentar la contaminación y por lo tanto los problemas de saneamiento básico.



Realizado por: Wester Rodríguez González

Figura 4.2. Uso de instalaciones mejoradas de saneamiento en la población encuestada

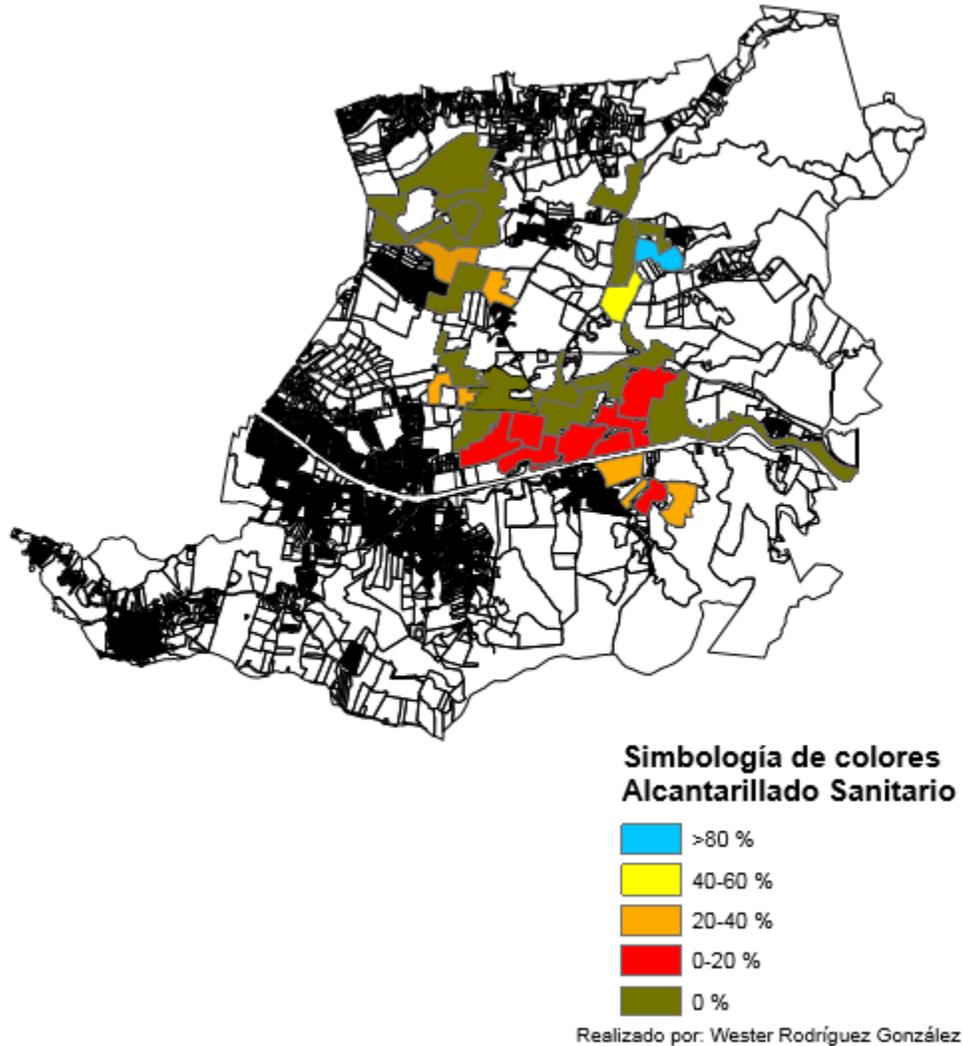


Figura 4.3. Disponibilidad actual al alcantarillado sanitario en la población encuestada

4.2.3 ¿La salida de las aguas residuales se encuentra al frente del hogar?

En los hogares del cantón de La Unión, 34% poseen conexión en la parte posterior de su vivienda, 60% en el parte frontal y el resto de la población no tiene certeza de la ubicación de la prevista de alcantarillado o la ubicación del tanque séptico. Si la municipalidad decide construir una red de alcantarillado sanitario; al menos al 60% de la población se le facilitará las labores de interconexión. Pero se debe planear una estrategia para el 40 % que debe conectarse y, actualmente, no tiene salida de aguas residuales al frente del hogar (Apéndice 7, Cuadro A.7.3), ya que podrán ser objeto de mayores

erogaciones económicas correspondientes a la conexión a ese mismo alcantarillado sanitario.

Destacable la zona número 10, sector aledaño a la Municipalidad de La Unión y a la Calle Vieja, que por diversas razones tienen prácticamente todas las salidas de agua por la parte de atrás de las edificaciones (Figura 4.4).

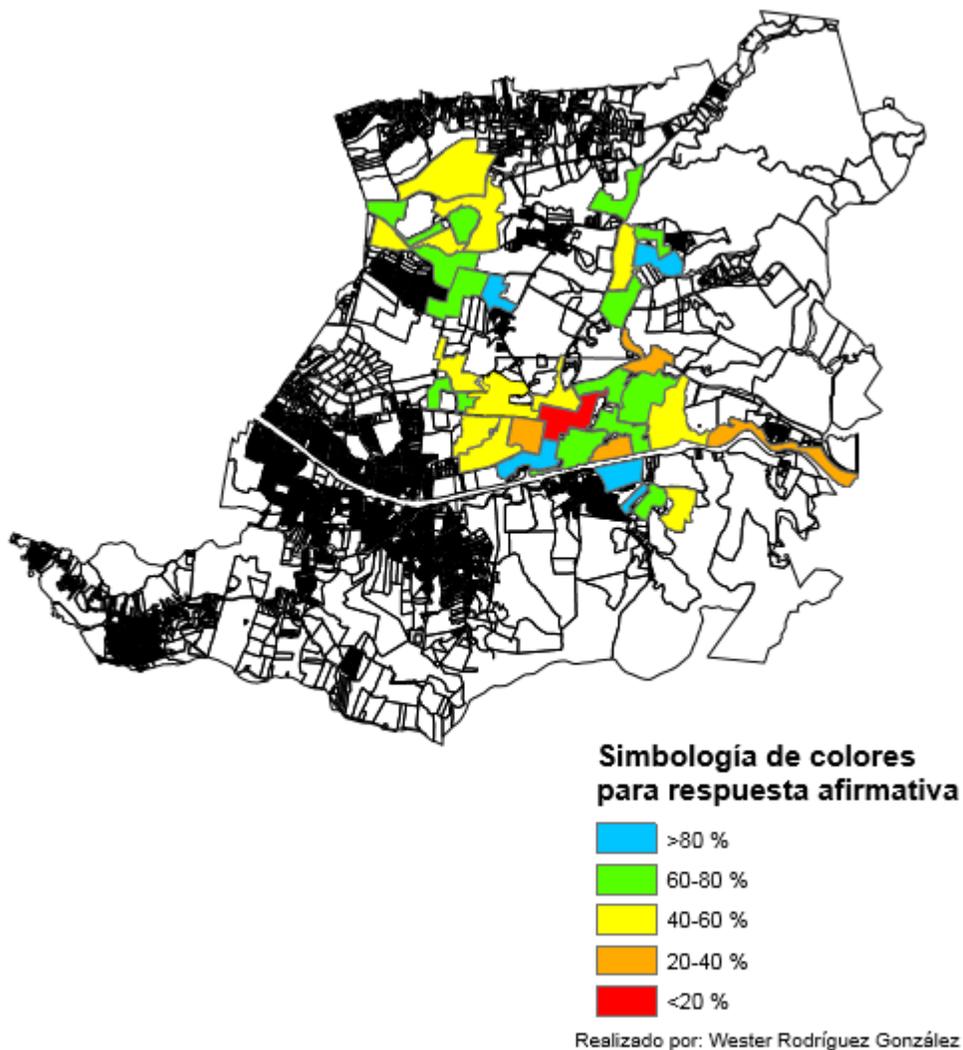


Figura 4.4. Población encuestada con salida de aguas residuales al frente del hogar.

4.2.4 ¿El nivel de la vivienda se encuentra por encima del nivel de la calle?

Según los datos de la encuesta, el 70,6% de la población posee la vivienda en un nivel superior al nivel de calle, en contraposición con 25,9% cuyo nivel es inferior al nivel de la calle. El resto de los encuestados no estaban seguros. Con esta información se realizó el mapa respectivo. La Figura 4.5 denota una ligera tendencia a que los sectores cercanos a Calle Vieja presentan niveles de edificaciones por encima del de la calle, de esta forma, sería más sencillo y económico pensar en la forma de conexión al alcantarillado sanitario que se prevé construir con el proyecto.

Para aquellos sectores que se encuentren por debajo del nivel de la calle, aproximadamente una cuarta parte de la población encuestada, se deberá buscar la manera más eficiente y económica de hacer llegar las aguas residuales al futuro alcantarillado.

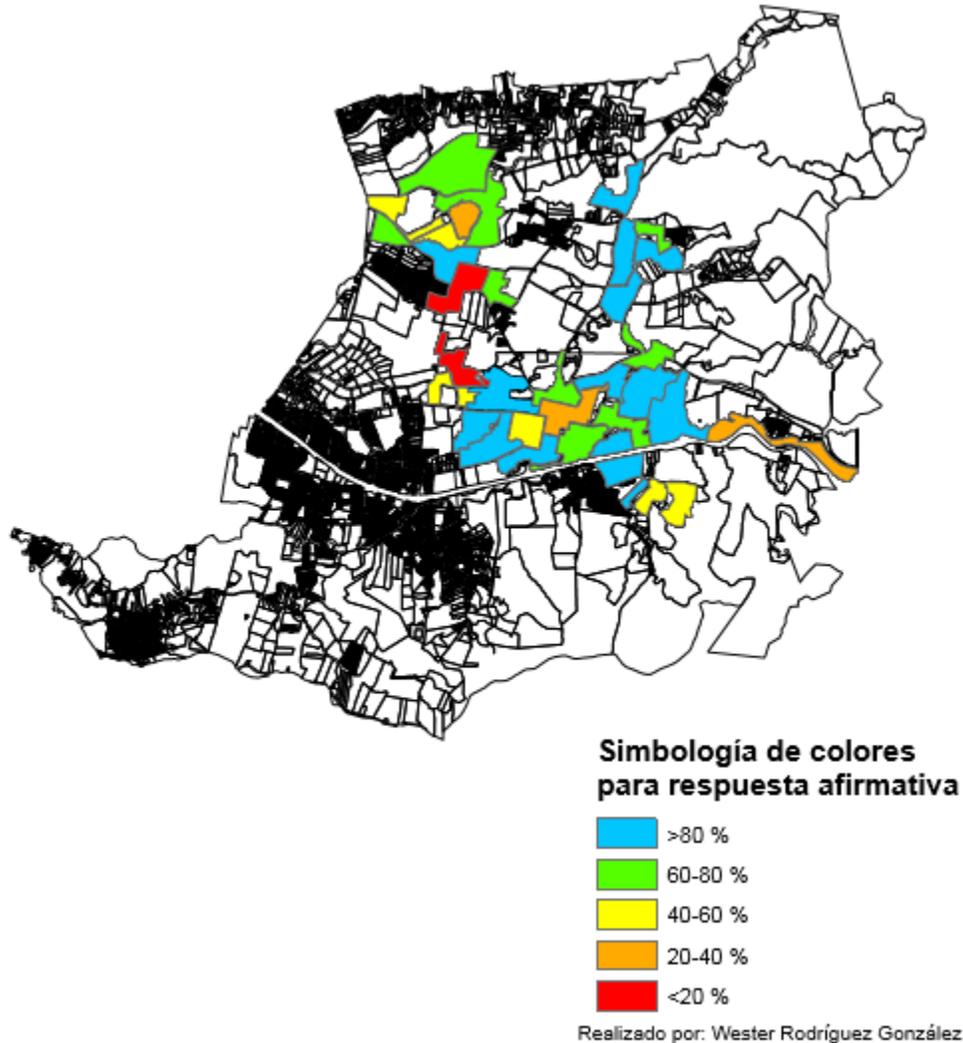


Figura 4.5. Población encuestada con el nivel de la salida de aguas residuales por encima del de la calle.

4.2.5 Si su hogar cuenta con salida de aguas residuales por el frente ¿estaría dispuesto(a) a conectarse a una futura red de alcantarillado sanitario?

Cuando la salida de aguas residuales del hogar se ubica al frente de la edificación, las personas presentan la tendencia de aceptar las condiciones de conexión a una futura red de alcantarillado sanitario (Figura 4.6), ya que 81 % de la población dice colaborar con la municipalidad para realizar la conexión necesaria, incluso, económicamente (Apéndice 7, Cuadro A.7.5).

Esto se debe, en gran parte, a que muchas personas ya tienen una prevista de salida de agua residual, justo donde pasaría la red de alcantarillado futura, por lo que la inversión de tiempo, esfuerzo y, sobre todo, de dinero, se vería mermada.

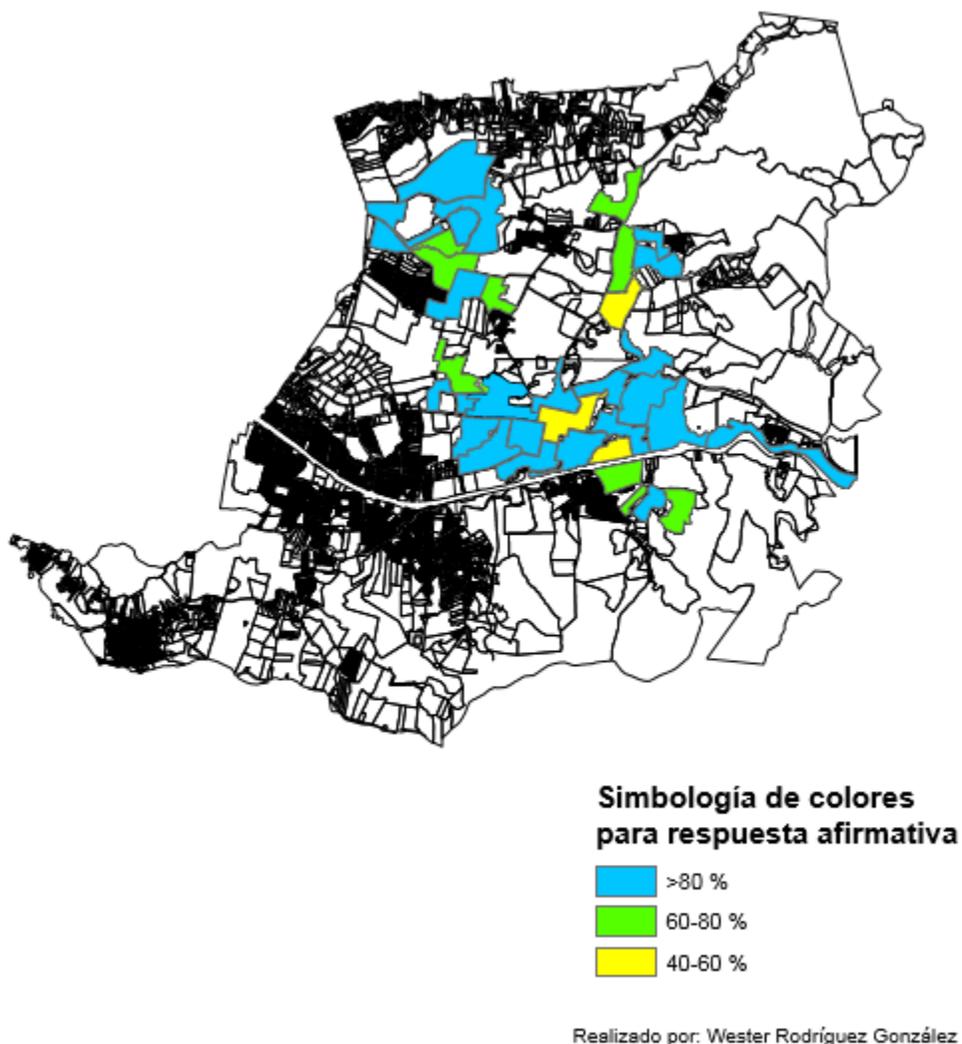


Figura 4.6. Disponibilidad para la conexión al alcantarillado sanitario con salida de aguas residuales al frente del hogar.

