ESCUELA DE DOCTORADO
INTERNACIONAL DE LA USC

Carlos Roberto
Cobos Mejía

Tesis doctoral

PLAN MAESTRO DE GESTIÓN INTEGRADA DE AGUAS URBANAS (GIAU), PARA EL MUNICIPIO DE GUATEMALA CON HERRAMIENTAS DE SIG

Santiago de Compostela, 2025

Programa de Doctorado en Agricultura y Medioambiente para el Desarrollo

ESCOLA DE DOUTORAMENTO INTERNACIONAL DA USC

TESIS DOCTORAL

PLAN MAESTRO DE GESTIÓN INTEGRADA DE AGUAS URBANAS (GIAU), PARA EL MUNICIPIO DE GUATEMALA CON HERRAMIENTAS DE SIG

Autor

Carlos Roberto Cobos Mejía

Directores: María Teresa Teijeiro, José Anta Álvarez, Manuel Basterrechea

Tutor: María Teresa Teijeiro

PROGRAMA DE DOCTORADO EN AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE PARA EL DESARROLLO

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

MAYO 2025

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

Agradecimientos

En especial a mis directores Dra. María Teresa Teijeiro, Dr. José Anta y Dr. Manuel Basterrechea, por la paciencia que me tuvieron y el tiempo que dedicaron en las múltiples revisiones de este trabajo.

También a mi familia, especialmente a mi esposa Lcda. Nieves Yelavives, por acompañarme y motivarme a continuar con el documento. A mis hijos: Luis Pedro, Andrés Ramón e Ignacio José que en múltiples ocasiones me apoyaron a resolver problemas, especialmente con el manejo del software.

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Dedicatoria

A todos aquellos que, desde su lugar de trabajo o estudio, agregan un grano de arena para cambiar las cosas y lograr un mundo mejor. Espero que este trabajo sirva de guía, aunque tal vez pequeña, pero que ayude a alcanzar ese mundo que todos deseamos.

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Resumen

El trabajo de investigación desarrolla una metodología para elaborar un Plan Maestro de la Gestión Integrada de Aguas Urbanas (GIAU), para el contexto de grandes ciudades de países con información escasa, instituciones débiles e infraestructura insuficiente, de forma que pueda ser utilizada en otras ciudades con situaciones similares, y que permita hacer un cambio del paradigma en el manejo de las aguas urbanas, pasando de una estructura de gestión individual de los servicios (abastecimiento, drenajes sanitarios, drenaje pluvial y otros aspectos ambientales) a una gestión integral .

La metodología aprovecha los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como una herramienta para facilitar organizar y generar la información básica necesaria, para que, aunque solo se cuente con información limitada, está se complemente con otra información relevante del entorno geofísico y ambiental. El objetivo de la herramienta SIG es que permita generar la suficiente información para encontrar los vacíos que impiden una gestión integral del agua.

La investigación también presenta como se debe continuar el análisis, tomando en consideración que en el paradigma actual el agua doméstica, residual y pluvial se manejan por separado, y que lo más probable sea la forma en que se encontrará la información. Este análisis identifica los vacíos que impiden la gestión integrada, introduciendo varias metodologías para reducir estos vacíos y así poder construir un Plan GIAU con una visión de Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA).

Finalmente se propone un Plan GIAU específico para el municipio de Guatemala, y se hacen algunas reflexiones de las acciones a seguir para llevarlo a cabo.

Palabras Clave: Gestión Integrada de Aguas Urbanas, Sistemas de Información Geográfica, Desarrollo Urbano Sensible al Agua, Plan Maestro

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Summary

This research work describes a methodology to develop an Integrated Urban Water Management (IUWM) Plan, in countries with large cities and scarce information, weak institutions and insufficient infrastructure, so that it can be used in other cities with similar situations, allowing a paradigm shift in urban water management, moving from a structure of individual management services (supply, sanitary drainage, storm drainage and other environmental aspects) to a comprehensive management.

The methodology takes advantage of the Geographic Information Systems (GIS) as a tool to facilitate organize and generate the necessary basic information, so that although only limited information is available, it is complemented with other relevant environmental and biophysical information. The objective of the GIS tool is to generate enough information to find the gaps that prevent integrated water management.

The research also presents how the analysis should continue, taking into consideration that in the current paradigm where domestic, waste and rain water are handled separately, and that is the most likely way in which the information will be found. The analysis identified the gaps, that limit to achieve integrated management, introducing several methodologies to reduce these gaps. and then build a IUWM Plan with Urban Water-Sensitive Development (UWSD). Finally, a specific IUWM Plan is proposed for the municipality of Guatemala, and some reflections are made on the actions to be followed to carry it out.

Key Words: Integrated Urban Water Management, Geographic Information Systems, Urban Water Sensitive Development, Master Plan

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Resumo

Este traballo de investigación describe unha metodoloxía para desenvolver un Plan Integrado de Xestión Da Auga Urbana (IUWM), en países con grandes cidades e información escasa, institucións débiles e infraestrutura insuficiente, de maneira que poida ser utilizado noutras cidades con situacións similares, permitindo un cambio de paradigma na xestión da auga urbana, pasando dunha estrutura de servizos individuais de xestión (abastecemento, drenaxe sanitaria, drenaxe de tormentas e outros aspectos ambientais) a unha xestión integral.

A metodoloxía aproveita os Sistemas de Información Xeográfica (GIS) como ferramenta para facilitar a organización e xerar a información básica necesaria, de forma que aínda que só se dispón de información limitada, compleméntase con outra información ambiental e biofísica relevante. O obxectivo da ferramenta GIS é xerar información suficiente para atopar as lagoas que impiden a xestión integrada da auga.

A investigación tamén presenta como debe continuar a análise, tendo en conta que no paradigma actual onde se manexan por separado as augas domésticas, residuais e pluviais, e esa é a forma máis probable na que se atopará a información. A análise identificou as carencias, ese límite para lograr unha xestión integrada, introducindo varias metodoloxías para reducir estas carencias. e logo construír un Plan IUWM con Desenvolvemento Sensible á Auga Urbana (UWSD). Finalmente, proponse un Plan IUWM específico para o municipio de Guatemala, e fanse algunhas reflexións sobre as accións a seguir para levala a cabo.

Palabras clave: Xestión integrada da auga urbana, sistemas de información xeográfica, desenvolvemento sensible á auga urbana, Plan Director.

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

PLAN MAESTRO DE GESTIÓN INTEGRADA DE AGUAS URBANAS (GIAU) PARA EL MUNICIPIO DE GUATEMALA CON HERRAMIENTAS DE SIG

Índice

1 ANTECEDENTES 1

1.1 Introducción 1

1.2 Problemática Global de las Aguas Urbanas 2

1.3 Gestión Integrada de Aguas Urbanas (GIAU) 5

1.3.1 Huella Hídrica 8

1.3.2 Seguridad Hídrica 10

1.3.3 Recarga Hídrica 11

1.3.4 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): 12

1.3.5 Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA) 14

1.4 Herramientas SIG y Modelos de Gestión 14

1.4.1 Definir los Alcances 17

1.4.2 Selección de Software y Equipo 17

1.4.3 Inventario de la infraestructura existente 17

1.4.4 Digitalizar, escanear y fotografiar la información 18

1.4.5 Procesos Operativos 18

1.4.6 Estructura institucional 18

1.4.7 Modelos Aplicables 19

1.4.8 Ingreso de datos al SIG 19

1.4.9 Operación y Mantenimiento del SIG 19

1.4.10 Verificación Información en Campo 20

1.5 Contexto de la Situación en la Ciudad de Guatemala 20

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

1.5.1 Población residente y flotante 32
1.5.2 Aspectos legales 32
1.5.3 Recursos hídricos disponibilidad y manejo 33
2 OBJETIVOS 35
2.1 Objetivo General 35
2.2 Objetivos específicos 35
2.3 Documentos complementarios 36
3 PLANTEAMIENTO Y METODOS 38
3.1 Problemática 38
3.2 Metodología 39
3.2.1 Fase I. Construcción del SIG preliminar 40
3.2.2 FASE II Prediagnóstico 41
3.2.3 FASE III. Análisis y preparación Plan Gestión Integral Aguas Urbanas. 42
3.2.4 FASE IV. Monitoreo y evaluación 44
4 FASE I: CONSTRUCCIÓN DE UN SIG PRELIMINAR 45
4.1 Alcance del SIG preliminar y futuro 46
4.2 Selección de Software y Equipo 47
4.3 Inventario de la infraestructura existente 49
4.4 Recolección de Información Adicional 51
4.5 Construcción SIG preliminar. 52
4.6 El proceso de implementación a futuro. 55
5 FASE II: PRE-DIAGNÓSTICO 57
5.1 Prediagnóstico Agua Potable 58
5.1.1 Descripción detallada de la infraestructura 58
5.1.2 Aspectos institucionales, operativos y legales 68
5.1.3 Oferta y Demanda 70

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

5.1.4 Otras limitaciones del suministro de servicio de agua potable 81
5.1.5 Resumen del prediagnóstico del sistema de agua potable 81
5.2 Prediagnóstico Saneamiento y Drenajes Pluviales 82
5.2.1 Infraestructura existente 83
5.2.2 Servicio del sistema de alcantarillado 98
5.2.3 Resumen del diagnóstico del sistema de drenaje 101
5.3 Prediagnóstico Desechos Sólidos 102
5.3.1 Infraestructura 107
5.3.2 Demanda y Oferta 111
5.3.3 Resumen del diagnóstico de desechos sólidos 112
5.4 Prediagnóstico cualitativo empleando la herramienta DUSA 113
5.4.1 Indicadores y encuesta 114
5.4.2 Aplicación informática 118
5.4.3 Encuesta local y análisis de resultados 121
5.5 Resumen de los prediagnósticos 126
6 FASE III: GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA URBANA (GIAU) 128
6.1 Visión General 128
6.2 Integración general 131
6.2.1 Uso complementario de agua de lluvia 131
6.2.2 Soluciones Basadas en Naturaleza/ Sistemas Urbanos Drenaje Sostenible .. 134
6.2.3 Manejo de residuos y desechos sólidos 137
6.2.4 Control de descargas 139
6.2.5 Manejo de la demanda 143
6.2.6 Nuevas fuentes de agua 147
6.2.7 Reúso de aguas residuales 148