4.2.6 Si su hogar cuenta con salida de aguas residuales por la parte trasera ¿estaría dispuesto(a) a conectarse a una futura red de alcantarillado?

La disposición para la conexión a un alcantarillado sanitario es muy baja, cuando la salida de aguas residuales se presenta en la parte trasera del hogar (Figura 4.7), apenas un 28 % de la población estaría dispuesta a conectarse al alcantarillado sanitario.

Solamente una de las 34 zonas encuestadas presenta una disponibilidad mayor al 80% para su inclusión en el proyecto, la zona censal número 5, correspondiente a la calle Vargas, calle Chavarría alrededores del Polideportivo de La Unión. Mientras que las zonas encuestadas cercanas al distrito Dulce Nombre presentan un comportamiento del 20 % o menos de personas dispuestas a realizar la conexión, considerando factores limitantes como la poca factibilidad económica para hacer una remodelación del hogar, poco espacio para tuberías, poco espacio en el terreno o simplemente por razones económicas.

Estas últimas dos preguntas eran hechas, aclarando la diferencia de costos entre una conexión a una salida de aguas residuales por el frente del hogar, contra una por detrás del mismo (Toro et al., 2002).

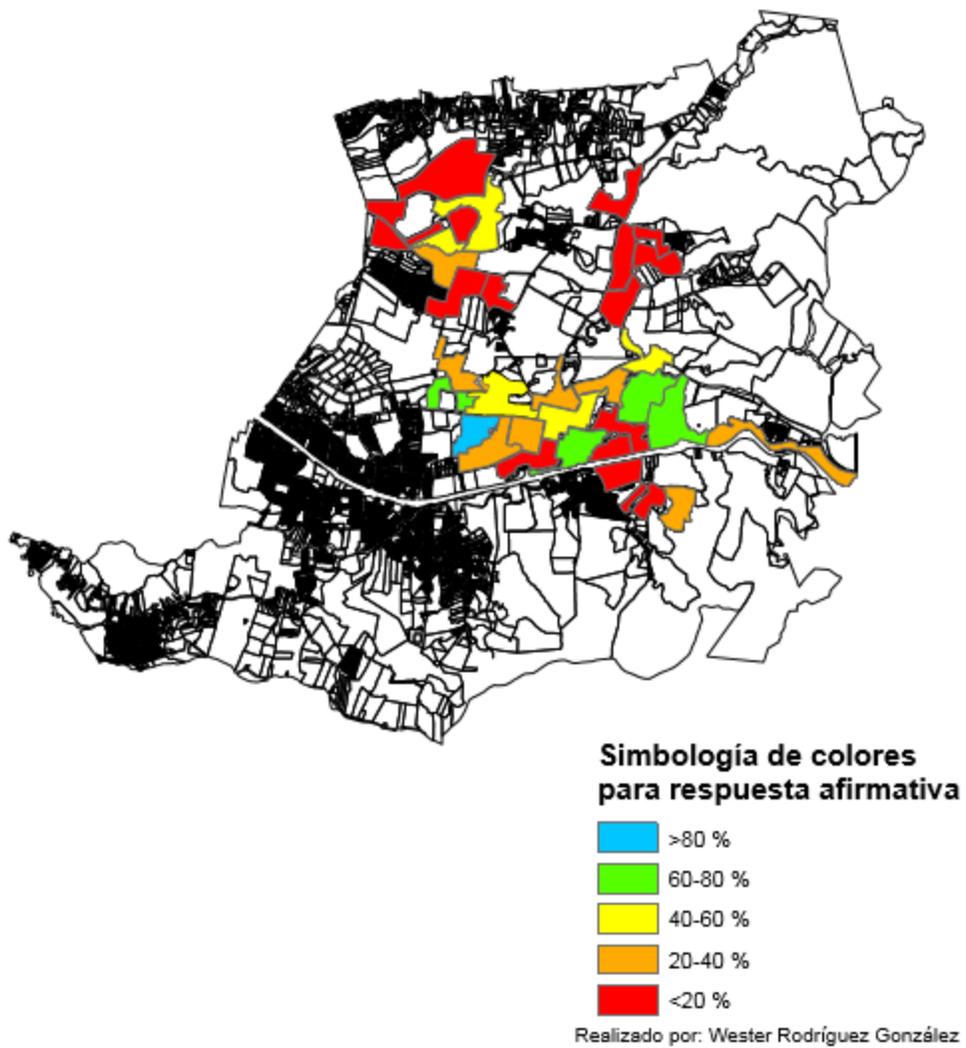


Figura 4.7. Disponibilidad para la conexión al alcantarillado sanitario con salida de aguas residuales en la parte trasera del hogar

4.3 ESTADO ACTUAL DE LAS PTAR DEL CANTÓN

4.3.1 Reportes operacionales y de visitas a las PTAR administradas por la municipalidad de La Unión

El estado de las plantas de tratamiento de agua residual administradas por la Municipalidad de La Unión es bueno y constante, considerando parámetros nacionales, aunque sí han presentado problemas puntuales en épocas recientes (Cuadro 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5).

Cuadro 4.2. Resumen de los reportes operacionales trimestrales de la PTAR de la Urbanización Bethel para el año 2014

Período	Primer trimestre	Segundo trimestre	Tercer trimestre	Cuarto trimestre
Parámetro				
Monitoreo por el ente generador (Lidia Garita Rodríguez)				
Caudal promedio (m ³ /día)	91	81	95	63
Caudal máximo (m ³ /día)	98	95	105	107
pH	7.02	7.22	7.48	7.61
Sólidos sedimentables (± 0.10 ml/l)	0.41	0.38	0.39	0.27
Temperatura (°C)	24.90	26.30	24.39	25.00
Análisis físico-químicos y microbiológicos (Laboratorio Nacional de Aguas)				
DBO (± 10 mg/l)	12	16	26	17
DQO (± 8 mg/l)	28	28	58	40
pH (± 0.10)	7.15	7.58	6.47	7.21
Temperatura (± 0.1°C)	26.2	23.8	21.0	25.5
SST (± 1.0 mg/l)	18.0	22.0	32.0	31.0
Sólidos sedimentables (± 0.1 ml/l)	0.0	0.0	0.0	0.0
Grasas y Aceites (± 0.5 mg/l)	4.1	2.7	2.1	2.2
Sustancias activas al azul de metileno (± 0.4 mg/l)	1.3	1.9	0.65	1.5
Cuerpo receptor: quebrada La Carpintera			Tipo de PTAR: Lodos activados	

Fuente: Municipalidad de La Unión.

Cuadro 4.3. Resumen de los reportes operacionales trimestrales de la PTAR de la Urbanización Monserrat para el año 2014.

Período	Primer trimestre	Segundo trimestre	Tercer trimestre	Cuarto trimestre
Parámetro				
Monitoreo por el ente generador (Lidia Garita Rodríguez)				
Caudal promedio ($\pm 36.3 \text{ m}^3/\text{día}$)	355.0	320.0	339.0	388.0
Caudal máximo ($\pm 36.3 \text{ m}^3/\text{día}$)	481.0	463.0	412.0	447.0
pH (± 0.13)	7.08	7.47	7.94	7.93
Sólidos sedimentables ($\pm 0.10 \text{ ml/l}$)	0.54	0.59	0.57	0.51
Temperatura ($\pm 0.63 \text{ }^\circ\text{C}$)	22.50	24.94	23.54	22.81
Análisis físico-químicos y microbiológicos (Laboratorio Nacional de Aguas)				
DBO ($\pm 10 \text{ mg/l}$)	20	25	41	41
DQO ($\pm 8 \text{ mg/l}$)	44	59	117	117
pH (± 0.10)	6.87	6.75	7.27	7.27
Temperatura ($\pm 0.1^\circ\text{C}$)	26.2	24.0	25.0	25.0
SST ($\pm 1.0 \text{ mg/l}$)	14.0	39.0	41.0	41.0
Sólidos sedimentables ($\pm 0.1 \text{ ml/l}$)	0.0	0.0	0.0	0.0
Grasas y Aceites ($\pm 0.5 \text{ mg/l}$)	9.3	5.2	6.2	6.2
Sustancias activas al azul de metileno ($\pm 0.4 \text{ mg/l}$)	4.4	2.6	4.8	4.8
Cuerpo receptor: río María Aguilar		Tipo de PTAR: Reactores Biológicos Secuenciales		

Fuente: Municipalidad de La Unión.

Cuadro 4.4. Resumen de los reportes operacionales trimestrales de la PTAR de la Urbanización Las Marianas para el año 2014

Período	Segundo trimestre	Cuarto trimestre
Parámetro		
Monitoreo por el ente generador (Lidia Garita Rodríguez)		
Caudal promedio ($\pm 13.7 \text{ m}^3/\text{día}$)	17.4	15.1
Caudal máximo ($\pm 13.7 \text{ m}^3/\text{día}$)	20.0	38.7
pH (± 0.49)	7.74	7.96
Sólidos sedimentables ($\pm 0.10 \text{ ml/l}$)	0.01	0.07
Temperatura ($\pm 0.37 \text{ }^\circ\text{C}$)	24.66	23.52
Análisis físico-químicos y microbiológicos (Laboratorio Nacional de Aguas)		
DBO ($\pm 10 \text{ mg/l}$)	38	37
DQO ($\pm 8 \text{ mg/l}$)	73	92
pH (± 0.10)	7.98	7.70
Temperatura ($\pm 0.1^\circ\text{C}$)	24.6	24.0
SST ($\pm 1.0 \text{ mg/l}$)	29.0	29.0
Sólidos sedimentables ($\pm 0.1 \text{ ml/l}$)	0.0	0.0
Grasas y Aceites ($\pm 0.5 \text{ mg/l}$)	3.2	3.1
Sustancias activas al azul de metileno ($\pm 0.4 \text{ mg/l}$)	1.7	1.5
Cuerpo receptor: río Tiribí		Tipo PTAR: Lodos activados

Fuente: Municipalidad de La Unión.

Cuadro 4.5. Resumen de los reportes operacionales trimestrales de la PTAR de la Urbanización Los Geranios para el año 2014.

Período	Primer trimestre	Segundo trimestre	Tercer trimestre	Cuarto trimestre
Parámetro				
Monitoreo por el ente generador (Lidia Garita Rodríguez)				
Caudal promedio ($\pm 13.13 \text{ m}^3/\text{día}$)	88.90	65.00	64.73	77.45
Caudal máximo ($\pm 13.13 \text{ m}^3/\text{día}$)	99.00	79.00	95.04	88.99
pH (± 0.16)	7.46	7.46	7.60	7.93
Sólidos sedimentables ($\pm 0.10 \text{ ml/l}$)	0.41	0.41	0.62	0.44
Temperatura ($\pm 0.63 \text{ }^\circ\text{C}$)	26.14	26.14	24.00	24.89
Análisis físico-químicos y microbiológicos (Laboratorio Nacional de Aguas)				
DBO ($\pm 10 \text{ mg/l}$)	91	18	17	32
DQO ($\pm 8 \text{ mg/l}$)	337	39	36	78
pH (± 0.10)	7.36	7.81	7.25	7.28
Temperatura ($\pm 0.1^\circ\text{C}$)	26.2	23.5	22.0	26.0
SST ($\pm 1.0 \text{ mg/l}$)	198.0	31.0	28.0	28.0
Sólidos sedimentables ($\pm 0.1 \text{ ml/l}$)	1.0	0.0	0.0	0.0
Grasas y Aceites ($\pm 0.5 \text{ mg/l}$)	11.0	3.8	4.2	3.4
Sustancias activas al azul de metileno ($\pm 0.4 \text{ mg/l}$)	1.4	1.2	0.6	1.6
Cuerpo receptor: quebrada La Carpintera		Tipo de PTAR: Lodos activados		

Fuente: Municipalidad de La Unión.

La PTAR de la Urbanización Bethel aprobó todos los parámetros de análisis obligatorio en sus reportes operacionales (Cuadro 4.2); además, se pudo observar una salida de agua sin presencia de factores contaminantes visibles, como coloración, espumas y otros. Se puede decir que la población que se ve beneficiada con esta PTAR se asegura que los efluentes de aguas residuales sean descargados, de conformidad con la legislación correspondiente (MINAE, 2007).

Por otra parte, la PTAR de la Urbanización Monserrat es la que cubre mayor caudal de aguas residuales tratadas. El Cuadro 4.3 denota que todos los parámetros se reportan dentro de los límites permitidos, aunque en el último semestre del año la concentración de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) se encontró a un 4 % de sobrepasar la normativa, lo que indica que las concentraciones de entrada de los productos que contienen sustancias tensoactivas, como detergentes y otros productos de limpieza han aumentado, o bien, el tratamiento no está siendo lo suficientemente eficiente para eliminar estas sustancias. Es importante reducir al máximo la concentración de SAAM, ya que estas

sustancias pueden inhibir o paralizar los procesos de depuración, tanto naturales como artificiales (Riaño, 2012).

La salida de aguas residuales tratadas se hace al río María Aguilar, uno de los más contaminados del país, (Calvo & Mora, 2012), salida que tiene presencia de espumas al llegar al río, una de las causas de estas espumas puede ser el aumento de la tensión superficial por SAAM (Berzosa, 2014).

Actualmente, la PTAR tiene en su haber tres tanques de aireación, de los que solo puede utilizar dos al mismo tiempo, debido al factor limitante de la potencia para la aireación.

Algunos vecinos se quejaron de malos olores provenientes de la PTAR, mientras hacíamos la búsqueda de la salida del agua al cuerpo receptor, esto se debe, principalmente, al lecho de secado que se encuentra dañado, lo cual hace que las aguas del mismo no drenen y acumulen humedad no requerida.

Asimismo, la PTAR de la Urbanización Las Marianas, al igual que la de la Urbanización Bethel, no tuvo ningún parámetro por encima del límite permitido en el año 2014 (Cuadro 4.3.), es la PTAR que cuenta con más tanques de aireación (6), y presenta una salida al cuerpo receptor en una zona muy contaminada, en este caso, el río Tiribí.

Durante el I reporte operacional de la PTAR de la Urbanización Los Geranios, la concentración permitida de Sólidos Totales, DBO y DQO se sobrepasó por un rango importante (Figura 4.8 y 4.10), esto debido a que para la época, en la Urbanización estuvo fallando el suministro de electricidad, lo que hizo que la planta estuviera desconectada por varios días, por el diseño de autoprotección eléctrica que, además, dañó uno de los aireadores.

En la actualidad, la PTAR ha mantenido sus parámetros dentro de los límites que la legislación, aunque dentro de la planta se nota anomalías como es el exceso de barro

nadante en el sedimentador; probablemente, porque parte de las láminas en el fondo del mismo se encuentran en mal estado, también se observó presencia de burbujas al llegar el afluente a la planta, esto implica un aumento de la tensión superficial por presencia de detergentes (Berzosa, 2014).

En parámetros específicos, para la DBO las PTAR de administración pública solo están por encima del límite permitido en una ocasión de doce posibles (Figura 4.8), aunque el cierre del año 2014 tanto la PTAR de la Urbanización Monserrat como la de la Urbanización Los Geranios presentan concentraciones altas de DBO y DQO respectivamente. Situación que las pone al margen del cumplimiento de la legislación.

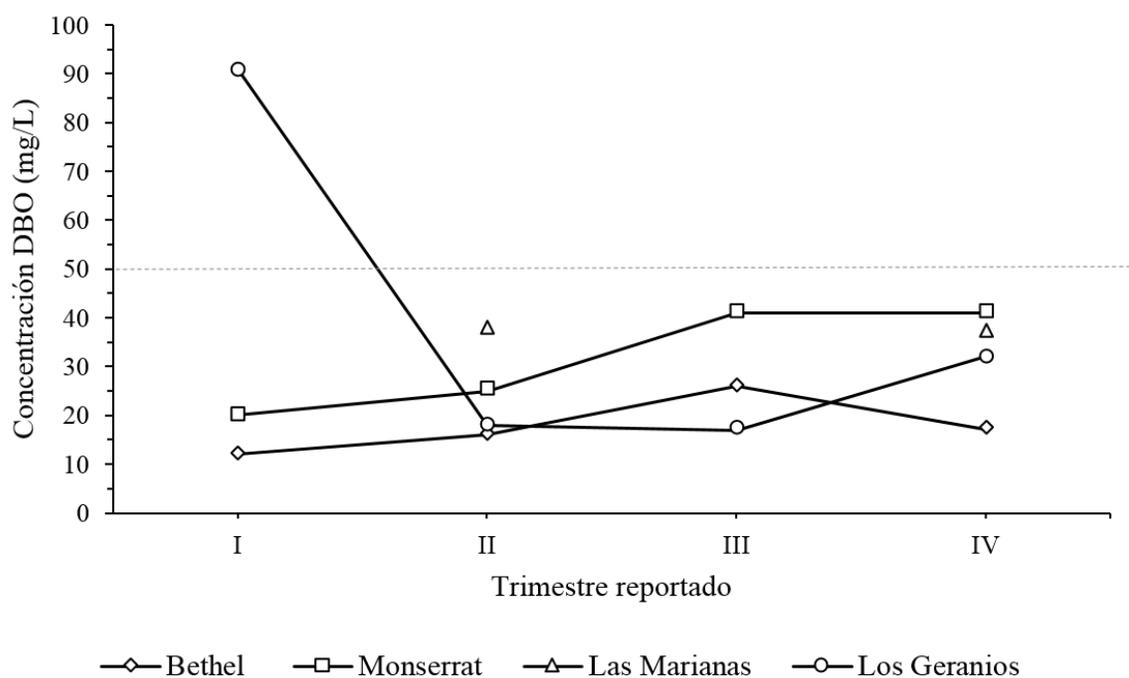


Figura 4.8. Concentración de DBO (mg/L) en las PTAR de administración pública de La Unión, 2014

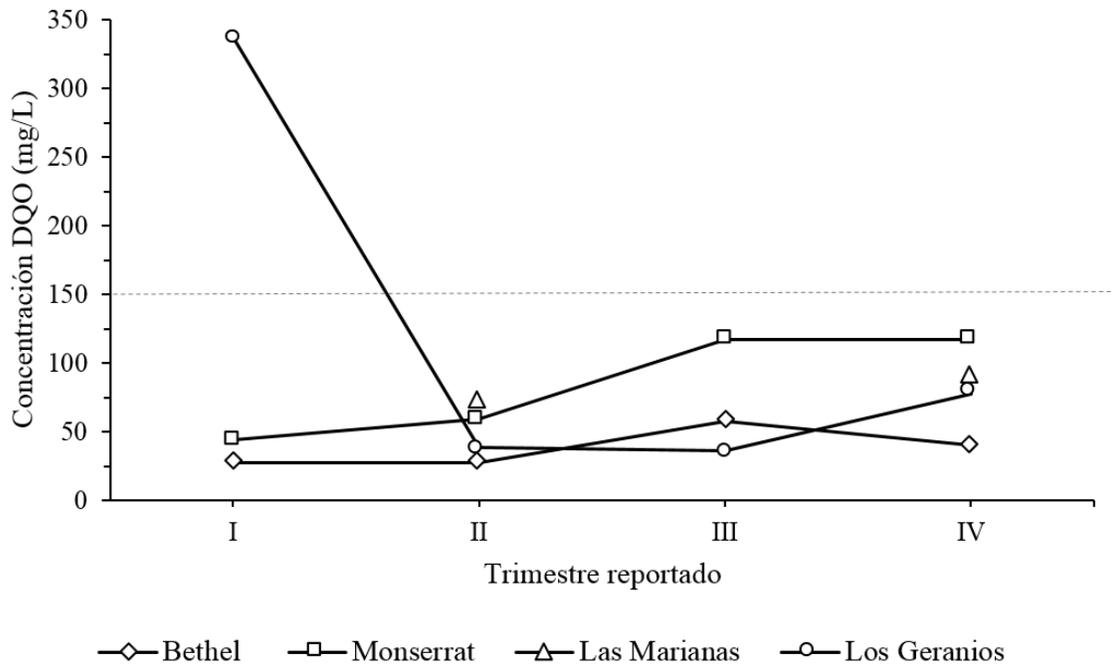


Figura 4.9. Concentración de DQO (mg/L) en las PTAR de administración pública de La Unión, 2014

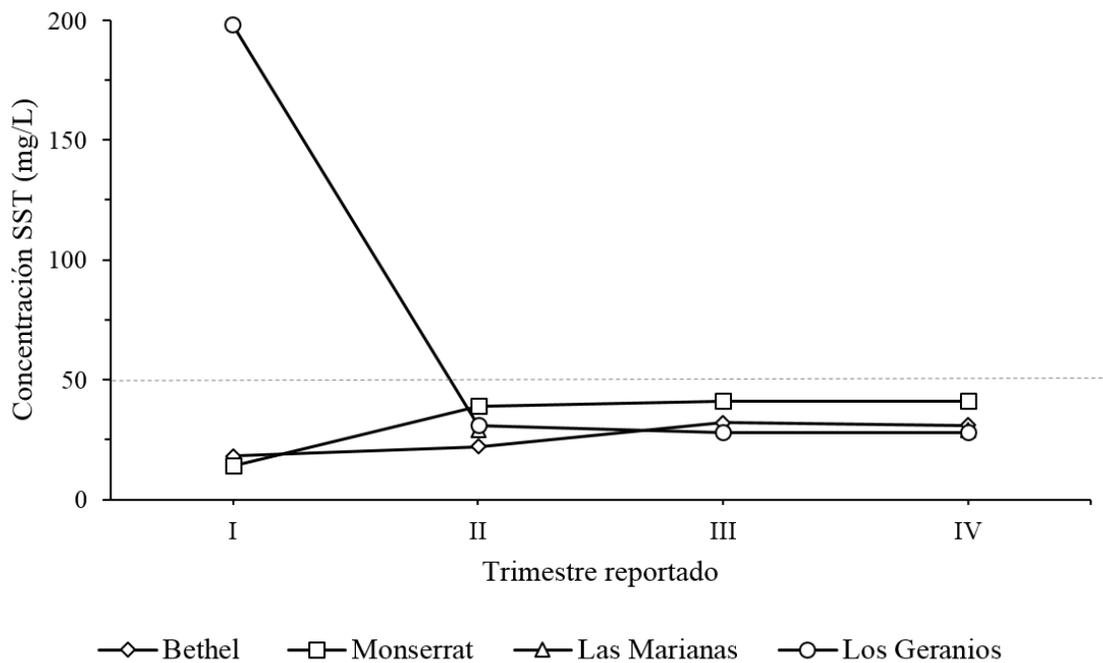


Figura 4.10. Concentración de SST (mg/L) en las PTAR de administración pública de La Unión, 2014

Las PTAR administradas por la Municipalidad de La Unión deben ser analizadas a profundidad, para averiguar los parámetros aproximados con las que fueron diseñadas, el estado de cada dispositivo del sistema, así como sus cargas de trabajo e irregularidades, plan de mantenimiento de ellas; para que las decisiones correspondientes se tomen con base en lo que en el momento necesiten las aguas residuales, representando una solución técnica viable.

Es importante señalar que en esta investigación el análisis realizados a las PTAR administradas por la Municipalidad fue con base en los reportes operacionales presentados. No se llevaron a cabo análisis de campo, pues el estudio de cada planta de tratamiento corresponde a una investigación por sí misma. Es posible que con análisis detallados, muchas de estas PTAR no cumplan con la normativa.

4.3.2 Reportes operacionales y visitas a las PTAR administradas por entidades privadas

Se hicieron las visitas respectivas a las PTAR contabilizadas por el Ministerio de Salud en los reportes operacionales, tratando de conocer características importantes de las mismas, como el sistema de tratamiento utilizado y la ubicación de las salidas de aguas residuales (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.6. Principales características de las PTAR de administración privada de La Unión.

Ente Generador	Tipo de actividad	Distrito	Verificación de la existencia de la PTAR	Reconocimiento de la salida de las AR al cuerpo receptor	Sistema o tipo de tratamiento	Cuerpo receptor
Beneficio R.L. CoopeUnión	Beneficiado del café	San Rafael	Hecho	Hecho	Cal, tamices y filtrado	río Chiquito
Beneficio S.A. El Patalillo	Beneficiado del café	San Diego	Se denegó la entrada	No se suministró información	NA	río Tiribí
Corporación Latinoamérica S.A. Bioland	Manufactura de jabones, perfumes cosméticos	San Diego	Se denegó la entrada	No se suministró información	NA	quebrada Chagüite
Hacienda Sacramento	Condominio Residencial	Concepción	Hecho	Desconocida por los encargados	Lodos activados	río María Aguilar
Mas x Menos	Supermercado	Tres Ríos	Hecho	No se suministró información	No se suministró información	pozo de infiltración
Corporación S.R.L., Centro de Carnes Tres Ríos	Venta de pollo y carne frescos, embutidos y huevos	Tres Ríos	Hecho	Desconocida por los encargados	Trampa de grasas y aceites	No se indica

Continuación del cuadro 4.6

Ente Generador	Tipo de actividad	Distrito	Verificación de la existencia de la PTAR	Reconocimiento de la salida de las AR al cuerpo receptor	Sistema o tipo de tratamiento	Cuerpo receptor
Pricesmart Tres Ríos	Venta de víveres, otras clases de mercadería	Tres Ríos	Hecho	No se suministró información	No se suministró información	río Tiribí
Palí Tres Ríos	Supermercado	Tres Ríos	No	NA	NA	río Tiribí
Automercado Tres Ríos	Comercialización de productos al detalle	San Juan	Hecho	No se suministró información	Lodos activados	quebrada La Unión
Plaza Magnolia	Locales comerciales	San Juan	Hecho	Hecho	Lodos activados	río Torres
Condominio Residencial Hacienda Imperial	Condominio Residencial	San Juan	Hecho	No se suministró información	Lodos activados	quebrada anónima
Condominio Barlovento	Condominio Residencial	Concepción	Hecho	No se suministró información	Lodos activados	quebrada Rusia
Condominio Torres del Sol	Condominio Residencial	Concepción	Hecho	No se suministró información	No se suministró información	río María Aguilar
Centro Comercial Calle Vieja	Centro Comercial	San Rafael	Hecho	Hecho	No se suministró información	río Chiquito
Centro Comercial Terramall	Locales comerciales	San Diego	Hecho	No se suministró información	No se suministró información	río Tiribí
Condominio Comercial Terra Corporativo	Oficinas Administrativas	San Diego	Hecho	No se suministró información	Lodos activados	río Tiribí
Palí Concepción	Supermercado	Concepción	No	NA	NA	No indica
Condominio La Floresta	Condominio Residencial	Concepción	Hecho	Hecho	Lodos Activados	quebrada María Aguilar

Cuadro 4.7. Parámetros del último reporte operacional disponible de cada PTAR de administración privada en La Unión

Ente generador	Reporte Operacional	Caudal de diseño (m ³ /día)	Caudal reportado (m ³ /día)	Temperatura (°C)	pH	DQO (mg/L)	DBO _{5,20} (mg/L)	SST (mg/L)	Sólidos sedimentables (ml/L)	Grasas y aceites (mg/L)	SAAM (mg/L)
Beneficio	I-2015	No indica	No indica	24±0,2	8,95±0,04	52±2	29±2	24±6	0,2±0,1	3±1	<0,05
CoopeUnión R.L.	II-2015	No indica	No indica	25,2±0,2	8,65±0,04	66±5	41±2	32±6	<0,2	4±1	<0,05
Beneficio	El I-2015	150	33,6±1,9	24,1±0,8	6,35±0,09	1120±88	545,9±29,4	210±30	0,9±0,2	<10	<0,90
Patalillo S.A.	II-2015		22,3±0,2	22,3±1,8	7,27±0,06	365±64	101,4±5,3	167±25	<0,10	<10	<0,90
Corporación Bioland	I-2015	51,8	0,35	25,2±0,2	6,88±0,04	33±2	8±1	<6	<0,2	<2	<0,05
Latinoamérica S.A.											
Hacienda Sacramento	I-2015	200	134,50	24,7±0,2	7,17	34±2	20±2	12±6	<0,2	3±1	0,18±0,03
	II-2015		145,50	27,0±0,1	6,76	57±2	17±2	17±6	<0,2	4±1	0,17±0,03
Más x Menos	I-2015	20	3,9	26±1	6,90±0,04	76±5	26±2	20±6	0,2±0,1	10±1	1,0±0,1
Palí Tres Ríos	I-2015	8	No indica	25,2±0,2	8,65±0,04	66±5	41±2	32±6	<0,2	4±1	<0,05
Corporación Pipasa S.R.L., Centro de Carnes Tres Ríos	I-2015	1,1	0,8	17,9±0,1	7,99±0,02	725±22	297±9	225±4	0,10±0,05	25±3	1,1±0,1
Pricesmart Tres Ríos	I-2015	40	No indica	34±20	7,0±0,1	96±7	30±4	63±1	<0,1	<5	<0,5
Automercado Tres Ríos	I-2015	No indica	3,5±0,4	26±1	7,3±0,1	21±1	12,9±0,7	20±1	<0,1	8,8±0,9	0,66±0,07

Fuente: Ministerio de Salud.