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

6.2.8 Mejoras y mantenimiento de los servicios 151
6.2.9 Aspectos legales, financieros e institucionales 152
6.3 Definición de los escenarios de referencia 153
7 DEFINICION DEL PLAN GIAU PARA EL MUNICIPIO DE GUATEMALA 155
7.1 Análisis general de Acciones 156
7.1.1 Uso complementario de agua de lluvia 156
7.1.2 SUDS, SBN e Infraestructura Verde 158
7.1.3 Manejo de residuos y desechos sólidos 167
7.1.4 Control de Descargas 168
7.1.5 Manejo de la demanda 175
7.1.6 Nuevas fuentes de agua 176
7.1.7 Reciclaje de aguas Residuales 177
7.1.8 Mejoras y mantenimiento de los servicios 177
7.1.9 Temas Legales, financieros e institucionales 179
7.2 Escenarios 180
7.3 Plan Gestión Integrada de Aguas Urbanas (GIAU) del Municipio 183
7.3.1 Mejora de Servicio al usuario 187
7.3.2 Incremento de la Oferta 190
7.3.3 Administración de la demanda 194
7.3.4 Mejora del Medio 196
7.3.5 Mejoras al entorno 199
7.4 Resumen de las Acciones del Plan de Gestión 202
8 FASE IV MONITOREO Y EVALUACION 210
9 CONCLUSIONES 217
10 RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO 220
11 BIBLIOGRAFIA 222
12 ANEXOS 237

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ANEXOS

ANEXO I Implementación Sistema de Información Geográfico (SIG)……Anexo I-1

ANEXO II *Encuesta de Indicadores del Modelo DUSA……...Anexo II-1*

ANEXO III *Reglamento de Impacto Hidráulico……...Anexo 111-1*

ANEXO IV Publicaciones derivads de la tesis……...Anexo IV-1

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Figuras

Figura No.1 Gestión Integrada Aguas Urbanas basado en (Tucci,2009) 7

Figura No. 2 Conceptos y términos de aguas urbanas adaptado de (Fletcher y otros, 2015)..... 8

Figura No. 3 Adaptación para lograr seguridad hídrica basado en (Sadoff & Muller, 2010) .. 11

Figura No. 4 Ejemplos tecnologías SUDS Foto1 ;Foto 2 ;Foto 3 ;Foto 4..... 13

Figura No. 5 Fases para la construcción de un SIG 16

Figura No. 6 Cuencas principales del país y de la Ciudad de Guatemala 21

Figura No. 7 Divisoria Continental de Aguas y la Ciudad de Guatemala..... 22

Figura No. 8 Sub cuencas principales de la Ciudad de Guatemala. 22

Figura No. 9 Fotografías acueducto colonial ciudad de Guatemala (Fotos C. R. Cobos)..... 23

Figura No. 10 Área influencia EMPAGUA basado en (CASAM CONSULTANTS, 2003)... 25

Figura No. 11 M^2 anuales construcción de viviendas en el área metropolitana 26

Figura No. 12 Cuencas expandidas para definir la región metropolitana 29

Figura No. 13 Árbol de problemas 38

Figura No. 14 Esquema de las fases a desarrollar 40

Figura No. 15 Apoyo a la Seguridad Hídrica 45

Figura No. 16 Imagen de la pantalla de inicio del SIG 54

Figura No. 17 Subdivisión de los subgrupos dentro de los grupos principales..... 55

Figura No. 18 Acueducto Xaya-Pixcaya Fuente: Elaboración Propia. 60

Figura No. 19 Otros Acueductos Fuente: Elaboración Propia. 61

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Figura No. 20 Pozos operados por EMPAGUA. 62

Figura No. 21 Pozos privados en base a descargas sistema de drenaje 64

Figura No. 22 Redes principales de agua potable 67

Figura No. 23 Horarios de Servicio y zonas hidráulicas 68

Figura No. 24 Producción anual de EMPAGUA fuente: Cuadro No.5 72

Figura No. 25 Producción anual por origen de las fuentes (fuente: Cuadro No.5) 73

Figura No. 26 Modelo conceptual para estimar la población y la demanda 76

Figura No. 27 Detalle de drenajes a nivel red de recolección en base a (Higueros, 2008), 84

Figura No. 28 Colectores primarios 85

Figura No. 29 Colectores principales y profundos 87

Figura No. 30 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales operadas por EMPAGUA. 88

Figura No. 31 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Privadas 90

Figura No. 32 Boleta de recolección de datos (Cobos, 2020) 93

Figura No. 33 Ejemplo de análisis de laboratorio (Cobos, 2020) 94

Figura No. 34 Descargas caracterizadas del municipio de Guatemala 95

Figura No. 35 Visualización de la foto de una descarga y sus datos 98

Figura No. 36 Hundimientos en el municipio de Guatemala 100

Figura No. 37 Sitio de Disposición Final 102

Figura No. 38 Ruta crítica desde el SDF zona 3 al Motagua 103

Figura No. 39 Caracterización desechos sólidos en SDF zona 3 106

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Figura No. 40 Cambio en la caracterización de desechos sólidos en el tiempo 107

Figura No. 41 Ubicación Sitio Disposición Final de Desechos Sólidos 108

Figura No. 42 Obras de infraestructura propuestas con información de la DGMRDS 110

Figura No. 43 Descripción gráfica de las áreas y subtemas 116

Figura No. 44 Descripción gráfica de las áreas y subtemas del entorno 117

Figura No. 45 Pantalla de instrucciones del proceso 1/2 119

Figura No. 46 Pantalla de instrucciones del proceso 2/2 120

Figura No. 47 Resultados gráfico del servicio 123

Figura No. 48 Resultados gráfico del entorno 124

Figura No. 49 Situación sin GIAU modificado (BANCO MUNDIAL, 2012) 129

Figura No. 50 Diagrama con GIAU integrada modificado (BANCO MUNDIAL, 2012) 130

Figura No. 51 Distribución de precipitación media anual 132

Figura No. 52 Distribución mensual de la lluvia 133

Figura No. 53 Etapas para selección de medidas verdes basada en (Cobos y otros, 2023) ... 136

Figura No. 54 Economía linear de residuos y desechos sólidos. 138

Figura No. 55 Economía Circular 139

Figura No. 56 Reúsos de aguas residuales 150

Figura No. 57 Presas de Almacenamiento de agua pluvial en SIG preliminar 157

Figura No. 58 Recarga actual 162

Figura No. 59 Caracterización de Suelos acorde USCCS 163

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Figura No. 60 Zonas de recarga al aumentar la permeabilización 164

Figura No. 61 Incremento de área permeable..... 165

Figura No. 62 Áreas de recarga permeables que coinciden con sitios municipales. 166

Figura No. 63 PTAR propuestas en SIG preliminar..... 174

Figura No. 64 Escenarios con demanda constante en base a (EMPAGUA, 2019). 182

Figura No. 65 Escenarios con demanda ajustada en base a (EMPAGUA, 2019). 182

Figura No. 66 Plantas de Tratamiento priorizada en terrenos estatales..... 198

Figura No. 67 Niveles de Indicadores propuestos..... 212

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadros

Cuadro No. 1 Metas 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6 y 11 (ONU, 2015) 4
Cuadro No. 2 Municipios Área Metropolitana de Guatemala según diferentes propuestas..... 27
Cuadro No. 3 Área de municipios por cuenca. 30
Cuadro No. 4 Inventario de capas del SIG preliminar 53
Cuadro No. 5 Producción promedio mensual de EMPAGUA m^3 basado datos EMPAGUA . 71
Cuadro No. 6 Producción promedio del periodo 2019 basado en datos de EMPAGUA 74
Cuadro No. 7 Oferta total para el municipio 75
Cuadro No. 8 Población modelada para 2019 ((Cobos y otros, 2024) 77
Cuadro No. 9 Déficit entre oferta real y demanda para 2019 78
Cuadro No. 10 Población estimada con el modelo a 2037 (Cobos y otros, 2024) 79
Cuadro No. 11 Población estimada con el modelo a 2090 (Cobos y otros, 2024) 80
Cuadro No. 12 Limites permisibles Acuerdo Gubernativo 236-2006 y sus modificaciones ... 92
Cuadro No. 13 Caracterización de descargas (Cobos, 2020) 96
Cuadro No. 14 Parámetros de Calidad de agua en las descargas (Cobos, 2020) 97
Cuadro No. 15 Volúmenes estimados de desechos sólidos depositados en SDF z. 3 105
Cuadro No. 16 Volúmenes estimados desechos sólidos por municipio utilizan SDF z. 3 112
Cuadro No. 17 Áreas y temas de la Encuesta DUSA (Puertas y otros, 2018) 115
Cuadro No. 18 Áreas y temas de Encuesta DUSA para el entorno (Puertas y otros, 2018) .. 117
Cuadro No. 19 Resultados de Áreas y temas de la Encuesta DUSA 121
Cuadro No. 20 Resultados de áreas y temas Encuesta DUSA para el entorno 122
Cuadro No. 21 Escala de las intervenciones SBN (Cobos y otros, 2023) 135
Cuadro No. 22 Dotaciones para Diseño en diferentes Manuales y Libros de Texto..... 144
Cuadro No. 23 Dotaciones en Europa 145
Cuadro No. 24 Dotaciones en América Latina 145

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 25 Requerimiento de agua doméstica en litros por día por persona 146
Cuadro No. 26 Embalses propuestos (base de datos del SIG)..... 158
Cuadro No. 27 Posibilidad de recarga por rango en base a (Cobos, 2018). 161
Cuadro No. 28 Áreas potenciales de recarga en predios municipales por zona 167
Cuadro No. 29 Ventajas y Desventajas de los Sistemas Descentralizados basado en 169
Cuadro No. 30 Ventajas y desventajas de sistemas centralizados..... 170
Cuadro No. 31 Características de las PTAR propuestas 172
Cuadro No. 32 Plantas propuestas, volúmenes y costos en base a prioridades 174
Cuadro No. 33 Escenarios oferta de producción de EMPAGUA base (EMPAGUA, 2019). 181
Cuadro No. 34 Interrelaciones del plan GIAU 185
Cuadro No. 35 Resumen de Acciones del GIAU 203
Cuadro No. 36 Indicadores de GIAU 214
Cuadro No. 37 Indicadores de Estado 215
Cuadro No. 38 Indicadores de Riesgo 216