Continuación de Cuadro 4.7

Ente generador	Reporte Operacional	Caudal de diseño (m ³ /día)	Caudal reportado (m ³ /día)	Temperatura (°C)	pH	DQO (mg/L)	DBO _{5,20} (mg/L)	SST (mg/L)	Sólidos sedimentables (ml/L)	Grasas y aceites (mg/L)	SAAM (mg/L)
Plaza Magnolia	I-2015	52,9	30	25,7±0,2	6,14±0,04	32±2	16±1	36±6	<0,2	4±1	0,31±0,03
Condominio Residencial	I-2015		98	26,6±0,2	7,24±0,04	47±2	24±2	16±6	<0,2	3±1	0,80±0,03
Hacienda Imperial	II-2015	300	140.15	27.1	7.3	74±2	44±2	20±6	<0,2	5±1	0.19
Condominio Barlovento	I-2015	440	240.00	24,4±1,0	7,43	48±2	4±1	16±6	0,2±0,1	3±1	0,22±0,03
Condominio Torres del Sol	I-2015	300	32.35	No indica	6,72±0,04	41±2	24±2	18±6	0,2±0,1	4±1	0,24±0,03
	II-2015		58.36	26.00	7.24	21.5±0,7	4.4	10.00	0.10	<4	0.31
Centro Comercial Calle Vieja	I-2015	15	0,87±0,04	26	6,02	138±4	11,8±0,7	46	2,00	9±1	1,21±0,10
Centro Comercial Terramall	I-2015	500	134,52	28,2	7.01	68±2	44±2	42±6	0,5±0,1	5±1	0,19±0,03
Condominio Comercial Terra Campus Corporativo	I-2015	250	45±2	28±1	6,68±0,06	127±3	40±2	26±1	<0,1	<4	1,5±0,2
Palí Concepción	I-2015	2,9	2,9	19,3±0,1	5,90±0,03	856±26	332±17	57±5	0,30±0,05	34±3	10±0,2
Condominio La Floresta	I-2015	320	No indica	24,2±0,2	7,24±0,04	34±2	18±2	26±6	<0,2	3±1	0,27±0,03

Fuente: Ministerio de Salud.

Aunque para el ente estatal encargado del monitoreo de plantas de tratamiento de aguas residuales de administración privada, el Ministerio de Salud, existen 18 PTAR monitoreadas con sus respectivos reportes operacionales (Cuadro 4.7), las visitas presenciales a ellas arrojaron nueva información valiosa (Figura 4.11):

- Las PTAR de los supermercados Palí, tanto el de Tres Ríos como el de Concepción no fueron localizadas, una vez que fueron visitados ambos terrenos.
- Los administradores de cada PTAR, en general, desconocen o no quieren comentar el lugar exacto donde las aguas provenientes de las PTAR salen hacia el cuerpo receptor superficial.
- No se permitió el acceso a varias PTAR. En algunos casos por la tramitología privada para obtener el ingreso y otros caos fue un rotundo no sin explicación alguna.
- En el caso del Centro de Carnes Tres Ríos, el sistema solo cuenta con una rejilla que funciona como trampa de grasas, algo que se ve reflejado en el reporte operacional, al tener excesos graves en las cantidades reportadas de DQO, DBO_{5,20} y Sólidos suspendidos totales, además que en ese mismo reporte operacional, no se suministra la información del cuerpo receptor correspondiente.
- Muchos propietarios de las PTAR desconocen, incluso, el sistema que utilizan, así como sus debidas partes, funciones y mantenimiento adecuados.
- Los entes estatales, en especial el Ministerio de Salud debe dar seguimiento al cumplimiento de la legislación nacional, pues en repetidas ocasiones algunos de los establecimientos que poseen PTAR no cumplen con la legislación.

- Un 33% de PTAR de administración privada no cumplen con los parámetros establecidos en la reglamentación costarricense.

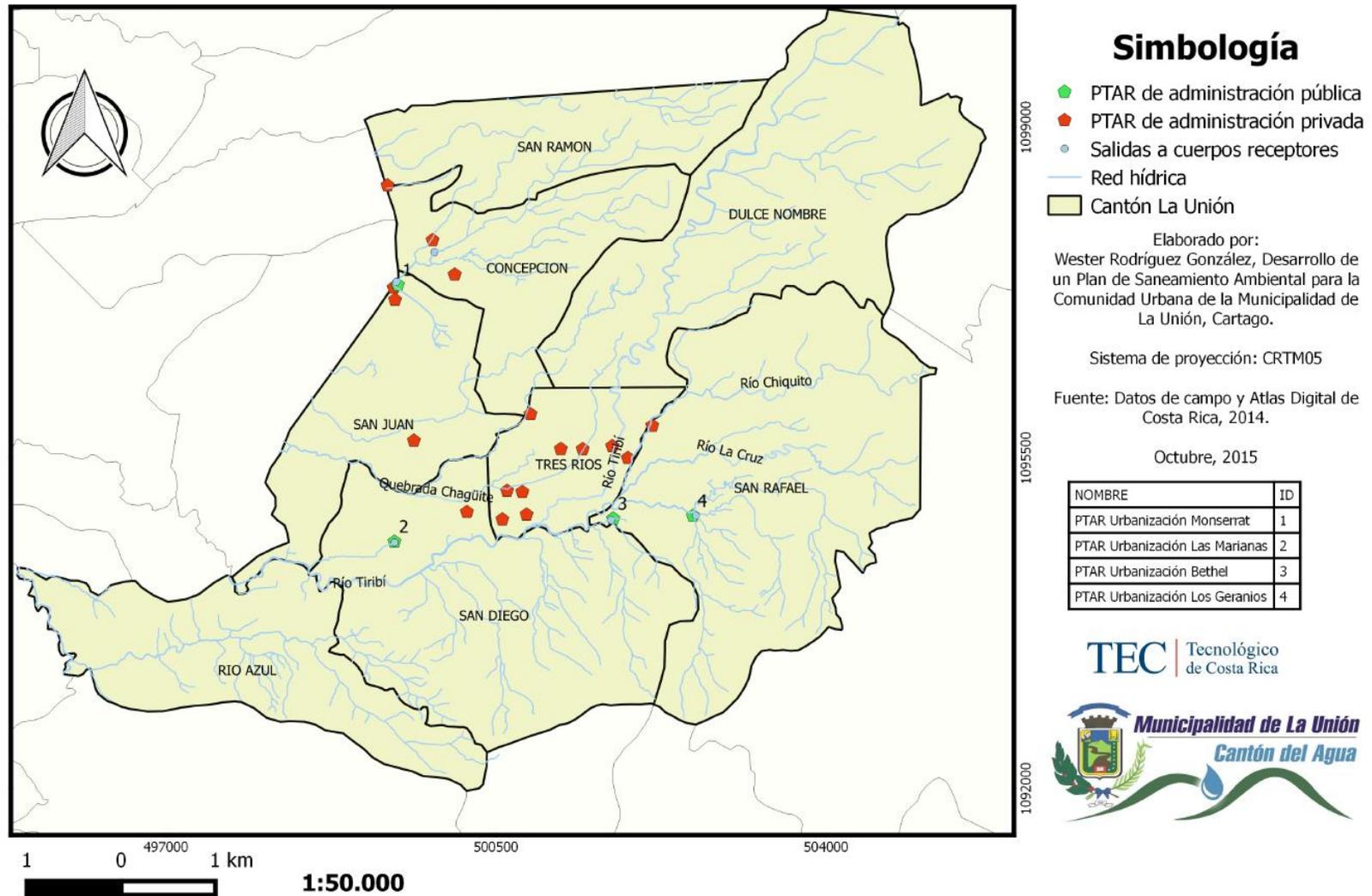


Figura 4.11. Ubicación de las PTAR del cantón de La Unión.

4.4 MUESTREO DE RÍOS

Anteriores estudios de calidad de aguas superficiales indican que la cantidad de población influyente en los cuerpos de agua está estrechamente relacionada con el deterioro de la calidad de los ríos (Calvo & Mora, 2007), lo que también sucede en el cantón de La Unión, donde se muestrearon los principales ríos en varios puntos de los mismos (Figura 4.12).

En muchos de los parámetros estudiados, las aguas de los ríos de La Unión sobrepasan los límites establecidos por el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, el cual establece una clasificación en clases de contaminación por parámetros, donde “I” es la menos contaminada y, al contrario, “V” es la más contaminada (Cuadro 4.8; Anexo 1, Cuadro A.1.1).

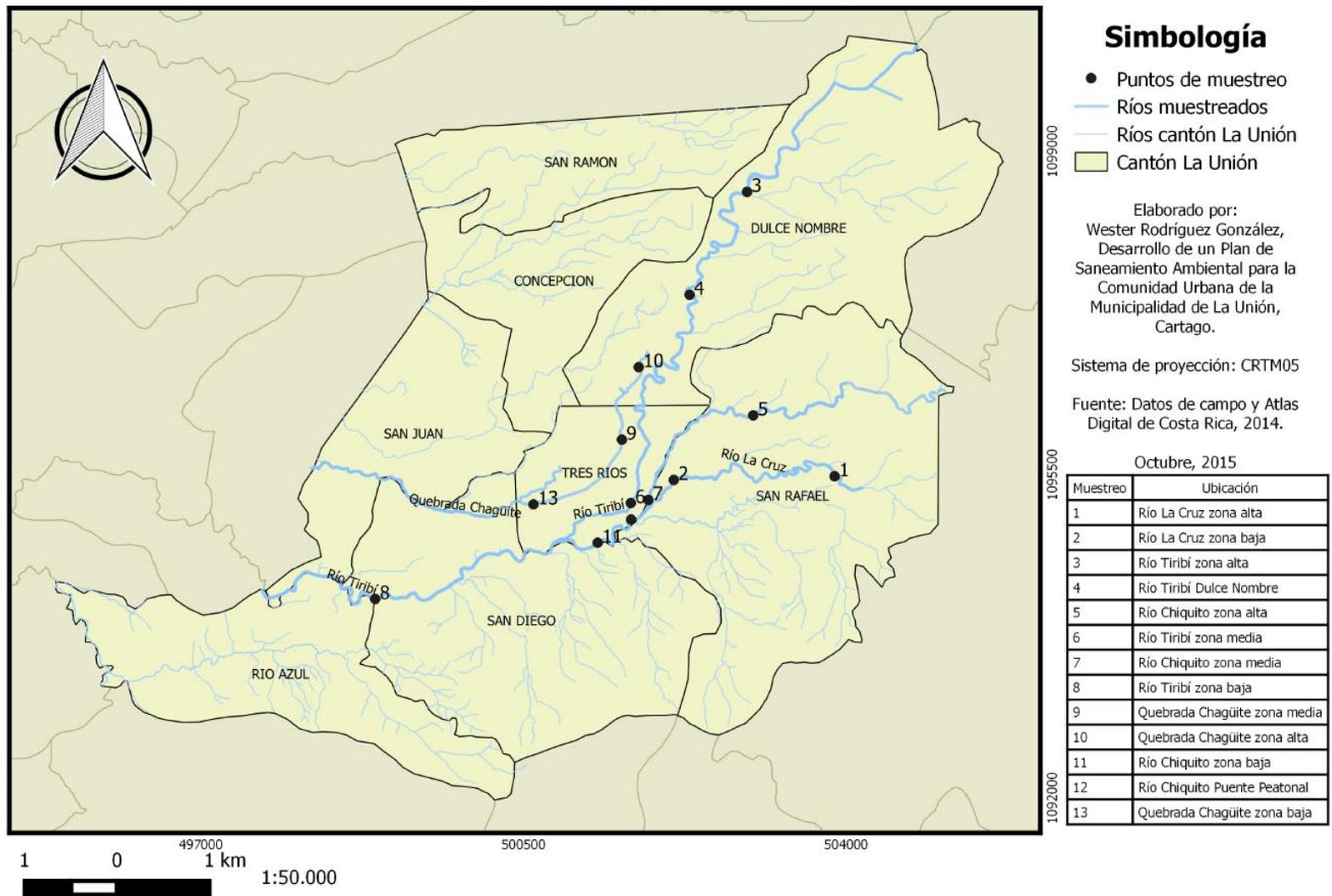


Figura 4.12. Ubicación de los puntos de muestreo en el cantón de La Unión.

Cuadro 4.8. Categorización de los principales parámetros muestreados según resultados de los muestreos y el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales

Río muestreado (descripción del lugar)	Parámetro	Clase asignada para muestreo I	Clase asignada para muestreo II	Clase asignada para muestreo III	Clase promedio del parámetro
Chagüite (zona alta)	DBO	I-III	I-III	I	II
	DQO	II	IV	I	II
	SDT	I	I	I	I
Chagüite (zona media)	DBO	I-III	I-III	I	II
	DQO	III	IV	I	III
	SDT	I	I	I	I
Chagüite (zona baja)	DBO	V	I-III	V	IV
	DQO	IV	IV	V	V
	SDT	I	II	I	I
La Cruz (zona alta)	DBO	I-III	I-III	I	II
	DQO	III	I	II	II
	SDT	I	I	I	I
La Cruz (zona media)	DBO	I-III	I-III	I	II
	DQO	III	I	I	II
	SDT	I	I	I	I
Chiquito (zona alta)	DBO	I-III	I-III	I	II
	DQO	II	III	I	II
	SDT	I	I	I	I
Chiquito (zona media)	DBO	I-III	I-III	I	II
	DQO	V	IV	I	III
	SDT	I	I	I	I
Chiquito (San Diego)	DBO	I-III	I-III	I	II
	DQO	II	IV	I	II
	SDT	I	I	I	I
Chiquito (finca Tinoco)	DBO	I-III	I-III	I	II
	DQO	II	I	I	I
	SDT	I	I	I	I
Tiribí (zona alta)	DBO	I-III	IV	I	II
	DQO	III	III	II	III
	SDT	I	I	I	I
Tiribí (zona media)	DBO	I-III	IV	I	II
	DQO	III	V	IV	IV
	SDT	I	I	I	I
Tiribí (zona media baja)	DBO	I-III	V	I	III
	DQO	IV	V	V	V
	SDT	I	I	I	I
Tiribí (zona baja)	DBO	I-III	I-III	I	II
	DQO	II	IV	I	II
	SDT	I	I	I	I

En el Cuadro 4.8 se observa que conforme el muestreo se realizaba cada vez más río abajo, el número de clase tiende a aumentar; o lo que es lo mismo, la calidad del agua del río disminuye al avanzar y alcanzar los centros urbanos más importantes, alrededor del sector sur del distrito de Tres Ríos, por ejemplo.

Para la cuenca de la quebrada Chagüite, se observa un aceleramiento de la contaminación entre el segundo y el tercer puntos de muestreo, en varios de los parámetros (Figura 4.13 y 4.14), lo que indica que en la zona en cuestión, es necesario realizar una intervención cuanto antes, debido a la gran cantidad de población que se encuentra instalada encima de la zona de protección del río, la presencia de un sinnúmero de conexiones de aguas servidas de hogares hacia el cuerpo de agua y la influencia de empresas que se ubican a unos pocos metros de la tercer zona de muestreo de la quebrada, en 2,47 km de longitud de ella. Esta zona recibe el impacto directo de las conexiones de aguas grises directamente en el río. Así como las conexiones ilícitas de aguas residuales directamente en el cuerpo de agua.

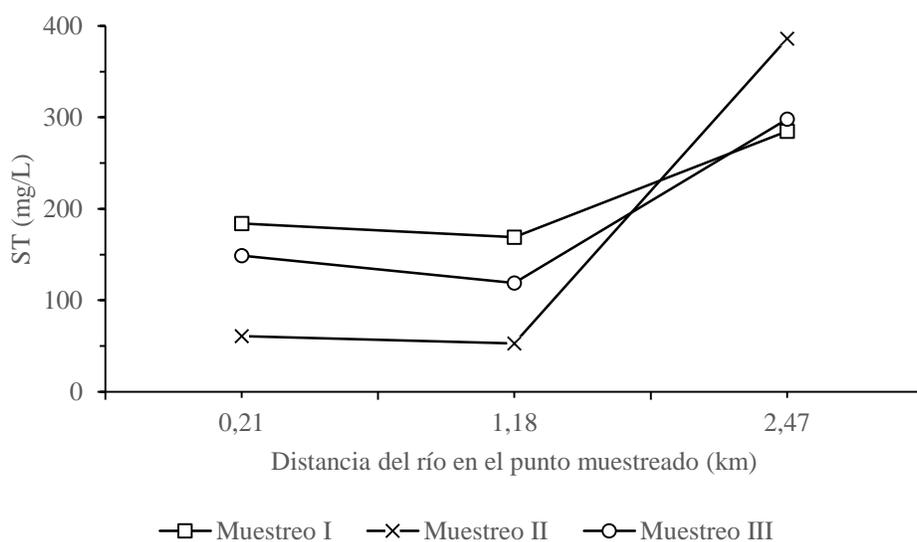


Figura 4.13. ST para la Quebrada Chagüite.