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Siglas y Acrónimos

AMG	Área Metropolitana de Guatemala
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
DPU	Dirección de Planificación Urbana de la Municipalidad de Guatemala
DGMRDS	Dirección de Gestión y Manejo de Residuos y Desechos Sólidos
DUSA	Desarrollo Urbano Sensible al Agua
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
GIAU	Gestión Integrada de Aguas Urbanas
GWP	Global Water Partnership (Asociación Mundial del Agua)
ICC	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
IFAD	International Fund for Agricultural Development
INE	Instituto Nacional de Estadística de Guatemala
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala
GEAMA	Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de la Coruña
MAGA	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

MUNIGUATE	Municipalidad de Guatemala
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PLAMABAG	Plan Maestro de Abastecimiento de Agua de la Ciudad de Guatemala
POT	Plan de Ordenamiento Municipal
RMR	Colector Reformita Mariscal Roosevelt
SDF	Sitio de Disposición Final
SBN	Soluciones Basadas en la Naturaleza
SUDS	Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN)
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
UWWTD	Urban Waste Water Treatment Directive

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

1 ANTECEDENTES

1.1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación inicia con la descripción del recurso hídrico a nivel mundial y la definición de términos y conceptos que se utilizaran a lo largo del documento. Se presenta con un acercamiento a la problemática global, los cambios de enfoque a nivel mundial donde el recurso hídrico ya es considerado como un recurso finito, que sigue siendo el principal motor de desarrollo y sobre el que compiten diferentes sectores de la sociedad. Esta competencia por el recurso reduce su disponibilidad, por ello la Organización de las Naciones Unidas considera la protección, el manejo y el acceso al recurso hídrico en varios de sus objetivos de Desarrollo Sostenible, mencionando específicamente en el objetivo 6.5.1 la necesidad de la Gestión Integrada de los Recursos hídricos.

Seguidamente se aborda la Gestión Integrada de las Aguas Urbanas (GIAU) describiendo sus características y complementándola con algunos otros conceptos importantes e intrínsicamente relacionados como son la huella hídrica, la seguridad hídrica, la recarga hídrica, los Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenible (SUDS) y el Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA). El otro aspecto que se aborda es la inclusión de las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y como las mismas se pueden desarrollar para su uso en el manejo de los recursos hídricos urbanos. En este trabajo de investigación se describen los pasos generales a seguir importantes para establecer un sistema que pueda apoyar dicha gestión integrada.

Finalmente se describe la situación de la ciudad de Guatemala y su entorno, incluyendo la contextualización de la región metropolitana, con sus limitaciones tomando en consideración aspectos hidrológicos y políticos, que deben complementarse para definir la región. La falta de información en temas de población, sobre todo de la población flotante que transita y utiliza los servicios de la ciudad de Guatemala. Los aspectos legales, como la ausencia de una ley general de aguas, así como consideraciones biofísicas relacionadas con el agua y la ubicación espacial de ciudad de Guatemala en el parteaguas de la vertiente del Pacífico y el Atlántico.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

1.2 PROBLEMÁTICA GLOBAL DE LAS AGUAS URBANAS

El agua es un recurso indispensable para la vida. El organismo del ser humano está compuesto en un 60% de agua (H4H, 2014), y puede sobrevivir sin ella normalmente una semana; el récord es un máximo de 12 días sin agua (Bidault, 2016). Existen evidencias históricas de culturas alrededor del mundo, que desaparecieron por problemas de sequía o inundaciones, de hecho, una de las teorías del colapso de la cultura Maya, está relacionada con la escasez de agua y por ende carencia de alimentos, así como revueltas contra las élites (Hansen, 2013), por lo tanto, es indiscutible que la supervivencia del ser humano y sus centros poblados dependan directamente del agua.

El planeta está compuesto de 97.5 % de agua, y solamente el 2.5 % es agua dulce; y de este porcentaje únicamente el 0.4 % está disponible en las aguas superficiales y atmosféricas, y 30.1 % en los acuíferos. (UNESCO WAAP, 2006). Además, se debe tener en cuenta la distribución temporal y espacial de la lluvia, que genera períodos de abundancia y escasez, de acuerdo con el régimen de lluvias o a las características geográficas específicas.

La disponibilidad se ve afectada cuando el ser humano rompe el ciclo hidrológico natural, introduciendo grandes centros de consumo de agua en puntos específicos (las ciudades), y generando a su vez grandes cantidades de aguas servidas o contaminadas que regresan al ciclo; aunque con una calidad que disminuye su disponibilidad para un uso posterior. Adicionalmente, según el informe (IPCC, 2022) del 2022 del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), se espera que el cambio climático en la región de Centro y Sudamérica intensifique el estrés del recurso hídrico incrementando el riesgo de la seguridad hídrica, una reducción de la seguridad alimentaria debido a la frecuencia e intensidad de las sequías, así como mayor riesgo de epidemias por vectores, amplificado por factores como el incremento de la población, el cambio económico y uso de la tierra y principalmente la urbanización.

En el caso de las grandes ciudades que son un polo de la actividad económica y cultural de un país, es que proveen del servicio de agua no solo a la población residente en su área de influencia, sino también a una población flotante que reside en las ciudades dormitorio y conurbadas alrededor de ella. Bajo estas condiciones, la exigencia sobre el servicio es muy

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

alta en cuanto a cantidad, calidad y continuidad del agua (SEGEPLAN, 2013), tanto para la demanda doméstica, como para la comercial e industrial.

En términos comparativos, las grandes ciudades son “sedientas”, pues consumen grandes volúmenes de agua y aparentemente son insaciables y siempre requieren más. Se tienen algunos ejemplos como la ciudad de Los Ángeles en California, que construyó un canal (Austin, 2011) para llevar agua desde el río Colorado a más de 300 millas de distancia. En el caso de Londres, la principal fuente de suministro es el río Támesis, el alto grado de contaminación obligó a la limpieza del río, para mantener el abastecimiento público (Hardach, 2015). Abu Dabi en la península arábiga, usa el 65 % de agua subterránea, el 29 % es agua por desalinización y el 6 % restante es agua reciclada, se trabaja también en recarga artificial de acuíferos (Environment Agency, 2011). Como se puede observar en los ejemplos anteriores, las soluciones no son únicas y dependen de las características de cada sitio (disponibilidad, demanda y tecnología). Conforme la demanda se incrementa y la disponibilidad varia y puede disminuir en años afectados por el fenómeno del Niño, otros temas empiezan a tomar vigencia, tales como, la recarga de acuíferos, el uso de agua de lluvia, la reducción de la demanda, el reciclaje y reúso de aguas.

La problemática asociada a la gestión y el acceso al agua se encuentra en las agendas internacionales. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por Naciones Unidas son el centro de la Agenda 2030, la que fue aprobada en 2015 por más de 150 países, incluyendo Guatemala (Naciones Unidas, 2015). Los ODS son “medidas mundiales para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad” (PNUD, 2015). Si bien indirectamente varios de los 17 objetivos están relacionados con el agua, hay dos que están vinculados directamente con los temas a discutir en este documento:

- Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos
- Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

En este sentido un plan de gestión integral de las aguas urbanas ayudará al cumplimiento de las metas 6.1, 6,2, 6.3, 6.4, 11.1, 11.3, 11.5 y 11.b e indirectamente a las metas 6.5 y 6.6. Las metas del objetivo seis y once se detallan en el Cuadro No. 1.Varias organizaciones del sistema de Naciones Unidas están comprometidas a apoyar a los países para que estos alcancen los ODS en el plazo establecido.

Cuadro No. 1 Metas 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6 y 11 basado en (ONU, 2015)

ODS	Metas para 2030
6.1	Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos.
6.2	Lograr el acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones vulnerables.
6.3	Mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad a nivel mundial.
6.4	Aumentar sustancialmente la utilización eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir sustancialmente el número de personas que sufren de escasez de agua.
6.5	Poner en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
6.6	Para 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
11.1	Asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales.
11.3	Aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.
11.5	Reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
11.b	De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

En 2019 Global Water Partnership (GWP) con apoyo de otras organizaciones iniciaron y finalizaron un proceso para elaborar el Plan de Acción para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos GIRH para Guatemala que además de concentrarse en la meta 6.5 considera la GIAU como parte del mismo (MARN/SEGEPLAN/GWP, 2019).

Es relevante mencionar que el crecimiento urbano se da en forma acelerada en las ciudades y normalmente por la falta de planificación (ordenamiento territorial) rebasa la capacidad de los municipios de ampliar y mantener la infraestructura, para proporcionar los servicios de agua y drenaje; por lo que la tendencia en las ciudades modernas en Estados Unidos, Europa y América Latina, es **reducir la huella hídrica** de los nuevos proyectos a un mínimo, existen ejemplos en los Estados de Coahuila y Nuevo León en México (Benitez, 2011), que actualmente están operando y han logrado reducir el impacto sobre la infraestructura municipal y la presión sobre la inversión en la construcción de nueva infraestructura pública municipal.

Por ello, es necesario hacer un análisis integral de la **situación del manejo de las aguas en la Ciudad de Guatemala** y sus cuencas, no solo aquellas en el Área Metropolitana de Guatemala (AMG), sino también, en las cuencas que de alguna manera son o serán las fuentes de disponibilidad del recurso hídrico, para generar balances hídricos y tener planes de seguridad hídrica, que requiere una ciudad para su desarrollo.

Dentro de este contexto y sin perder la perspectiva que las propuestas son específicas para cada ciudad y sus circunstancias, se presentan algunos lineamientos o principios importantes para el desarrollo futuro del manejo del agua en la ciudad a través de un Plan de Gestión Integral de Aguas Urbanas.

1.3 GESTIÓN INTEGRADA DE AGUAS URBANAS (GIAU)

En la década de los años 90 se promovió la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH); sin embargo, aunque efectiva a nivel de cuenca, el problema urbano persistió y siguió creciendo, en parte por la falta de una visión urbana del problema. Recientemente, se habla de la Gestión Integrada de Aguas Urbanas (GIAU), que la Asociación Mundial del Agua (GWP por sus siglas en inglés) la define así (GWP, 2011):

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

"La Gestión Integrada de Aguas Urbanas (GIAU) consiste en manejar el sistema completo del recurso hídrico urbano como parte de una estructura coherente. No es un fin en sí misma sino más bien, es un medio para vigilar un sub- sistema de cuenca en búsqueda de la seguridad hídrica: una mejor disponibilidad y acceso al agua y reducción de conflictos por el uso de este recurso y de los riesgos relacionados con el mismo".

Dentro de este contexto y sin perder la perspectiva de que las propuestas son específicas para cada ciudad y sus circunstancias, se presentan algunos lineamientos o principios importantes para el desarrollo futuro del manejo del agua en la ciudad:

a. Alineación de los subsectores hídricos dentro de las ciudades y más allá de estas.

b. Esfuerzos de conservación del agua y eficiencia de su uso.

c. Diseño y planificación sensibles al tema hídrico (incluyendo el diseño urbano y el paisaje).

d. Control de las fuentes de aguas pluviales y residuales, prevención de la contaminación y manejo de los caudales y de la calidad del recurso.

e. Uso de una combinación de soluciones ecológicas y de infraestructura.

f. Uso de herramientas no estructurales como la educación, los incentivos en la fijación de precios, las regulaciones y los regímenes de restricción.

En ese sentido la GIAU toma un acercamiento holístico al problema, al considerar no solo el tema del suministro de agua, sino las aguas residuales, el alcantarillado pluvial con toda la infraestructura relacionada, así como la planificación en el uso del suelo, la institucionalidad y el marco legal para dicha gestión, todo con el objetivo de lograr mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad y conservar el ambiente, en otras palabras, la Seguridad Hídrica de la zona urbana. La Figura No. 1 presenta en una forma gráfica la conformación e interrelaciones de la Gestión Integrada de Aguas Urbanas.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

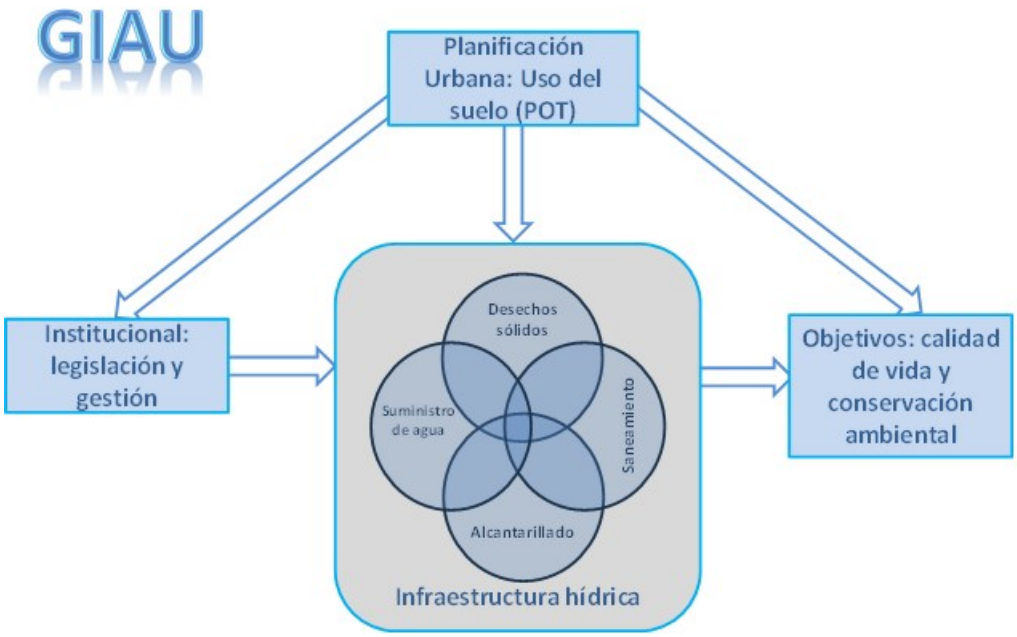


Figura No.1 Gestión Integrada Aguas Urbanas adaptado de (Tucci, 2009)

Al tener está visión holística, se puede notar que para hacer la gestión integrada de las aguas urbanas se debe incorporar como mínimo otros aspectos como: i) manejo de cuencas, meteorología, hidrología e hidrogeología para poder definir adecuadamente la oferta de agua en el territorio; ii) determinar la demanda de servicios ligada directamente a la población a servir y el ordenamiento territorial; iii) control de la contaminación; iv) control de las inundaciones; y finalmente, pero no menos importante v) el uso eficiente y sostenible del recurso hídrico. Visto de otra manera **un Plan GIAU es la hoja de ruta para alcanzar la seguridad hídrica de una zona urbana** aplicando diferentes aspectos metodológicos en forma coordinada.

Es necesario, para contextualizar mejor la GIAU definir otros conceptos que están íntimamente relacionados. Aquí se consideran la "Huella Hídrica", los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (conocidos como SUDS), la recarga hídrica y el Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA), así como la infraestructura hidráulica, regulaciones y medidas estructurales y no estructurales para lograr el resultado de una GIAU sostenible.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Algunos conceptos relacionados con el agua urbana ya mencionados y otros más se traslapan entre ellos y evolucionan constantemente de acuerdo a los países, regiones y otros condicionantes sociales y económicos (Fletcher y otros, 2015). La Figura 2 muestra en forma esquemática estos traslapes según los autores mencionados.

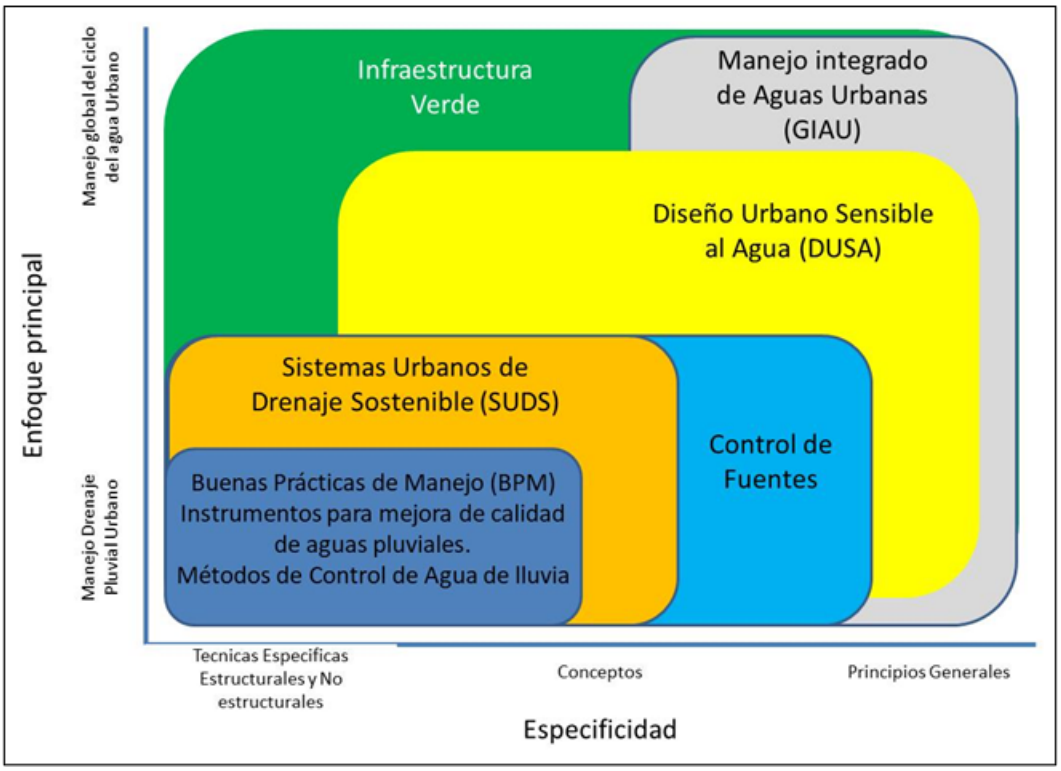


Figura No. 2 Conceptos y términos de aguas urbanas adaptado de (Fletcher y otros, 2015)

Por otra parte, los términos seguirán evolucionando, recientemente se habla de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) que incluye temas de infraestructura verde y otros de GIAU, pero con un enfoque más ecosistémico y ambiental como lo presenta la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2019).

1.3.1 Huella Hídrica

El concepto de huella hídrica fue desarrollado por Profesor Arjen Y. Hoekstra para tener un balance real del consumo de agua por la humanidad. Según la organización Red de la Huella Hídrica (Water Footprint Network) se puede definir como (WFN, 2011):

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

> *"La huella hídrica es la medición de la apropiación por parte de la humanidad del agua dulce en volúmenes de agua consumida y/o contaminada".*

Generalmente se compone de dos dimensiones la directa y la indirecta. La primera es la que usan directamente las personas, mientras la indirecta (también llamada virtual) es la relacionada con el agua requerida para la producción de alimentos y otros bienes que consumen las personas. La huella hídrica a su vez se divide en tres tipos i) Azul; ii) Gris y iii) Verde (WFN, 2011):

- La huella azul es el agua cuyo origen es superficial o subterráneo y que, ya sea evaporada, incorporada a un producto o tomada de un cuerpo de agua y devuelta en otro cuerpo o en otro tiempo, sirve como agua para irrigación, industria y uso para consumo doméstico.
- La huella gris es la cantidad de agua dulce requerida para asimilar los contaminantes para cumplir con los estándares de calidad de agua. La huella gris considera descargas contaminantes puntuales de tuberías o indirectamente a través de escorrentía, infiltración, superficies impermeables u otras fuentes difusas.
- La huella verde es el agua de precipitación almacenada en la zona de las raíces de las plantas, en los suelos y que es evaporada, transpirada o incorporada a las plantas. Es particularmente importante para la producción agrícola, hortícola y forestal.

Al considerar la huella hídrica de las zonas urbanas se puede revisar estos conceptos pudiéndose identificar dos tipos de balance hídricos en términos de flujos directos: Hidráulicos (ingenieriles) e Hidrológicos. El balance hidráulico está controlado por la demanda y la disponibilidad, así como por las aguas residuales generadas. El balance hidrológico toma en cuenta los flujos naturales que entran y salen, así como los cambios de almacenamiento en las cuencas urbanas. Obviamente hay interacciones importantes entre ambos balances; por ejemplo, los drenajes combinados, fugas por infraestructura anticuada entre otros. También en la huella hídrica total se debe considerar el agua virtual o indirecta entrando para su consumo o saliendo por bienes producidos de la zona urbana. Las grandes concentraciones de población producen fuertes desbalances en las entradas y salidas de agua virtual con respecto a los promedios nacionales. Sin embargo, en general estas relaciones son poco conocidas y difíciles de estimar a escala de cada zona urbana (Paterson y otros, 2015).