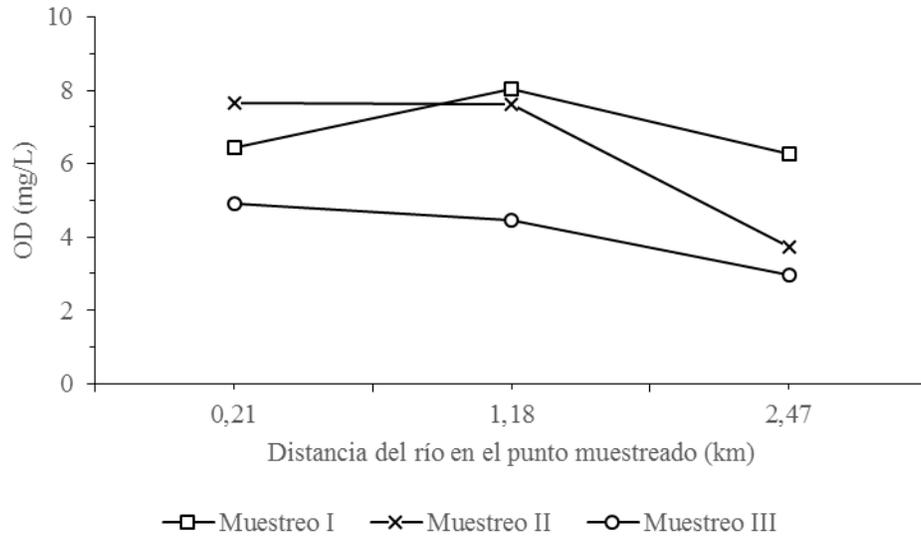


Figura 4.14. OD para la Quebrada Chagiüte.

Existen contaminaciones puntuales o que suceden en ocasiones o lapsos específicos, ya que para el III muestreo se denotó un aumento abismal del DQO en esa tercer zona de muestreo (Figura 4.15), día en el cual las aguas emanaban olores a jabones y detergentes, incluso, a algunos metros de la quebrada.

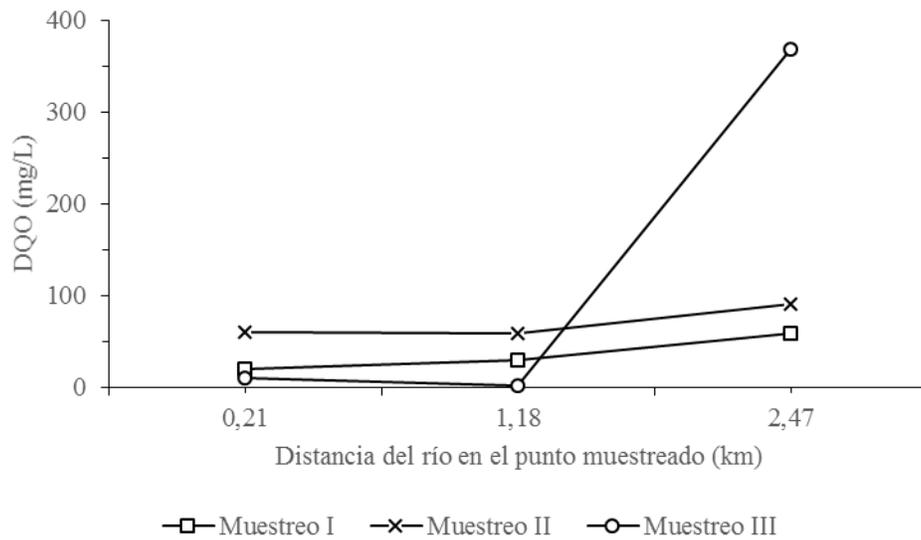


Figura 4.15. DQO para la Quebrada Chagiüte.

El comportamiento entre el primer y segundo punto de muestreo para el río La Cruz, antes de unirse al río Chiquito es similar en parámetros como DQO, DBO y ST (Apéndice

8) a lo largo de la mayoría de los tres muestreos, eso ocurre en un recorrido de aproximadamente 2 km, en un área de baja densidad poblacional, pasando paralelo a la Calle Vieja, hacia la Urbanización Entebe, cruzando bajo la Autopista Florencio del Castillo y uniéndose al río Chiquito (Figura 3.1).

Entre el segundo y tercer punto de muestreo del Río Chiquito hay un aumento de más del 250% en la concentración de Sólidos Totales Disueltos (Figura 4.16). La distancia entre estos dos puntos de muestreo es de casi 2 kms, y comprende un sector muy poblado del distrito de San Rafael.

Esto hace de especial atención el sector cercano a la unión del río Chiquito con el río La Cruz, ya que ahí existe un foco de contaminación de suma importancia, se trata de la confluencia de dos ríos con altos niveles de contaminación.

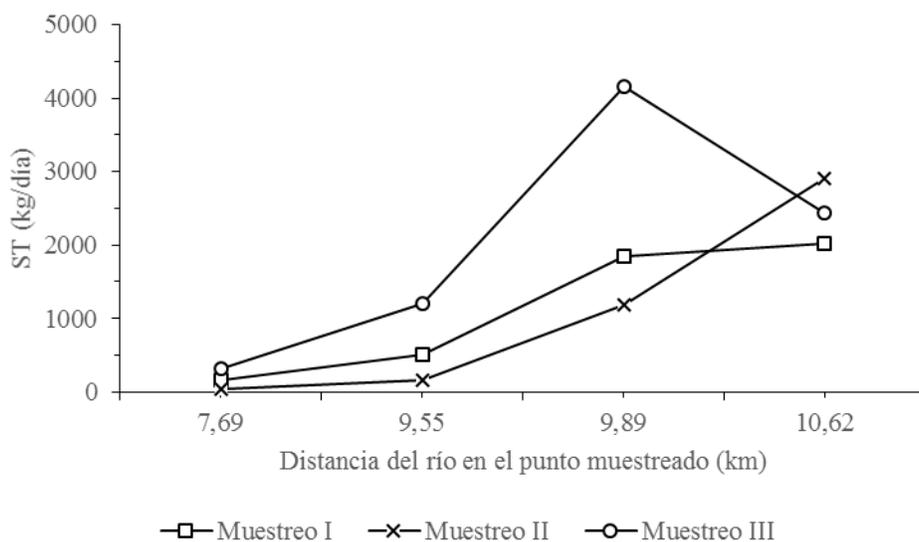


Figura 4.16. ST vertidos al día para el río Chiquito.

El río Tiribí, es el de mayor longitud, al menos en el cantón de La Unión, y presenta un aumento de contaminación a lo largo de su flujo natural; en algunos casos con concentraciones alarmantes de algunos parámetros como la DQO para el II muestreo, ya que superó los 870 mg/L (Figura 4.17), sobrepasando lo monitoreado en los dos muestreos

previos, aunque siempre con la tendencia de aumentar la contaminación, una vez que el río ha pasado por el casco central de Tres Ríos.

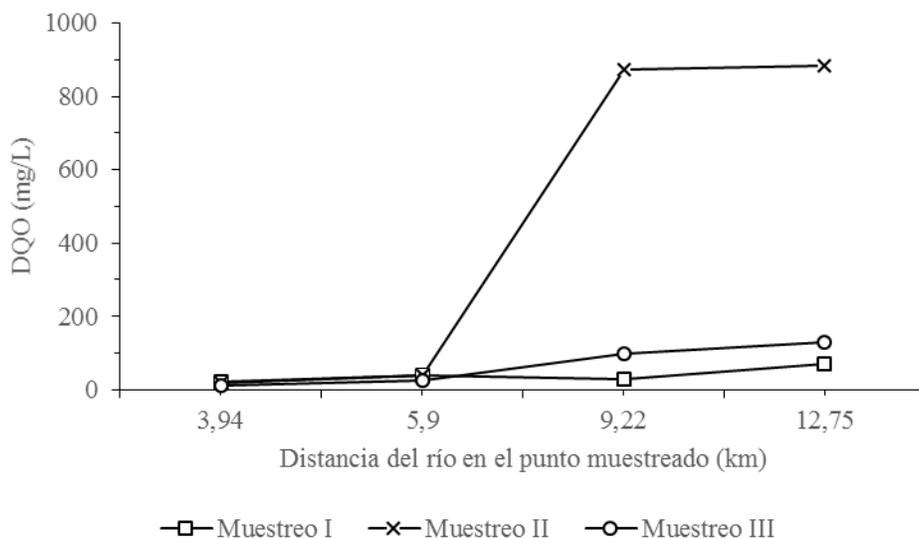


Figura 4.17. DQO para el río Tiribí.

Internacionalmente se ha aceptado un valor de 10 mg/L de $DBO_{5,20}$ como un indicador máximo de contaminación de ríos. Según la *EPA* cualquier valor superior a 10 mg/L indica que la calidad del agua en el río es insalubre (Gómez, 2009). En dos ocasiones el muestreo en la zona baja de la quebrada Chagüite y en una ocasión en tres zonas del río Tiribí se sobrepasó este parámetro (Apéndice 8).

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La cobertura de instalaciones mejoradas de saneamiento básico es de 90 % (población que posee tanque séptico o alcantarillado sanitario), cantidad insuficiente para una adecuada disposición de las aguas residuales del cantón. El porcentaje restante vierte las aguas sin tratamiento alguno a los cuerpos de agua o no conocen el sitio de disposición final de sus aguas residuales. La cobertura de alcantarillado sanitario es apenas de 9 % para el cantón; lo que limita la cobertura para una futura planta de tratamiento cantonal y aumenta los costos de construcción de un nuevo alcantarillado sanitario.
- La disposición de la población encuestada para conectarse a una futura red de alcantarillado sanitario es del 81,4% para el usuario que posee actualmente la conexión de aguas residuales frente a su vivienda; en contraposición con el 28,7% que acepta conectarse a la futura red de alcantarillado si la conexión actual está ubicada en la parte trasera de su vivienda. La diferencia se debe a que el usuario debe hacer una erogación mayor de dinero si la conexión está ubicada en la parte posterior de la vivienda. Situación que debe ser tomada en cuenta por la municipalidad si el proyecto de alcantarillado se lleva a cabo.
- Existen deficiencias de todo tipo en las PTAR administradas por la Municipalidad de La Unión: desconocimiento de los parámetros de diseño, ausencia de la bitácora de manejo de aguas residuales, plan de mantenimiento de ellas; no existe un plan de acciones correctivas a los problemas que se presentan, ni se evalúa las unidades de tratamiento, esto porque la construcción de las mismas fue responsabilidad del desarrollador de la urbanización correspondiente y no de la municipalidad. Es urgente hacer un plan de operación y mantenimiento en cada una de las plantas, con actividades puntuales a ser ejecutadas todos los días.
- Los parámetros de salida reportados al Ministerio de Salud de las PTAR públicas en su mayoría satisfacen los límites máximos nacionales de vertido; sin embargo un 33 % de las PTAR de administración privada incumplen con los mismos, esto porque tienen malas prácticas relacionadas a la operación y mantenimiento de las PTAR y desconocen características importante de las mismas. No existe una relación directa entre el resultado

del análisis arrojado en el reporte operacional y la operación que se le da a cada una de las plantas de tratamiento.

- Los principales cuerpos de agua del cantón aumentan su contaminación al pasar cerca de las zonas más pobladas; en el cantón existe una relación directa entre el hacinamiento cerca de cuerpos de agua y su grado de contaminación.
- Las zonas comprendidas entre el punto de muestreo medio y bajo de la quebrada Chagüite, son de atención prioritaria; lo mismo que las zonas comprendidas entre la cuenca media del río Chiquito y el río La Cruz, hasta la confluencia de ambos en el tercer punto de muestreo, denominado zona baja San Diego (río Chiquito). Estas zonas presentan tasas de crecimiento de contaminación de hasta 248% en carga orgánica medida con el parámetro sólidos totales.
- Se declara como insalubre el río Tiribí en tres zonas (las más bajas), así como la quebrada Chagüite en la zona baja, ya que sobrepasan los 10 mg/L de DBO_{5,20} como indicador máximo de contaminación de ríos. Situación que pone a La Unión en estado de alarma.

5.2 RECOMENDACIONES

- Establecer un plan de sensibilización y un aumento de oportunidades para la población a fin de mejorar la disponibilidad de las personas a una futura conexión al alcantarillado sanitario.
- La Municipalidad debe iniciar un plan de clausura de conexiones clandestinas de aguas residuales a los cuerpos de agua. Lo que obliga a la población a mejorar los tratamientos in-situ.
- Adaptar las PTAR de administración pública para que ellas tengan todo lo que ordena la legislación costarricense: bitácora de manejo de aguas residuales, parámetros de diseño, plan de mantenimiento, plan de acciones correctivas y evaluación de las unidades de tratamiento.
- Desarrollar trabajos de graduación con estudiantes para mejorar las condiciones de las PTAR de administración pública.

- La Municipalidad de La Unión debe trabajar en coordinación con el Ministerio de Salud para monitorear el estado de las PTAR de administración privada.
- Atender los asentamientos poblaciones cerca de las cuencas: quebrada Chagüite (entre zona media y baja), río Chiquito y La Cruz (entre el segundo punto de muestreo y la unión de ambos) y el río Tiribí desde la parte alta, para evitar conexiones clandestinas, y vertidos que exceden la normativa.