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

1.3.2 Seguridad Hídrica

Es importante también aclarar el concepto de Seguridad Hídrica que se define como: **la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua** (Sadoff & Muller, 2010). Para lograr la seguridad hídrica, según los autores citados anteriormente, se debe tener "el arte de la adaptación", especialmente al cambio climático, y que en el caso del agua se fundamenta "… *en lograr la correcta combinación de las tres "I" (información, instituciones e infraestructura) para alcanzar el deseado equilibrio entre la tres "E" (economía, entorno ambiental y equidad)*" (Sadoff & Muller, 2010) .

Quizá lo más importantes de esta definición son las tres "I", siendo una de ellas infraestructura, otra las instituciones y la otra información como pilares esenciales para alcanzar el equilibrio. Por otro lado, el equilibrio tiene que ver con: i) la economía que se refiera a la eficiencia y el valor del recurso, ii) el entorno ambiental, aunque para fines de este trabajo se considera más como Eco-sostenibilidad (para mantener las "E") pues será la sostenibilidad ambiental la que ayude a mantener ese equilibrio y iii) la equidad que permitirá que el recurso sea equitativamente distribuido a los diferentes usuarios para evitar la inestabilidad social. La Figura No. 3 describe el arte de la adaptación para tener el equilibrio necesario para alcanzar la Seguridad Hídrica, de acuerdo con la definición anterior.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

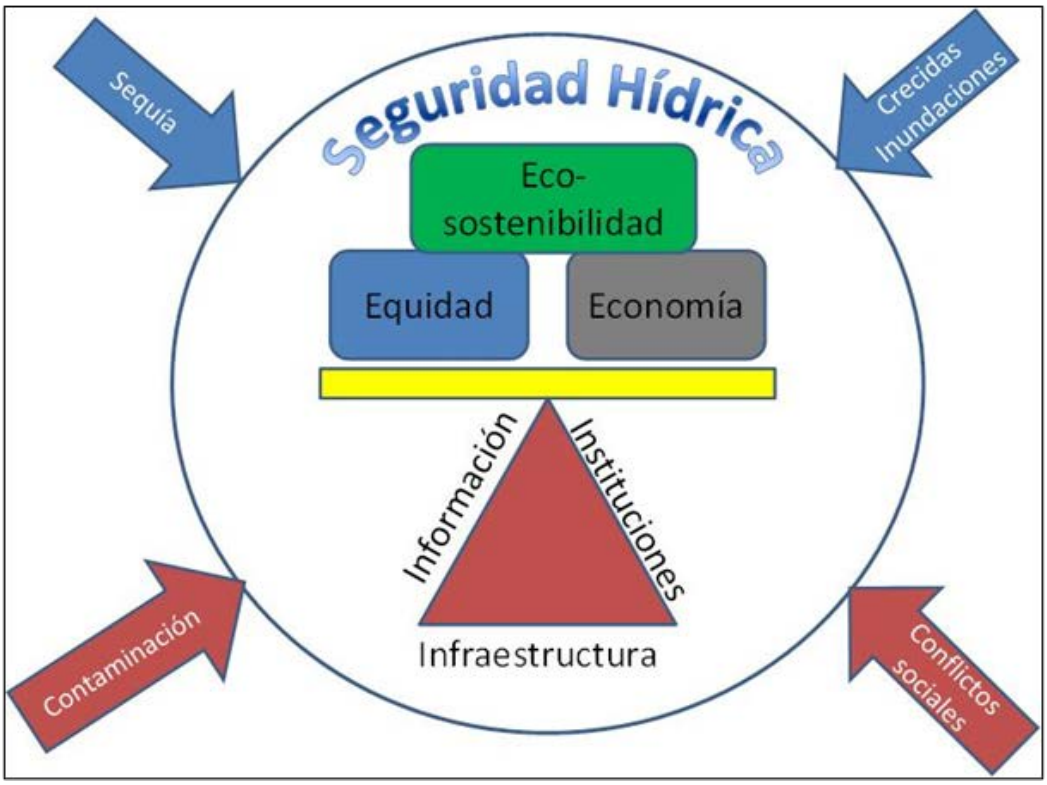


Figura No. 3 Adaptación para lograr seguridad hídrica elaboración propia basado en (Sadoff & Muller, 2010)

1.3.3 Recarga Hídrica

La recarga hídrica permite infiltrar aguas pluviales a los acuíferos, especialmente en la zona urbana de diversas maneras, aumentando la disponibilidad de agua subterránea. Requiere un claro conocimiento de las zonas de recarga del acuífero y un buen conocimiento del acuífero a recargar. La condicionante principal de cualquier proyecto de recarga es asegurar que la calidad de agua a infiltrar sea lo suficientemente buena para que no afecte la calidad de agua del acuífero o lo que sería peor aún que lo contamine. Algunas de las técnicas o metodologías SUDS o SBN, basadas en infiltración, son similares a los proyectos de recarga hídrica, aunque usualmente son de menor escala, las mismas son un gran apoyo en las zonas altamente urbanizadas. Otras técnicas de recarga hídrica como la inyección en pozos o la recarga en zonas forestales o laderas requieren un análisis geoespacial más amplio.

Generalmente se considera que los métodos más efectivos de recarga de acuíferos se basan en cuatro metodologías: i) Modificación de cauces o canales; ii) infiltración de bancos o

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

márgenes; iii) estanques o lagunas de infiltración (conocido como *water spreading* en inglés); iv) pozos de recarga o infiltración. Muchas veces y dependiendo de las condiciones específicas de cada acuífero una combinación de las anteriores metodologías será la que da mejores resultados. Si bien el conocimiento a detalle del acuífero y su comportamiento es importante, un sistema de monitoreo es esencial, para poder demostrar los resultados obtenidos por la recarga y poder ajustar y mejorar la misma (UNESCO, 2021).

1.3.4 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS):

En Latinoamérica, Guatemala no es la excepción, desde la década de los sesenta del siglo pasado, la función de los drenajes era alejar lo más rápidamente posible el agua de lluvia y las aguas residuales de las zonas urbanas. Esto llevó a la construcción de grandes colectores transportando el agua a lugares alejados de las poblaciones. Considerando dos de los efectos de cambio climático (Bardales y otros, 2019): i) sequias por periodos prolongados que disminuyen la disponibilidad de las fuentes de agua y ii) el incremento de las intensidades de lluvia que genera gran cantidad de escorrentía especialmente en las zonas urbanas y conlleva al colapso de los sistemas de drenajes al exceder sus condiciones de diseño; hoy en día, es necesario cambiar este paradigma en el manejo de los drenajes de las zonas urbanas. No es viable seguir construyendo infraestructura de mayores dimensiones que no son sostenibles económica ni ambientalmente, para seguir descargando el recurso aguas abajo perdiendo así la posibilidad de utilizarlo, ante una disminuida disponibilidad.

Por eso, los **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)** son una propuesta de manejo de las aguas de escorrentía con elementos de infraestructura y soluciones basadas en la naturaleza que complementen los drenajes de las ciudades, reduciendo la magnitud de las crecidas de la escorrentía, así como disminuyendo los contaminantes que son arrastrados por la escorrentía (Perales Momparler & Doménech, 2008). La función de los SUDS, al igual que el de los sistemas convencionales, es reducir las inundaciones, pero con una visión más integral que, además, puede ayudar en la recarga hídrica, reduce el riesgo de colapso de la infraestructura existente, mejora el paisaje urbano, almacena agua para aprovecharla en otros usos; es decir en términos generales hacer un manejo más eficiente del recurso hídrico.

Dentro de las medidas estructurales que incluyen los SUDS están, por ejemplo, las zanjas y pozos de infiltración (recarga hídrica); cunetas verdes, tanques de retardo o de retención,

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

áreas de almacenamiento, depósitos y estanques de infiltración y biorretención, humedales artificiales, etc. (ver Figura No. 4).

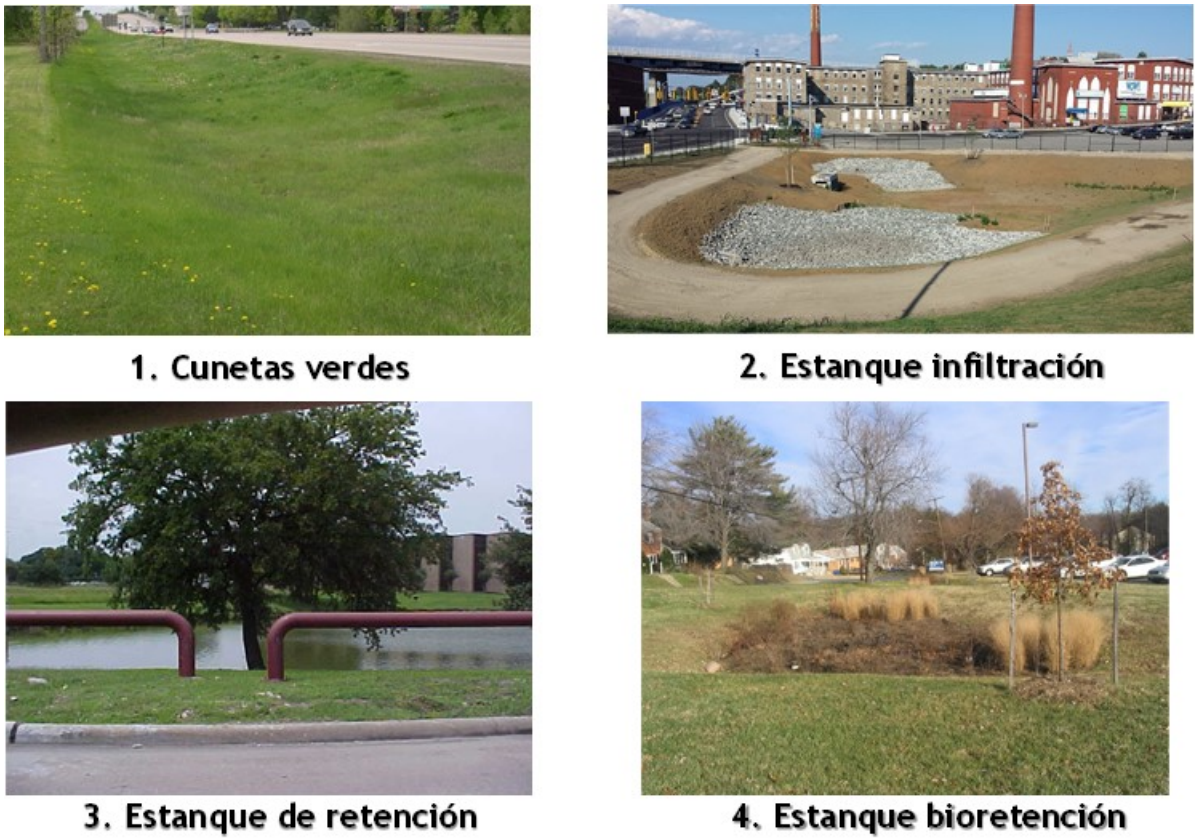


Figura No. 4 Ejemplos tecnologías SUDS compendio de fotos Foto1 [1];Foto 2 [2];Foto 3 [3];Foto 4[4]

Entre las medidas no estructurales está la capacitación, también las regulaciones, el control de contaminantes, por ejemplo, fungicidas, abonos e hidrocarburos, que contaminen las aguas de escorrentía pluvial, campañas de limpieza y de concienciación, sin perder de vista

[1] (MPCA, 2018)

[2] By MassDOT - Infiltration Basin at Anawan Street/Pocasset Street (September 14, 2016), Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=70064760

[3] Judahdavis, Public domain, via Wikimedia Commons, Judahdavis grants anyone the right to use this work **for any purpose**, without any conditions, unless such conditions are required by law.

[4] By Moreau1 - Own work, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3274022

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

la recolección y uso de agua de lluvia, entre otras medidas (Urban Drainage and Flood Control District, 1999).

1.3.5 Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA)

El Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA) promueve un enfoque holístico del desarrollo urbano que se adapte a las características naturales de los emplazamientos o lugares, que proteja los ecosistemas naturales y que optimice el uso del agua como recurso, pero sobre todo que al hablar de desarrollo urbano tiene como objetivo no solo minimizar los impactos negativos en el ciclo natural del agua, proteger y mejorar los ecosistemas acuáticos, sino prestar beneficios a la sociedad. Intenta hacer compatibles las actividades humanas con los ecosistemas a través de la gestión inteligente de todos los flujos de agua y tiene como objetivo ofrecer soluciones sostenibles del ciclo del agua en las zonas urbanas (Suárez y otros, 2014).

Una estrategia comprensiva de DUSA, debe considerar varios aspectos técnicos: i) planificar la conservación del agua (optimizar los usos de agua, agrícolas y potable, considerar el reúso de aguas residuales y la cosecha de agua de lluvia); ii) Mejorar la calidad de agua de escorrentía (incluyendo las medidas de tratamiento para reducir la contaminación del agua de lluvia); y iii) integrar elementos de diseño urbano. También es de suma importancia para enmarcar e implementar las estrategias DUSA aspectos de coordinación institucional, alternativas de participación comunitaria y generar incentivos para la innovación (Climate Adapt, 2022).

1.4 HERRAMIENTAS SIG Y MODELOS DE GESTIÓN

Como se mencionó anteriormente en el apartado 1.3.2 y la Figura No, 3 los tres pilares fundamentales para lograr la seguridad hídrica son la información, la infraestructura y las instituciones. Así, un sistema de información geográfica (SIG o GIS en inglés) que abarque la infraestructura del servicio de agua permitirá una adecuada planificación del mantenimiento de la infraestructura existente, la mejor planificación de la infraestructura a desarrollar en el futuro y fortalecerá la capacidad institucional para enfrentar los retos y desafíos futuros, para logrará la seguridad hídrica del área metropolitana.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

La mayoría de los profesionales de recursos agua, aguas residuales y agua pluvial usan SIG de la misma forma que antes han usado hojas electrónica o procesadores de palabras. Los tres principales componentes de un sistema de información geográfica son (Shamsi, 2002):

- **Geometría** la ubicación real de los elementos (hidrantes, líneas de tuberías, tanques, válvulas, etc. datos espaciales, geográficos o geoespaciales).
- **Atributos** datos descriptivos acerca de la información geográfica (diámetros, materiales, longitudes, etc.).
- **Comportamiento** reglas de los elementos geográficos, por ejemplo, no puede haber una descarga sin un tubo de drenaje conectado.

El SIG es una combinación de hardware y software que permite el manejo, análisis y mapeo de infraestructura e información geográfica y datos descriptivos con precisión geográfica. Es decir, es un sistema de organización, análisis y graficas tridimensionales (render) de datos espaciales usados para resolver problemas (Shamsi, 2002).

Los sistemas geográficos son desarrollados para personas, usuarios y profesionales, para hacer la vida más fácil al público usuario. Una vez creado, sin importar su grado de sofisticación, el sistema no sobrevivirá sin un equipo profesional calificado dedicado a mantenerlo y manejarlo. Existen básicamente dos tipos de archivos o capas que se generan en un SIG son esencialmente i) vectores y ii) matriz de celdas (“ráster”).

Normalmente los vectores, también llamados “*shapefiles*” son un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas. Las entidades geográficas se pueden representar por medio de puntos, líneas o polígonos (áreas). Existe, asociada a cada capa vectorial, una base de datos que incluye los atributos de cada elemento de acuerdo con las necesidades de cada capa y el tipo de entidad geográfica.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Mientras que los "ráster" son celdas, pixeles o cuadrículas de celdas con una baja apariencia visual; pero muy útiles para hacer diferentes análisis. Cada celda tiene un valor numérico lo cual permite operar matemáticamente los diferentes "raster" entre sí.

En términos generales, basándose en la experiencia para el desarrollo del trabajo de investigación, el procedimiento para iniciar la construcción de un SIG se esquematiza en la Figura No 5. Los principales pasos se detallan en los siguientes subapartados.

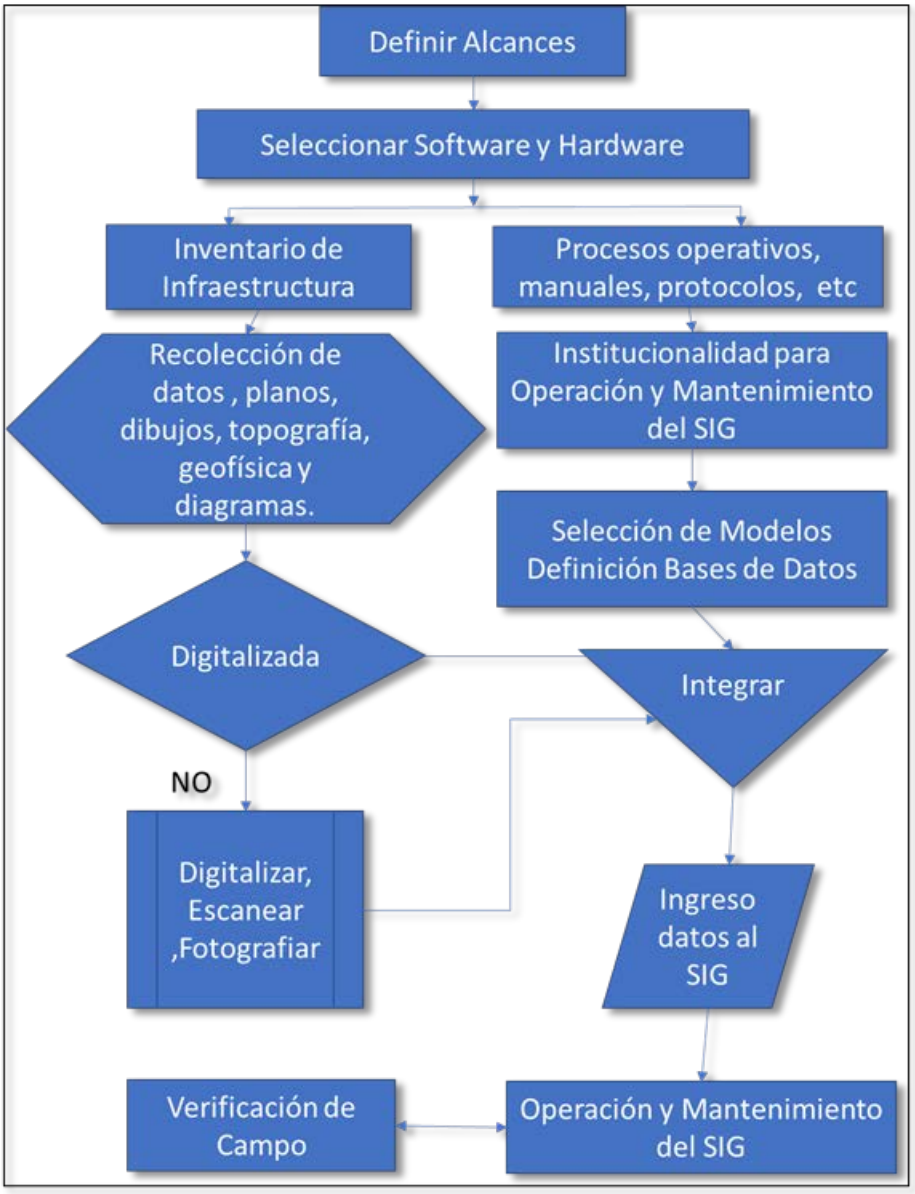


Figura No. 5 Fases para la construcción de un SIG (Fuente: Elaboración propia).

1.4.1 Definir los Alcances

Es necesario determinar hasta donde se quiere llegar con el sistema, en este sentido hay que poner metas a largo plazo deben ser muy visionarias, imaginando modelaciones en tiempo real y manejo automatizado de los sistemas. Esa visión no se debe perder de vista: sin embargo, es necesario tener en mente que el proceso será largo y que los resultados se darán paso a paso. Para ello es necesario establecer hitos o metas a corto y mediano plazo, por ejemplo, indicar que al inicio solo se tendrán en el sistema la ubicación en planta de las principales redes, sistemas de drenaje y plantas de tratamiento de agua potable y aguas residuales ubicadas espacialmente. Además, se puede complementar con otra información geográfica como curvas de nivel, cuencas y catastro, proveniente de otras fuentes y que se pueden ir recopilando paralelamente. El tamaño de las redes y los límites municipales determinarán los tiempos requeridos. La visión y los hitos definirán la selección de software y hardware.

1.4.2 Selección de Software y Equipo

La selección del software es uno de los principales elementos a considerar. Existen múltiples sistemas de SIG; sin embargo, algunos son excesivamente onerosos para ser adquiridos y requieren también costosas actualizaciones. Afortunadamente, ya existen sistemas de libre acceso con muchas opciones con continua actualización. Otro aspecto importante a considerar es que el SIG tenga la capacidad de utilizar modelos comúnmente usados en hidrología, hidráulica, redes y sistemas de tubería, calidad de agua, etc. En el Anexo I de implementación del SIG se presentan más detalles para hacer esta selección.