6 REFERENCIAS

- Abramson, M., Padick, C., Takata-Schuemen, E., & Taylor, G. (2011). Stream Flow Using Float to Measure Velocity. Recuperado de http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/4113.pdf
- Arias Zúñiga, A. (2010). *Decimosexto informe Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible*. Recuperado de http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/016/ana_arias.pdf
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. Ley de Conservación de la Vida Silvestre (1992). Costa Rica. Recuperado de [http://www.sinac.go.cr/normativa/Leyes/Ley de Conservaci%C3%B3n de la Vida Silvestre N%C2%BA 7317.pdf](http://www.sinac.go.cr/normativa/Leyes/Ley%20de%20Conservaci%C3%B3n%20de%20la%20Vida%20Silvestre%20N%C2%BA%207317.pdf)
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. Ley Orgánica del Ambiente (1995). Costa Rica. Recuperado de http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/costa_rica/costa_rica_7554.pdf
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. Código Municipal (1998). Costa Rica. Recuperado de http://www.cne.go.cr/cedo_dvd5/files/flash_content/pdf/spa/doc361/doc361-contenido.pdf
- Asian Development Bank. (2008). *Asian sanitation*. Recuperado de <http://www.worldcat.org/title/asian-sanitation-data-book-2008/oclc/907303057>
- AyA. (2002). *Análisis sectorial agua potable y saneamiento de Costa Rica*. Recuperado de http://www.paho.org/cor/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=30&Itemid
- Berzosa, M. (2014). Control de espuma en sistemas de tratamiento de aguas residuales. Recuperado de <http://www.serquimsa.com/articulo-informativo-mes-de-julio-2014-control-de-espuma-en-sistemas-de-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- Best, G., Bogacka, T., & Niemirycz, E. (1997). *International river water quality* (1st ed.). New York: E & FN Spon. Recuperado de https://books.google.co.cr/books?id=8_kXU8_4tYC&printsec=frontcover&dq=pollutants+in+rivers&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=pollutants+in+rivers&f=false
- Calvo, G., & Mora, J. (2007). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua

- en la cuenca del río Tárcoles y Reventazón. *Tecnología En Marcha*, 20(2), 1–9. Recuperado de http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/46/45
- Calvo, G., & Mora, J. (2012). Contaminación fecal en varios ríos de la Gran Área Metropolitana y la Península de Osa. *Tecnología En Marcha*, 25(4), 33–39. Recuperado de http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/617
- Campos, I. (2000). *Saneamiento ambiental* (1st ed.). San José, Costa Rica. Recuperado de https://books.google.co.cr/books?id=lsgrGBGIGeMC&pg=PA61&dq=saneamiento+aguas+residuales&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=saneamiento+aguas+residuales&f=false
- CARE Internacional-Avina. (2012). *Sistemas de saneamiento ambiental*. Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://www.avina.net/esp/wp-content/uploads/2013/03/MODULO-6-OK.pdf>
- Chammany, T. (s.f.). *City Sanitation Plan for Kochi*. Kochi. Recuperado de http://www.susana.org/_resources/documents/default/2-1582-city-sanitation-plan-for-kochi.pdf
- Chamorro, G. (2011). Estimación del caudal por el método de flotadores. Lima, Perú. Recuperado de http://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO_X_FLOTADORES.pdf
- CNE. (2008). Amenazas naturales cantón de La Unión.
- Congreso Constitucional de la República de Costa Rica. Ley de Aguas (1942). Costa Rica. Recuperado de http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/LEY_DE_AGUAS_276_CR.pdf
- Crittenden, J., Trussell, R., Hand, D., Howe, K., & Tchobanoglous, G. (2012). *Water treatment principles and design* (3rd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Recuperado de https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=9P7Pmxvmn2kC&oi=fnd&pg=PT10&dq=black+water+treatment+definition+sanitation&ots=1MeHSdHdCl&sig=7k3JubqP3MUiwJT9QjpZoSH4J1o&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Eaton, A., & Franson, M. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater* (21st ed.). Recuperado de https://books.google.co.cr/books?id=buTn1rmfSI4C&dq=standard+methods+22+edition&hl=es&sa=X&redir_esc=y
- Emerson Process Management. (2010). Theory and application of conductivity. Irvine, Estados Unidos. Recuperado de http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM_Rosemount_Analytical_Documents/Liq_ADS_43-018.pdf

- Environmental Protection Agency. (2015). Methods of measurement and recording river flows. Recuperado de http://www.epa.ie/water/wm/hydrometrics/methods/#.VgDeX_1_Okp
- Espino, K. (2006). Procedimiento para la medición de sólidos totales. El Crangrejo, Panamá. Recuperado de <http://www.utp.ac.pa/sites/default/files/PCUTP-CIHH-LSA-211-2006.pdf>
- Gaviria, L. (2008). *Diagnóstico Inicial Situación de Residuos Sólidos*. La Unión. Recuperado de http://www.ifam.go.cr/PaginaIFAM/docs/PRODUCTOS_FOMUDE_2006-2011/R3-Productos/P39_Diagn%C3%B3sticos_sobre_Residuos_S%C3%B3lidos/DOC_0438_Inf.RS.Munic_La_Uni%C3%B3n_2009_FINAL.pdf
- Gobierno de Costa Rica. Ley General de la Salud (1973). Costa Rica. Recuperado de http://www.cne.go.cr/cedo_dvd5/files/flash_content/pdf/spa/doc382/doc382-contenido.pdf
- Gómez, C. (2009). *Evaluación del nuevo Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales en Cuerpos de Agua. Estudio Río Siquirres*. Universidad de Costa Rica.
- Goyenola, G. (2007). Conductividad. Recuperado de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf
- Hamburg Water Cycle. (2015). Blackwater. Recuperado de <http://www.hamburgwatercycle.de/index.php/blackwater.html>
- Hanna Instruments. (2013). Instruction manual. Recuperado de http://www.hannainst.com/manuals/IST98127_04_13.pdf
- Hanna Instruments. (2015). ¿Cuál es la relación existente entre la conductividad y los sólidos totales disueltos? Recuperado de <http://www.hannainst.es/blog/cual-es-la-relacion-existente-entre-la-conductividad-y-los-solidos-totales-disueltos/>
- INEC. (s.f.). *Estimaciones y proyecciones subnacionales de población*. San José, Costa Rica. Recuperado de http://www.inec.go.cr/A/MT/Poblaci%C3%B3n_y_Demograf%C3%ADa/Poblaci%C3%B3n/Proyecciones/Resultados_Distritales/Manual_de_apoyo_a_usuario.pdf
- INEC. (2011). *Costa Rica: Población total por sexo, total de viviendas por ocupación y promedio de ocupantes según provincia, cantón y distrito*.
- INEC. (2013). *Estimaciones y Proyecciones de Población por sexo y edad 1950 -2050*. San José, Costa Rica. Recuperado de http://www.inec.go.cr/A/MT/Poblaci%C3%B3n_y_Demograf%C3%ADa/Poblaci%C3%B3n/Proyecciones/Metodolog%C3%ADa/Docum

ento Metodol% C3% B3gico Proyecciones de Poblaci% C3% B3n.pdf

INEC. (2014). *Estimaciones y proyecciones de población distritales por sexo y grupos de edades*. San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.inec.go.cr/A/MT/Poblaci% C3% B3n y Demograf% C3% ADa/Poblaci% C3% B3n/Proyecciones/Metodolog% C3% ADa Distritales/Documento Metodol% C3% B3gico Proyecciones Distritales.pdf>

Instituto de Formación y Estudios en Democracia. (2009). La Unión 3-03 Cartago. Recuperado de <http://www.tse.go.cr/pdf/ficheros/launion.pdf>

Instituto Meteorológico Nacional. (2009). Clima en Costa Rica: Valle Central. Recuperado de <http://www.imn.ac.cr/educacion/climacr/index.html>

Lagger, J. (2000). La importancia de la calidad del agua en la producción lechera. Recuperado de http://produccion-animal.com.ar/agua_bebida/32-calidad_agua_en_produccion_lechera.pdf

Marín, M., & Ramírez, I. (s.f.). *Alternativas de saneamiento ecológico y análisis sobre la situación del saneamiento ambiental en Costa Rica*. Recuperado de http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/ARAYA_s.f. Alternativas de Saneamiento Ecologico y Analisis sobre la Situacion Saneamiento Ambiental Costa Rica SPANISH.pdf

Merkley, G. (s.f.). Current metering. Recuperado de http://ocw.usu.edu/Biological_and_Irrigation_Engineering/Irrigation___Conveyance_Control_Systems/6300__L03_CurrentMeteringOpenChannels.pdf

Mihelcic, J. (2009). *Field Guide to Environmental Engineering for Development Workers*. Virginia: American Society of Civil Engineers.

MINAE. (2007). Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Recuperado de <http://www.quimicoscr.com/docs/33601-s-minae-Vertido-uso-Aguas-Residuales.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental*.

Mora, D. (2004). Calidad microbiológica de las aguas superficiales en Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 13(24). Recuperado de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-14292004000100002&script=sci_arttext

Mora, D., & Araya, Á. (2008). Estado del agua para consumo humano y saneamiento en Costa Rica al año. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 17(32). Recuperado de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-

14292008000100004

- Municipalidad de la Unión. (2012). Desarrollo socioeconómico del cantón y sus alcances. La Unión. Recuperado de http://www.launion.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=740:desarrollo-socioeconomico-del-canton-y-sus-alcances&catid=40:logros-cantonales&Itemid=267
- Municipalidad de La Unión. Reglamento para la operación y administración del alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales del cantón de La Unión (2012). Costa Rica. Recuperado de http://www.launion.go.cr/images/Reglamento_de_Plantas_de_Tratamiento.pdf
- Oakton Instruments. (2004). Instruction Manual DO 6 Economy Hand-held Dissolved Oxygen Meter. Recuperado de http://www.4oakton.com/Assets/manual_pdfs/35642_10.pdf
- Organización de los Estados Americanos. (s.f.). Programa de salud y saneamiento básico. Recuperado de <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea49s/oea49s.pdf>
- Ortega, G. (2014). Instructivo de medición de caudal. Huaraz, Perú. Recuperado de http://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/INSTRUCTIVO_DE_MEDICION_DE_CAUDAL_ANEXO_INF.CORREGIDO_Guliana.pdf
- Programa del Estado de la Nación. (2013). *Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible*. San José.
- Quesada, I. (s.f.). *Diagnóstico del cantón de La Unión*. Recuperado de http://www.ifam.go.cr/PaginaIFAM/docs/PRODUCTOS_FOMUDE_2006-2011/R3-Productos/P48_Planes_Estrategicos_Municipales/Plan_Estrategico_Municipal_Canton_La_Union.pdf
- Riaño, S. (2012). Sustancias activas al azul de metileno. Recuperado de https://prezi.com/2_8uovw0lqc/sustancias-activas-al-azul-de-metileno-saam/
- Rivera, D. (2014). Validación de una metodología adaptada para la identificación de conexiones pluviales ilícitas al alcantarillado sanitario de la ESPH, 110.
- Rivera, N., Encina, F., Muñoz-Pedrerros, A., & Mejias, P. (2004). La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile. *Información Tecnológica*, 15(5), 89–101. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000500013
- Rojas, Ó. (2006). Manual básico para medir caudales. Recuperado de

- <http://www.bivica.org/upload/medir-caudales-manual.pdf>
- Rosabal, Y., Chang, L., & Pérez, N. (2011). Demanda Química de Oxígeno. Recuperado de <http://www.sabetodo.com/documentos/demanda-quimica-oxigeno-07072011.pdf.pdf>
- Rosales, E. (2005). Tanques sépticos, conceptos teóricos, base y aplicaciones. *Tecnología En Marcha*, 18(2), 26–33. Recuperado de http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/205
- Universidad de Salamanca. (s.f.). Características de las aguas residuales. Salamanca, España. Recuperado de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería E Investigación*, 27(3), 172–181. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/18917/1/14858-44740-1-PB.pdf>
- Sancho Chavarría, R. (2008). Situación Actual de Saneamiento en Costa Rica. Recuperado de http://www.progai.ucr.ac.cr/documentos/institucional/AYA_Situacion_actual_de_saneamiento_en_Costa_Rica.pdf
- SELVA. (2014). Saneamiento Ambiental.
- Suárez Duque, D. (2012). Saneamiento Ambiental. Recuperado de <http://es.slideshare.net/DavidSuarezDuque/saneamiento-ambiental-13199240>
- Thermo Scientific. (2008). Orion Star™ and Star Plus Meter User Guide. Recuperado de http://avogadro.chem.iastate.edu/LabManual/Orion_Star_Series_Meter_users_guide.pdf
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., & Schertenleib, R. (2008). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. Dübendorf, Suiza. Recuperado de <http://www.sanitaere-grundversorgung.ch/de/fr/documentation/files/compendium-sanitation-systems.pdf>
- Toro, M., Robles, S., Avilés, J., Nuño, C., Vivas, S., Bonada, N., ... Alba-Tercedor, J. (2002). Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características físico-químicas. Madrid. Recuperado de http://www.limnetica.net/Limnetica/limne21b/L21b63_Caracteristicas_fisicoquimicas_rios_proyecto_GUADALMED.pdf
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Ingenierías*, 8(15), 79–94. Recuperado de

- <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- Undesa. (2014). International decade for action “Water for life” 2005-2015. Recuperado de <http://www.un.org/waterforlifedecade/>
- UNICEF. (2010). Sanitation. Recuperado de <http://esa.un.org/iys/review09/countries/nigeria/pdfs/>
- United Nations Environment Programme. (2003). Water Supply & Sanitation Coverage in UNEP Regional Seas. Recuperado de http://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/wet_section_ii_english.pdf
- Universidad de Pamplona. (s.f.). Índices de Calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. Pamplona, Colombia. Recuperado de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf
- VALENTE, J. P. S., PADILHA, P. M., & SILVA, A. M. M. (1997). Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. *Eclética Química*, 22, 49–66. <http://doi.org/10.1590/S0100-46701997000100005>
- Vernier. (s.f.). Oxígeno disuelto. Recuperado de http://www2.vernier.com/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf
- WHO. (1997). Water Pollution Control - A Guide to the Use of Water Quality Management Principles. Londres: F & FN Spon. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/watpolcontrol.pdf
- WHO. (2015a). *Estimates on the use of water sources and sanitation facilities*. Recuperado de http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller%5Btype%5D=country_files
- WHO. (2015b). Water Sanitation Health. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/higiene/envsan/es/
- World Health Organization. (2015). Global health observatory data repository. Recuperado de <http://apps.who.int/gho/data/node.main.167?lang=en>

APÉNDICE

APÉNDICE 1: OTRAS LEYES Y CÓDIGOS IMPORTANTES

Cuadro A. 1. 1. Otra reglamentación importante

Nombre	Importancia
Ley de Conservación de la Vida Silvestre N° 7317	Prohíbe arrojar aguas servidas o negras en cualquier forma de cuerpos de agua superficiales. (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 1992).
Ley Orgánica del Ambiente N° 7554	Dicta que cualquier productor de contaminación debe minimizarla lo más posible y velar por el deterioro sanitario de las cuencas hidrográficas. El Estado, mediante municipalidades y demás instituciones públicas debe establecer y operar adecuadamente sistemas de disposición sanitaria de excretas. (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 1995).
Ley de Aguas N° 276	No contempla el tema de aguas residuales o servidas (Congreso Constitucional de la República de Costa Rica, 1942).
Código municipal N° 7794	Comenta la necesidad de transportar las aguas grises por las tuberías y de la forma correcta (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 1998).

APÉNDICE 2: METODOLOGÍA DE MUESTREO DE PARÁMETROS IN SITU

En cada punto muestreado se procedió a analizar en el sitio los siguientes parámetros: caudal, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura y pH, mientras que en el laboratorio del CEQIATEC se realizó los procedimientos estandarizados para conocer la DBO, DQO y Sólidos Totales.

Medición de caudal

Se llevó a la práctica tres métodos de medición de caudal: volumétrico, con flotador y con correntómetro o molinete. Para todos éstos se buscaba la zona que cumpliera la mayor cantidad de estas condiciones: área más uniforme posible, de un ancho constante, sin variantes gruesas en la profundidad en el tramo de estudio, a causa de piedras u otros, sin cuerpos extraños como maleza o basura, y con características de flujo estable, sin turbulencias que alteraran la medición (Environmental Protection Agency, 2015).

Método de aforo por correntómetro o molinete

El método del correntómetro utiliza el utensilio del mismo nombre como medidor de la velocidad del flujo en un punto específico, consiste en un aparato con hélices que giran conforme a la fuerza del agua, y que calcula la velocidad conociendo el número de revoluciones de las hélices en un periodo determinado.

En nuestro caso, se dividió el ancho de los ríos en tramos iguales, en los cuales se cuantificó la profundidad, y en cada uno de éstos se utilizó el correntómetro para conocer la velocidad específica de cada punto, analizando luego el área transversal y las velocidades específicas obtenidas.