Seleccionar el software es sumamente importante; así como el personal que es clave para su uso y manejo. Por lo que debe considerarse su capacitación, así como el aseguramiento de la información y su calidad. Por ello se debe considerar cual será el costo de mantenimiento del sistema y el costo de inversión.

1.4.3 Inventario de la infraestructura existente

Normalmente hacer el inventario de la infraestructura de agua es complejo, especialmente si la infraestructura es antigua, pues en general la mayor parte está enterrada bajo las calles,

USC DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

haciendo, el levantamiento de la misma, complejo, pues es poco probable que se pueda levantar el asfalto, para poder inspeccionarla y contabilizarla. Por ello es necesario inicialmente, acudir a métodos indirectos como, planos originales, preguntas a los operarios y suposiciones generales con base en la infraestructura visible como tanques, plantas de tratamiento entre otros; y geoposicionar los puntos fáciles de ubicar.

No se debe perder de vista, que se facilitará la ubicación de la infraestructura, si se incluyen en las capas de mapas, algunos datos adicionales como la topografía, calles, ortofotos, distribución administrativa (zonas, colonias). Alguna de esta información es posible que se consiga ya digitalizada por alguna otra institución o dependencia del municipio.

1.4.4 Digitalizar, escanear y fotografiar la información

Frecuentemente habrá planos muy antiguos y por lo general estarán en papel, sin georreferenciación y probablemente en mal estado. Para recuperarlos hay varios métodos como redibujarlos en algún CAD, o simplemente hacer una fotografía digital, que deberá georreferenciarse y posteriormente ubicarla en la posición correcta para un postproceso. Este proceso generará un primer inventario, que deberá ajustarse en el tiempo, con base en las inspecciones en campo que se puede combinar en los procesos de reparación, operación y mantenimiento de los diferentes elementos de los sistemas.

1.4.5 Procesos Operativos

Las características y estadísticas de operación son esenciales cuando se quieran modelar los sistemas, conocer los horarios de bombeo, la operación de las válvulas, los niveles de los tanques, horarios de servicios, demanda por zonas, medidores a nivel macro y micro y protocolos de emergencia.

1.4.6 Estructura institucional

Es necesario revisar la estructura institucional y dónde quedará constituido el sistema de información geográfico dentro del esquema de la empresa de agua o del municipio, pues el mismo tendrá relación con diferentes aspectos (agua potable, drenaje, planificación, proyectos, etc.) para poder tener resultados efectivos. Idealmente debe quedar en un nivel

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

jerárquico alto, para requerir la información que se necesite y apoyar la planificación; pero, al mismo tiempo no debe estar sujeto a las contingencias de la operación diaria.

La unidad que se instituya debe ser muy técnica y su personal estar capacitado en los temas de operación de SIG y procurar la continuidad del mismo, debido a que son procesos a largo plazo.

1.4.7 Modelos Aplicables

Para lograr un manejo integrado y sobre todo para poder analizar opciones a futuro, el sistema debe poder proporcionar la información para los modelos hidrológicos, modelos hidráulicos tanto de sistemas de red de agua, como de drenajes, algún manejo de aguas subterráneas, así como modelos de transporte de contaminantes y de control de calidad de agua como mínimo. Si algunos modelos específicos ya han sido utilizados en la institución, lo ideal será aprovecharlos. Es importante estructurar el SIG para que pueda proporcionar la información necesaria para los modelos.

1.4.8 Ingreso de datos al SIG

Al ingresar los datos en el sistema es necesario analizar qué información tendrá cada elemento, la estructura de las bases de datos debe conformarse de tal manera que sea compatible con los modelos que se utilizarán a futuro para evitar complicaciones o reestructurar las mismas. Un detalle de las características específicas que se requiere para cada elemento se presenta en el Anexo I.

1.4.9 Operación y Mantenimiento del SIG

Esta fase y la siguiente son procesos paralelos, el mantenimiento ajuste y operación del sistema es un proceso continuo. El sistema será funcional si y solo sí está actualizado e incluye los nuevos proyectos, cambios y ajustes. Además, el proceso de verificación en campo será continuamente validado y se incorporará información faltante que se debe retroalimentar. El proyecto puede ser tan sofisticado como tener filmación y fotografías de los tubos de drenaje, los tragantes, medidores, pozos de visita, etc.

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

1.4.10 Verificación Información en Campo

La verificación en campo puede ser realizada dentro de los procesos rutinarios de instalación y reparación. Se diseñarán boletas que se llenan en cada visita y geoposicionando las mismas se podrá complementar con gran detalle y certeza las diferentes redes, incorporando datos de alturas, diámetros y materiales. Se recomienda hacer las boletas digitales, en aplicaciones que con la tecnología de los nuevos celulares permiten que la información sea descargada en forma digital e incorporada directamente al sistema. Esta actividad, hace algunos años requería grandes inversiones en equipo; sin embargo, actualmente con el avance de la tecnología se hace de forma económica y accesible.

1.5 CONTEXTO DE LA SITUACIÓN EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

El estado y manejo del recurso hídrico tiene una incidencia directa en la calidad de vida del ciudadano, así como en el desarrollo económico, no solo de la Ciudad de Guatemala y su Área Metropolitana (AMG), sino también del país, es relevante indicar, que la industria y el comercio se concentran en la ciudad y generan la zona con el mayor mercado del país. Un servicio de agua en cantidad, calidad y continuidad eficiente, reduce costos en el tratamiento de salud e higiene, así como beneficios en la calidad de vida del ciudadano. También reduce costos económicos en la prestación de otros servicios. Una gestión adecuada del recurso hídrico reduce la contaminación ambiental, los riesgos de inundación y mejora la sostenibilidad de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que el crecimiento poblacional aumenta la demanda de agua y las amenazas externas, así como el cambio climático, afectan seriamente la disponibilidad del recurso, ya de por sí limitada.

La ciudad se encuentra ubicada en un valle en el altiplano central de Guatemala, a una altura media de 1500 msnm. La ciudad es atravesada por la divisoria continental de aguas, es decir la parte *norte* de la ciudad drena naturalmente hacia el océano Atlántico (cuenca del río Motagua), mientras la parte *sur* drena hacia el océano Pacífico (cuenca del río María Linda). Esto implica que la ciudad está en la cabecera de las subcuencas que lo rodean, por lo que sus fuentes superficiales que puedan funcionar por gravedad son muy limitadas dentro de la jurisdicción del municipio (ver Figura No. 6).

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

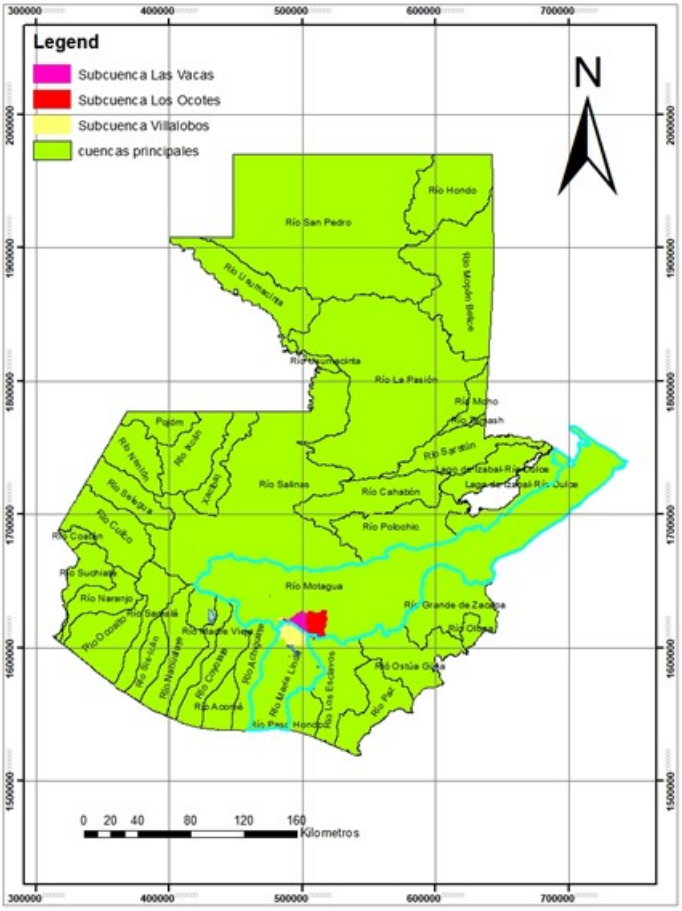


Figura No. 6 Cuencas principales del país y de la Ciudad de Guatemala (Fuente: Elaboración propia).

Por esta misma razón, la ciudad se encuentra rodeada de múltiples barrancos y quebradas que se dirigen al *norte* o hacia el *sur* (Ver Figura No. 7). El origen geológico del valle es de depósitos volcánicos, que conforman dos acuíferos principales; uno en la parte *norte* y otro en la parte *sur*. Las subcuencas de Las Cañas y Las Vacas drenan al río Motagua y la vertiente del océano Atlántico; mientras que, la subcuenca del río Villalobos drena al lago de Amatitlán y luego al río María Linda, que desemboca en el océano Pacífico (ver Figura No. 8).

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

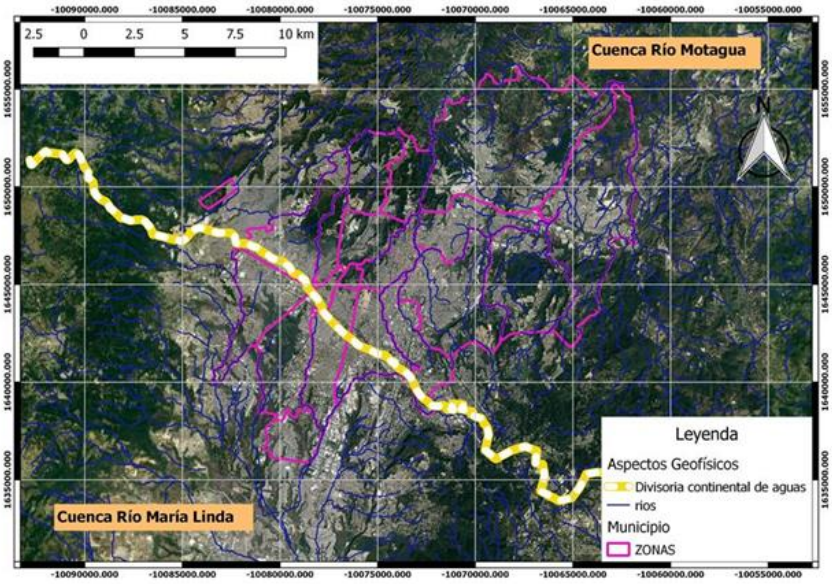


Figura No. 7 Divisoria Continental de Aguas y la Ciudad de Guatemala (Fuente Elaboración propia).

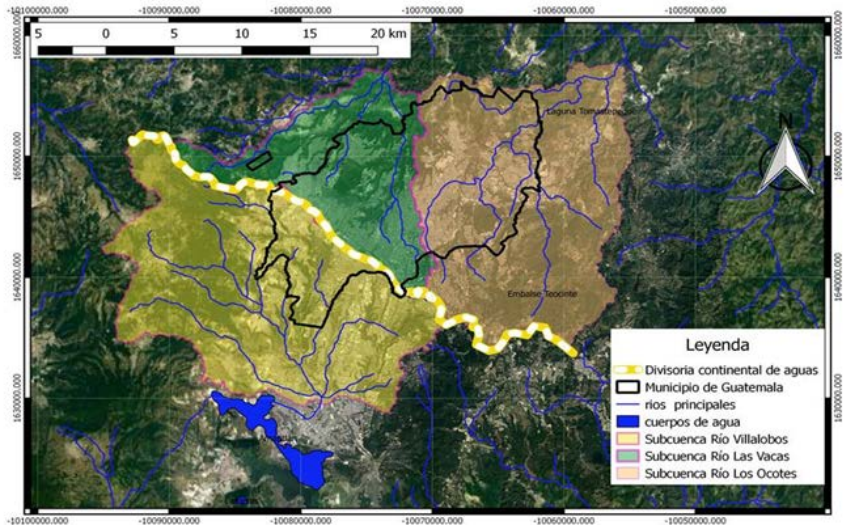


Figura No. 8 Sub cuencas principales de la Ciudad de Guatemala (Fuente: Elaboración propia).

En su origen, cuando la Ciudad se trasladó al Valle de La Ermita en el año 1776, las fuentes de agua superficial conducidas a la misma, eran suficientes para la vida y el desarrollo con la densidad poblacional existente en ese entonces (Guzman Chinchilla, 1988). Pero las ciudades tienden a crecer rápidamente, concentrando una mayor densidad de población, lo que históricamente ha generado cambios en el manejo del agua dentro de la administración de la Ciudad. La ciudad en sus orígenes se abastecía de dos fuentes principales una del río Pinula y la otra de un manantial de Mixco. El agua proveniente del río Pinula aprovechaba un antiguo paso prehispánico denominado el montículo de la culebra que fue complementado con un

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

acueducto de la época de la Colonia, que, aunque ya no funciona, aún se puede apreciar su estructura como se ve en la Figura 9.

Figura No. 9 Fotografías acueducto colonial ciudad de Guatemala (Fotos de C. R. Cobos).

En 1782 se creó por Decreto la Dirección de Aguas, como una dependencia municipal que velaría por el abastecimiento de agua para la Ciudad, por medio de concesiones que el gobierno central otorgó a la Municipalidad de Guatemala (Municipalidad de Guatemala, 1999). La desinfección por cloración de agua no ocurrió sino hasta después de los terremotos entre 1917-1918, aunque no duró mucho tiempo; sin embargo, el tema fue retomado en 1925, cuando se consideró importante tanto la cantidad como la calidad del agua distribuida. En el año 1933, se inauguró la primera Planta de Purificación de Agua; y en 1938 se inauguró la Planta de Purificación denominada El Cambray, iniciándose ese mismo año la medición de agua por cada usuario (micro medición), como un sistema de control de consumos. En el período 1944-1945, se introdujeron los caudales de Ojo de Agua, Teocinte, Santa Luisa y Brigada. En 1941 se creó el Título de Agua Municipal y se ordenó el registro de Aguas Municipales (CASAM CONSULTANTS, 2003).

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

El 28 de noviembre de 1972, el Concejo Municipal acordó la creación de la Empresa de Agua, para responder a lo establecido en el Convenio suscrito entre el Gobierno Central y el Gobierno Municipal, para la administración del proyecto Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá, ejecutado por el Gobierno Central. A la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA), le corresponde la prestación, mantenimiento, mejoramiento y ampliación del servicio municipal de agua potable en la Ciudad de Guatemala y su área de influencia urbana y según los convenios que se firmen y aprueben, conforme a la Ley en cualquier otro municipio (Arto. No. 2, Acuerdo de Creación). A partir del año 1986, se adiciona dentro de sus fines, la prestación, mantenimiento, mejoramiento y aplicación del servicio municipal de alcantarillado.

La urbanización con la consiguiente impermeabilización, ha tenido dos efectos importantes en la situación actual del recurso hídrico: en primer lugar, tanto la infiltración y por consiguiente la recarga del acuífero se han reducido, lo que a su vez ha producido una sobreexplotación de este; en segundo lugar, un incremento de la escorrentía que implica un aumento de las crecidas instantáneas, generando inundaciones aguas abajo y el colapso de los sistemas de drenaje. Esto se agrava debido a la erosión que se produce en los taludes de los barrancos, donde descargan la mayoría de drenaje pluviales y sanitarios, incrementando el sedimento, lo que afecta aún más los daños por inundaciones (IANAS, 2015).

Es importante indicar, que el área de influencia de EMPAGUA, abarca más allá de los límites del municipio de Guatemala, y que es la principal entidad responsable de la gestión del agua, tanto en la capital como en algunas áreas de municipios vecinos tales como Mixco, Santa Catarina Pinula, Chinautla, Palencia, San Miguel Petapa, San José del Golfo y Villa Nueva (ver Figura No. 10).

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Figura No. 10 Área influencia EMPAGUA elaboración propia basado en (CASAM CONSULTANTS, 2003).

La demanda se ha incrementado con el crecimiento de la población. En 1880 la población urbana de la ciudad era de apenas 55 mil habitantes, en 1921 se había duplicado a 112 mil. En 1950 en menos de 30 años, la población prácticamente se triplicó a 284,276 habitantes Para 1973 la población del municipio, prácticamente urbano en su totalidad, era de 700,504; es decir, se incrementó 2.5 veces en 23 años (TAHAL, 1982). De acuerdo al censo del año 2002 la población del municipio era de 942,348. Los datos del censo del 2018 mostraron una reducción a 923,392, lo que implica aproximadamente 19 mil habitantes menos que en el año 2002 (INCYT , 2020). Este último valor poblacional debe considerarse cuidadosamente, porque si bien es cierto en el censo puede haber una reducción marginal, el proceso de la conurbación ha generado cambios difíciles de considerar en un censo, especialmente si se considera que pasaron más de 15 años entre los censos.

Por otro lado, los censos de población reflejan la población residente, pero en el caso de ciudad de Guatemala la población flotante es de tal magnitud que su efecto en los servicios públicos básicos no puede dejar de considerarse. Finalmente, en la última década del siglo pasado, pero principalmente en la primera década de este siglo, hubo una tendencia de que los desarrollos habitacionales se trasladaron a los municipios que rodean el municipio de Guatemala, probablemente por razones puramente comerciales de precio y espacio. Esto generó una reducción de la población residente en el municipio, pero no de la población flotante. Gran cantidad de personas viven en los municipios aledaños, en un área metropolitana que abarca varios municipios, adicionalmente la construcción de vivienda vertical ha crecido en los

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

últimos años, basados en las estadísticas de la Cámara Guatemalteca de la Construcción (ver Figura No. 11), aunque obviamente la pandemia de COVID-19 afectó la tendencia de crecimiento (Bolaños, 2021). En base a estos datos se puede estimar que el crecimiento de la construcción a futuro es de 1.93 millones de metros cuadrados por año.

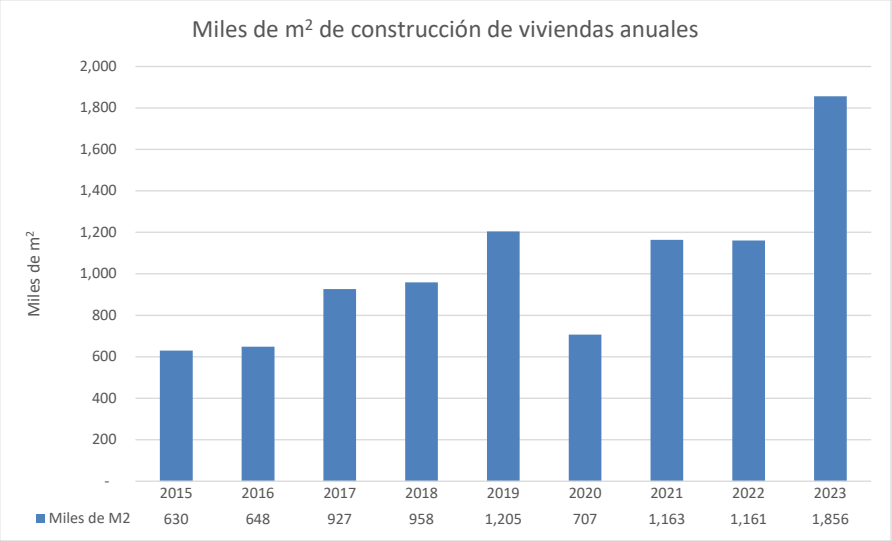


Figura No. 11 M² anuales construcción de viviendas en el área metropolitana elaboración propia basado en (CGC, 2023).

Ante el escenario anterior, para una mejor gobernanza y una mayor eficiencia de los servicios públicos como el transporte, la vialidad y obviamente el agua, es necesario a futuro definir una región metropolitana; en tanto que el Área Metropolitana de Guatemala (AMG) no ha sido definida oficialmente, por lo que diferentes autores han propuesto combinaciones diferentes de municipios, con diferentes criterios, unas propuestas abarcan los 17 municipios del departamento de Guatemala, otras solo dos municipios, etc. Sin embargo, es primordial incluir el criterio hidrológico, si se está pensando en un plan de gestión integrada del recurso hídrico, por lo que se debe considerar una zona un poco más amplia en algunos sectores y excluir otras por quedar en cuencas independientes. Según los criterios hidrológicos los municipios que deben ser considerados como la zona metropolitana son por lo menos 15 pero para una mejor cobertura 22 municipios. El Cuadro No. 2 presenta las diferencias de municipios