Los pasos necesarios para conocer el caudal fueron:

- Escoger la zona de medición, tratando que sea una superficie lo más regular posible, con un ancho constante y sin alteraciones grandes en el flujo, de unos cinco metros de largo.
- Enumerar cada tramo como en la Figura 7.1.

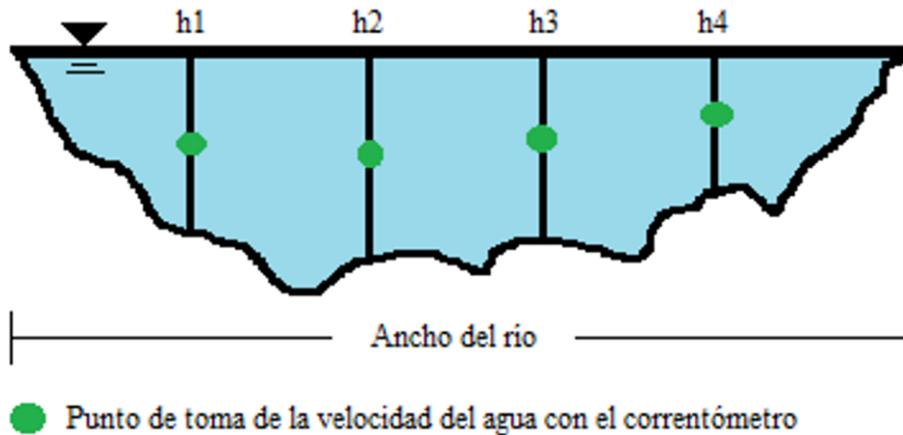


Figura A. 2. 1. Procedimiento para ubicar puntos de medición de velocidad de flujo en los ríos muestreados

- Medir en metros el ancho del río.
- Cuantificar la profundidad de los tirantes donde se utiliza el correntómetro, obtener una altura de tirante promedio, para sacar el área transversal por donde pasa el caudal en estudio.
- Medir la velocidad del agua con el correntómetro, por al menos 90 segundos (Merkley, s.f.).
- La posición del correntómetro en el tirante de la profundidad se establece con la medida total de esta última, aunque en los primeros dos muestreos se realizó la medida en 0,6 partes de la profundidad total, para el último muestreo se siguió estas condiciones:

Cuadro A. 2. 1. Profundidades recomendadas de medición con correntómetro en distintos tirantes (d)

Altura del tirante de agua (cm)	Profundidad recomendada de lectura del correntómetro
≤15	d/2
15<d≤45	0,6d
>45	0,2d y 0,8d

*d = tirante (cm)

Fuente: WHO, 2007.

Para calcular el caudal se utilizó las alturas de los tirantes y el ancho para calcular el área transversal, junto con la velocidad reportada por el correntómetro en el programa Microsoft Excel (Ortega, 2014).

Método de aforo por flotador

Ante la imposibilidad de usar el correntómetro, ya sea por su ausencia o por tener muy poco caudal que medir, se utiliza el método de aforo por flotador, uno menos preciso, pero muy barato y sencillo de llevar a cabo.

La confección del flotador juega un importante papel, ya que el mismo debe flotar verticalmente, para acercarse lo más posible a la velocidad real del agua, en nuestro caso, se contó con botellas plásticas muy bien cerradas y con $\frac{3}{4}$ partes del volumen ocupado (Chamorro, 2011), como nuestros primeros flotadores, aunque siguiendo la literatura, se decidió elaborar uno propio, que flotara verticalmente, para mejores resultados.

Cabe destacar que el flotador debe dejarse caer antes de la zona delimitada para iniciar la medición, para interferir lo menos posible con el resultado (Rojas, 2006).

La división en sub-secciones del ancho total del río se elabora como en el método anterior, así como el proceso para obtener el área transversal. La diferencia radica en la forma de obtener la velocidad, ya que un flotador debidamente elaborado es el que viaja por

las diferentes sub-secciones hechas, mientras se cuantifica el tiempo que tarda en hacerlo, para obtener los datos y calcular la velocidad.

La medida del tiempo que tarda en completar el viaje de una sección debe completarse en al menos 5m de largo (Rojas, 2006).

Por último, es necesario multiplicar la velocidad obtenida por un factor de corrección, ya que la velocidad que arroja el flotador es la velocidad superficial, y no la velocidad representativa a lo largo de todo el tirante de altura del río.

Para nuestro caso, el factor de corrección escogido es de 0,7 (Abramson, Padick, Takata-Schuemen & Taylor, 2011; Chamorro, 2011; Rojas, 2006).

Método de aforo volumétrico

El método volumétrico es el más sencillo de aplicar y entender, ya que consiste en tener un recipiente de volumen conocido y suficientemente espacioso, para que el caudal del río alcance en el mismo, durante un tiempo significativamente medible, evitando que existan fugas del caudal que no puedan ser medidas (Rojas, 2006).

Se procurará tomar las medidas en varios puntos del río, con un tubo que recoja la gran mayoría del caudal en estudio (Rojas, 2006).

Otros parámetros de medición in situ

Cuadro A. 2. Método de medición de parámetros in situ

Parámetro	Instrumento	Método	Figura
pH Temperatura	<i>HI 98127-98128 de Hanna® instruments</i>	Calibración, lavar repetidas veces con agua destilada, introducir electrodo en beaker previamente ambientado, tomar la medición hasta que el indicador de estabilidad lo permitiera.	 <p>(Hanna Instruments, 2013)</p>
Conductividad	<i>4-Star Plus Series Meter de Thermo Scientific Orion Star</i>	Conectar electrodo para conductividad al aparato, ambientar electrodo y beaker con agua destilada, ambientar con agua del río, realizar la medición en al menos tres ocasiones hasta que la medida deje de parpadear en la pantalla.	 <p>(Thermo Scientific, 2008)</p>
Oxígeno disuelto	<i>Acorn® series DO 6 meter de Oakton® instruments</i>	Conectar electrodo para OD al aparato, ambientar electrodo y beaker con agua destilada, ambientar con agua del río, realizar la medición en al menos tres ocasiones, digitando "HOLD/ENTER" para tomar el dato.	 <p>(Oakton Instruments, 2004)</p>

APÉNDICE 3: DESCRIPCIÓN DE LUGARES IMPORTANTES EN LAS ZONAS GENERADAS PARA LA ENCUESTA

Cuadro A. 3. 1. Zonas de referencia en la sectorización del cantón para la encuesta

Número de zona	Lugares importantes para referenciar las zonas de encuesta
Zona 1	Residencial Vistas de Este y Condominio Villa San Martín
Zona 2	Veredas del Este, Urbanización La Rioja y Residencial Vistas del Este
Zona 3	Tres Ríos centro, Veredas del Este y Urbanización Vistas de la Hacienda
Zona 4	Tres Ríos centro, Urbanización La Torre y Barrio Rivera del Río
Zona 5	Calle Vargas, Calle Chavarría y Polideportivo
Zona 6	La Carpintera
Zona 7	Tres Ríos centro y Villa Tres Ríos
Zona 8	Tres Ríos centro
Zona 9	Barrio El INVU y Tres Ríos centro
Zona 10	Urbanización La Antigua y Tres Ríos centro
Zona 11	Urbanización La Antigua y Urbanización Lomas del Este
Zona 12	Calle Naranjo II, Urbanización Los Alamitos y Calle Víquez
Zona 13	Calle Naranjo I, Calle Cabuya y Urbanización Los Llanos
Zona 14	Calle Naranjo I y Barrio Los Ángeles
Zona 15	Calle Naranjo I y Barrio Los Ángeles
Zona 16	Barrio Los Ángeles, Urbanización La Flor y Los Lirios
Zona 17	Barrio Los Ángeles y Urbanización La Flor
Zona 18	Barrio Los Ángeles y Condominios Altos del Este
Zona 19	Barrio Los Ángeles, Urbanización La Flor y Los Lirios
Zona 20	Barrio Los Ángeles y Barrio Salitrillos
Zona 21	Calle San Francisco y Barrio Salitrillos
Zona 22	Calle San Francisco, Calle Sánchez y Las Luisas
Zona 23	Residencial Naturalezas del Este y Urbanización La Cima
Zona 24	Urbanización El Tírrá y Barrio Alto del Carmen
Zona 25	Urbanización Jugos del Campo y Proyecto Tiribí
Zona 26	Urbanización Jugos del Campo y Proyecto Tiribí
Zona 27	Yerbabuena y Urbanización Jugos del Campo
Zona 28	Yerbabuena, Urbanización La Antigua y Urbanización Istarú
Zona 29	Urbanización Sierras de La Unión y Zona Residencial San Rafael
Zona 30	Urbanización El Fierro y Condominio Montreal
Zona 31	Zona Residencial Calle Malavassi y Urbanización Estancia Antigua
Zona 32	San Rafael y Urbanización Estancia Antigua

Continuación Cuadro A. 3. 1.

Zona 33	Urbanización Estancia Antigua
Zona 34	Urbanización Estancia Antigua
Zona 35	Urbanización Cinco Estrellas y Los Geranios
Zona 36	Los Sauces y Los Geranios
Zona 37	Los Sauces y San Vicente

APÉNDICE 4: CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA PARA LA ENCUESTA APLICADA

El cálculo del tamaño de la muestra se hizo mediante la fórmula (Glenn, 1992):

$$n = \frac{z^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

z = 1,96 para un 95 % de confianza

p = frecuencia esperada del factor por estudiar

q = 1-p

e = precisión o error admitido

Este resultado “n” indica el tamaño de muestra para una población infinita, como en este caso, se trabajó con una población finita y aproximadamente conocida, se procede a aplicar una fórmula correctora:

$$\frac{1}{n'} = \frac{1}{n} + \frac{1}{N}$$

Donde:

n' = tamaño de la muestra corregido

n = tamaño de la muestra para poblaciones infinitas

N = tamaño real de la población

APÉNDICE 5: ENCUESTA APLICADA

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ASÍ
COMO ASPECTOS SOCIOCULTURALES DE LA POBLACIÓN

TEMA: DATOS GENERALES

1. ¿Cuál es su rango de edad?					
16-27	28-37	38-47	48-57	58-64	Más de 64
2. Indique el género al que pertenece					
Masculino			Femenino		
3. ¿Cuál es su nivel educativo?					
Primaria	Secundaria	Técnico	Universitario	Postgrado	
4. ¿En cuál distrito vive?					
(Tres Ríos / San Diego / San Juan / San Rafael / Concepción / Dulce Nombre / San Ramón / Río Azul)					

TEMA: CALIDAD DEL SERVICIO

5. ¿Quién brinda el servicio de recolección de "basura" en el lugar donde vive?					
Municipalidad	Empresa WPP (contratada por la Municipalidad)	Nadie	No sé		
6. La calidad del servicio de recolección de "basura" es					
Deficiente	Regular	Aceptable	Bueno	Excelente	No sé
7. ¿Conoce usted el destino final de la "basura" que es recogida?					
Sí			No		

TEMA: MANEJO RESIDENCIAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

8. ¿Conoce usted cuáles residuos sólidos se pueden separar de la "basura" convencional? (Si contesta No pase a la 11)					
Sí			No (Si contesta No, pase a la 11)		
9. ¿Realiza en su hogar la separación de ese tipo de residuos? (Si contesta No pase a la 11)					
Sí			No (Si contesta No, pase a la 11)		
10. ¿Qué tipo de residuos se separan en su hogar? (Puede marcar varias opciones)					
Residuos orgánicos (restos de frutas, verduras, comida, etc.)	Plástico	Vidrio	Papel / Cartón	Metales (lastas de atún o latas de refresco)	Otros
11. ¿Estaría dispuesto a utilizar técnicas sencillas, a fin de reutilizar los residuos orgánicos generados en su hogar?					
Sí			No		
12. ¿Conoce del programa de recolección de residuos valorizable o reciclables de la Municipalidad?					
Sí			No		
13. Si en su casa se genera algún tipo de "basura" QUE NO ES RECOGIDA por el servicio regular de recolección de la Municipalidad (sillones, llantas, etc.), ¿qué hace con ella?					
Se bota en cualquier sitio	Se quema	Lo recoge un tercero	Se mantiene en la casa	No sé	
14. ¿Qué hace con el aceite de cocina usado?					
Lo tira o desecha por la pila o fregadero		Lo recolecta y entrega a un tercero		Lo recolecta y bota con el resto de la "basura"	
15. ¿En qué temas le gustaría recibir capacitación ambiental? (Puede marcar varias opciones)					
Reutilización de residuos sólidos	Manejo de aguas residuales	Elaboración de abonos orgánicos	Acciones contra el cambio climático	Separación de residuos sólidos	
Hogares sostenible	Huertas orgánicas	Hidroponía	Compostaje	Ninguno	

Figura A. 5. 1. I parte de la encuesta aplicada al cantón

PROYECTO: DESARROLLO DE UN PLAN DE SANEAMIENTO AMBIENTAL PARA LA COMUNIDAD URBANA DE LA MUNICIPALIDAD DE LA UNIÓN CARTAGO
ENCUESTA PARA ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE CONEXIÓN A ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL

TEMA: AGUA INTRADOMICILIAR (AI)

Tiene acceso a AI			
SI		NO	
Procedencia del AI			
Municipalidad	AyA	Propio	ASADA
Está satisfecho con el servicio			
SI		NO	
Continuidad del servicio			
Todo el día	18 horas	12 horas o menos	

Consumo al mes (m3): ____

TEMA: AGUAS RESIDUALES (AR)

Las aguas grises se encuentran separadas de las aguas residuales			
SI		NO	

Actualmente como maneja o gestiona las aguas residuales:

<input type="checkbox"/>	Vertimiento directo a canal o quebrada
<input type="checkbox"/>	Tanque séptico-Campo de infiltración
<input type="checkbox"/>	Tanque séptico-Vertimiento a canal o quebrada
<input type="checkbox"/>	Alcantarillado

Si el manejo de aguas residuales es con alcantarillado, cuál es su grado de satisfacción del servicio			
Alto	Medio	Bajo	

Las tuberías de aguas residuales tienen salida a			
Frente de la vivienda	Atrás de la vivienda		

El nivel de la vivienda se encuentra por encima del nivel de la calle			
SI		NO	

Si maneja las aguas residuales con vertimiento directo a canal o quebrada, tanque séptico-Campo de infiltración o tanque séptico-vertimiento seguir este cuestionario

Si se construye un alcantarillado frente a su casa estaría dispuesto a conectarse a este			
SI		NO	

Si la salida de las aguas residuales de la vivienda es hacia atrás, estaría dispuesto a que se instale un alcantarillado por la parte de atrás de las viviendas			
SI		NO	

Podría realizar la inversión necesaria para conectarse			
Si tiene salida a la calle podría costar de 100 a 150 mil colones			
Si hay que hacer obras dentro de la vivienda de 100 a 650 mil colones			
Si en un solo pago	Si, a crédito	No le sería posible	

TEMA: AGUAS LLUVIAS (ALL)

La vivienda cuenta con canchales y bajantes			
SI		NO	

Existen cajas de inspección de aguas lluvias al interior de la vivienda			
SI		NO	

Las aguas pluviales están separadas dentro de la vivienda			
SI		NO	

En caso de tener las aguas residuales y lluvias mezcladas en la vivienda, podría realizar la inversión necesaria para separarlas			
Si en un solo pago	Si, a crédito	No le sería posible	

Figura A. 5. 2. II parte de la encuesta aplicada al cantón

APÉNDICE 6: PROYECCIÓN POBLACIONAL PARA LOS CANTONES COSTARRICENSES SEGÚN INEC

El Instituto Nacional de Estadística y Censos fue creado en 1999, mediante la Ley 7839 del Sistema Estadístico Nacional, definiéndose como los responsables de la gestión de las estadísticas nacionales, con miras a orientar las decisiones que promuevan el desarrollo del país, por lo que recientemente han proyectado el crecimiento poblacional para los cantones costarricenses, aunque se sabe que para este proyecto nos compete el cantón de La Unión (INEC, 2013).

Población base cantonal

El proceso para realizar las proyecciones poblacionales empieza con la construcción de la población base de cada cantón, esto es, la población que debió haber sido censada realmente. Se divide en tres etapas: la población menor de 20 años, averiguada con base en los nacimientos y defunciones dentro de las personas nacidas entre 1990 y 2010, la población de 20 años y más, reconstruida a partir del padrón electoral y, por último, la población extranjera, con información de la Dirección General de Migración y Extranjería.

Aunado esto a todos los datos, se les aplicó un factor de corrección de migración interna, derivado de la pregunta “lugar de nacimiento” del Censo 2011.

Por último, a la población base nacional menor de veinte años se le suma la población base nacional de veinte años y más, y la población base extranjera (INEC, s.f.).

Población base total a nivel de distrito

La población base se estimó a nivel cantonal, ya que muchos de los datos necesarios solo existen para los cantones, por lo que para la población base distrital se

asume que “la omisión censal a nivel de cantón es similar a la experimentada por los distritos que conforman el cantón” (INEC, s.f.).

Por otra parte, es necesario recalcar que las proyecciones de INEC se basan en el supuesto que las tasas de crecimiento de la población para el periodo 2005-2010 seguirán constantes durante el resto del periodo (2010-2025).

Procedimiento de proyección

El método utilizado por el INEC es el de los Componentes Demográficos o Método de los Componentes del Cambio Poblacional, el más utilizado para proyecciones oficiales, el cual consiste en proyectar por separado las tasas de fecundidad, mortalidad y migración, para luego calcular las cantidades en las que cambia la población, a partir de ellas.

Se proyectó, de manera conjunta, la migración y la mortalidad de la población, mediante el método de las Pseudo-Razones de Supervivencia, un método que compara la población inicial con la inicial más la de los siguientes cinco años, que cuando resulta mayor que uno, implica que se aumentó de tamaño por la inmigración, pese a la mortalidad. Estas poblaciones proyectadas corresponden a los grupos de edades quinquenales -de cinco años de edad o más-.

La proyección de la población de 0 a 4 años surge de la proyección de la fecundidad y, por ende, de los nacimientos. Se calculó las tasas de fecundidad general para los 81 cantones del país, para estudiar las 81 series de tiempo, mediante un análisis de conglomerados de estas series.

El problema de las tasas de fecundidad es que no reflejan el comportamiento distrital, por lo que se proyectaron las razones niños-mujer con las tendencias obtenidas con el análisis de las series de tiempo, para luego usar los modelos Holst-Winters y conocer el cambio relativo de las cuatro tasas.

Estos cambios relativos se multiplicaron por las razones niños-mujer para todos los años por proyectar, seguidamente, se multiplica por la población de mujeres en edad fértil a mitad de período, y por las razones de supervivencia del grupo de 0 a 4 años (INEC, 2014).

APÉNDICE 7: RESULTADOS TOTALES DE LA ENCUESTA

La encuestada realizada a 857 hogares mostró la realidad actual de varios factores clave en el desarrollo del saneamiento ambiental del cantón.

Cuadro A. 7. 1. ¿Se encuentran las aguas grises separadas de las residuales?

Respuesta	Porcentaje
Sí	81,4
No	9,9
NR/NS	8,7

Cuadro A. 7. 2. Uso actual de instalaciones para gestión de las aguas residuales

Respuesta	Porcentaje
Alcantarillado	9,5
Tanque séptico- campo de infiltración	80,9
Solo vertimiento directo a canal o quebrada	1,8
Vertimiento a canal o quebrada - Tanque séptico	6,7
NR/NS	1,3

Cuadro A. 7. 3. Zona del hogar donde se encuentra la salida de aguas residuales

Respuesta	Porcentaje
Frente	60,3
Atrás	34,1
NS/NR	5,6

Cuadro A. 7. 4. ¿Se encuentra el nivel de la vivienda por encima de la calle?

Respuesta	Porcentaje
Sí	70,6
No	25,9
NR/NS	3,2

Cuadro A. 7. 5. Disposición para la conexión en un futuro alcantarillado, si la salida de aguas residuales es por el frente de las viviendas

Respuesta	Porcentaje
Sí	81,4
No	10,3
NR/NS	8,3

Cuadro A. 7. 6. Disposición para la conexión en un futuro alcantarillado, si la salida de aguas residuales es por atrás de las viviendas

Respuesta	Porcentaje
Sí	28,7
No	29,4
NS/NR	41,9

APÉNDICE 8: RESULTADOS MUESTREO PRINCIPALES RÍOS DE LA UNIÓN

Cuadro A. 8. 1. Resultados I muestreo de ríos en La Unión, junio 2015

Río	Localidad	Longitud en el punto de muestreo (km)	pH (±0,01)	Tempe- ratura (±0,01 °C)	OD (±0,01 mg/L)	Conduc- tividad (±0,01 µS/cm)	DQO (± 12 mg/L)	DBO (mg/L)	Sólidos Tota- les (mg/L)	SDT (mg/L)	Cau- dal (L/s)	ST verti- dos (kg/día)
Chagüite	Zona Alta (Naciente)	0,21	7,50	20,80	6,42	220,43	20	<10	(184 ± 2)	110,22	ND	ND
Chagüite	Zona Media (Tres Ríos centro)	1,18	7,88	18,80	8,03	186,87	29	<10	(169 ± 2)	93,44	11,15	162,83
Chagüite	Zona Baja (Urbanización La Carpintera)	2,47	7,77	20,50	6,26	415,33	59	(21 ± 2)	(285 ± 3)	207,67	19,73	485,82
La Cruz	Zona Alta (Urbanización Entebe)	0,66	7,30	19,27	7,97	254,17	39	<10	(84 ± 3)	127,09	16,81	122,02
La Cruz	Zona Media (Urb. Estancia Antigua)	2,84	7,57	20,40	6,95	267,40	40	<10	(210 ± 3)	133,70	88,48	1605,35
Chiquito	Zona Alta (Yerbabuena)	7,69	8,02	20,63	8,05	142,33	20	<10	(133 ± 3)	71,17	14,44	165,89
Chiquito	Zona Media (Tres Ríos Centro)	9,55	7,81	20,23	7,13	206,37	20	<10	(181 ± 3)	103,19	32,45	507,44
Chiquito (+ La Cruz)	Zona Baja (San Diego)	9,89	7,70	21,40	6,64	302,67	215	<10	(217 ± 3)	151,34	98,25	1842,16
Chiquito (+ La Cruz)	Zona Baja (Finca Tinoco)	10,62	7,91	21,60	6,43	311,67	20	<10	(231 ± 3)	155,84	100,83	2012,49
Tiribí	Zona Alta (Los Lotes)	3,94	6,95	18,43	7,99	177,13	20	<10	(256 ± 3)	88,57	0,84	18,66
Tiribí	Zona Media (Dulce Nombre)	5,90	7,44	18,90	7,05	212,43	40	<10	(226 ± 3)	106,22	11,52	224,97
Tiribí	Zona Media (Tres Ríos Centro)	N/A	7,48	19,17	7,49	189,73	29	<10	(214 ± 3)	94,87	10,25	189,48
Tiribí (+ Chiquito)	Zona Baja (San Diego)	12,75	7,96	20,93	7,37	259,80	69	<10	(270 ± 3)	129,90	434,59	10138,05

Cuadro A. 8. 2. Resultados II muestreo de ríos de La Unión, agosto 2015

Río	Localidad	Longitud en el punto de muestreo (km)	pH (±0,01)	Temperatura (±0,01 °C)	OD (±0,01 mg/L)	Conductividad (±0,01 μS/cm)	DQO (± 12 mg/L)	DBO (mg/L)	Sólidos Totales (± 3 mg/L)	SDT (mg/L)	Caudal (L/s)	ST vertidos (kg/día)
Chagiüte	Zona Alta (Naciente)	0,21	6,89	19,83	4,91	139,97	<10	<10	149	69,98	ND	ND
Chagiüte	Zona Media (Tres Ríos centro)	1,18	7,45	21,97	4,45	154,70	<10	<10	119	77,35	25,65	263,71
Chagiüte	Zona Baja (Urbanización La Carpintera)	2,47	6,81	21,30	2,95	420,33	(369 ± 12)	(59 ± 3)	298	210,17	24,28	625,510
La Cruz	Zona Alta (Urbanización Entebe)	0,66	7,48	20,90	14,13	226,60	(20 ± 4)	<10	61	113,30	45,52	239,89
La Cruz	Zona Media (Urb. Estancia Antigua)	2,84	7,60	21,47	ND	214,47	<10	<10	146	107,23	163,34	2060,42
Chiquito	Zona Alta (Yerabuena)	7,69	8,00	18,00	ND	112,33	<10	<10	78	56,17	46,92	316,23
Chiquito	Zona Media (Tres Ríos Centro)	9,55	7,57	21,50	ND	164,63	<10	<10	180	82,32	76,73	1193,28
Chiquito (+ La Cruz)	Zona Baja (San Diego)	9,89	7,35	20,47	4,47	217,70	<10	<10	188	108,85	255,67	4152,84
Chiquito (+ La Cruz)	Zona Baja (Finca Tinoco)	10,62	7,63	19,83	ND	238,47	(14 ± 4)	<10	211	119,23	133,89	2440,91
Tiribí	Zona Alta (Los Lotes)	3,94	7,08	20,20	4,44	139,97	<10	<10	117	69,98	1,42	14,38
Tiribí	Zona Media (Dulce Nombre)	5,90	7,36	19,27	4,15	124,10	(24 ± 4)	<10	59	62,05II	28,52	145,40
Tiribí	Zona Media (Tres Ríos Centro)	9,22	6,88	18,87	4,94	105,10	(98 ± 12)	<10	421	52,55	291,47	10601,86
Tiribí (+ Chiquito)	Zona Baja (San Diego)	12,75	6,86	22,50	ND	163,07	(128 ± 12)	<10	390	81,53	732,09	24668,56

Cuadro A. 8. 3. Resultados III muestreo de ríos de La Unión, octubre 2015

Río	Localidad	Longitud en el punto de muestreo (km)	pH (±0,01)	Temperatura (±0,01 °C)	OD (±0,01 mg/L)	Conductividad (±0,01 µS/cm)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Sólidos Totales (mg/L)	SDT (mg/L)	Caudal (L/s)	ST vertidos (kg/día)
Chagüite	Zona Alta (Naciente)	0,21	7,10	20,10	7,65	105,60	(60 ± 12)	<10	(61 ± 3)	52,80	ND	ND
Chagüite	Zona Media (Tres Ríos centro)	1,18	7,19	19,80	7,63	195,80	(58 ± 12)	<10	(53 ± 3)	97,90	9,56	190,71
Chagüite	Zona Baja (Urbanización La Carpintera)	2,47	7,25	20,20	3,73	714,00	(90 ± 12)	<10	(386 ± 3)	357,00	27,14	905,11
La Cruz	Zona Alta (Urbanización Entebe)	0,66	6,37	18,90	8,15	256,50	(19 ± 5)	<10	(157 ± 3)	128,25	17,28	234,40
La Cruz	Zona Media (Urb. Estancia Antigua)	2,84	6,59	20,10	7,93	262,10	(19 ± 5)	<10	(154 ± 3)	131,05	34,31	456,47
Chiquito	Zona Alta (Yerabuena)	7,69	7,42	17,50	8,29	146,60	(29 ± 5)	<10	(58 ± 3)	73,30	5,79	29,02
Chiquito	Zona Media (Tres Ríos Centro)	9,55	7,10	19,10	6,78	252,60	(29 ± 5)	<10	(166 ± 3)	126,30	10,73	153,88
Chiquito (+ Cruz)	La Zona Baja (San Diego)	9,89	7,51	19,70	8,28	336,30	(50 ± 12)	<10	(183 ± 3)	168,15	74,74	1181,73
Chiquito (+ Cruz)	La Zona Baja (Finca Tinoco)	10,62	7,56	20,40	7,10	349,70	(60 ± 12)	<10	(220 ± 3)	174,85	152,78	2903,98
Tiribí	Zona Alta (Los Lotes)	3,94	8,03	19,30	11,00	151,60	(19 ± 5)	<10	(92 ± 3)	75,80	0,75	5,94
Tiribí	Zona Media (Dulce Nombre)	5,90	7,34	19,00	6,86	248,60	(38 ± 7)	(12 ± 2)	(166 ± 3)	124,30	14,32	205,45
Tiribí	Zona Media (Tres Ríos Centro)	9,22	7,17	16,60	8,97	116,20	(874 ± 14)	(14 ± 2)	(4027 ± 7)	58,10	189,40	65896,87
Tiribí (+ Chiquito)	Zona Baja (San Diego)	12,75	7,06	19,90	7,78	175,60	(884 ± 14)	(37 ± 3)	(4087 ± 7)	87,80	156,28	55185,13

ANEXOS

ANEXO 1: LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA PARÁMETROS INDICADORES DE CALIDAD EN ALCANTARILLADO SANITARIO O CUERPO RECEPTOR

Cuadro A. 1. 1. Límites máximos permisibles de vertido para parámetros universales de análisis obligatorio de vertido de aguas residuales

Parámetro	Límite máximo para vertido en alcantarillado sanitario	Límite máximo para vertido en cuerpo receptor
DBO (mg/L)	300	50
DQO _{5,20} (mg/L)	750	150
Sólidos suspendidos (mg/L)	300	50
Sólidos sedimentables (mg/L)	5	1
Grasas y aceites (mg/L)	50	30
Potencial de hidrógeno*	[6-9]	[5-9]
Temperatura (°C)*	[15-40]	[15-40]
SAAM (mg/L)	5	5

*Para estos parámetros aplica un ámbito de valores permisibles y no solamente un máximo.

Fuente: Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales.

Cuadro A. 1. 2. Parámetros de análisis inicial de interés para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales

Parámetro	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
de					
clasificación					
inicial					
(Unidades)					
Saturación de oxígeno (%)	91-100	71-90 o 111-120	51-70 o 121-130	31-50	<31 o >130
DBO (mg/L)	≤3	3,1-6,0	6,1-9,0	9,1-15,0	>15,0
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	<0,5	0,5-1,0	1,1-2,0	2,1-5,0	>5,0

Fuente: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales.

Cuadro A. 1. 3. Parámetros de análisis complementarios de interés para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales

Parámetro	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
complementario					
(Unidades)					
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
DQO (mg/L)	<20	20 a <25	25 a <50	50 a <100	100 a 300
Sólidos suspendidos 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	>1000	>1000
Sólidos totales (mg/L)*	<260	260 a <525	525 a <1100	1100 a <1300	>1300

(1) Natural o que no afecte el uso indicado. * Producto de la suma de los rangos permitidos por clase para sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos, que conforman los sólidos totales.

Fuente: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales.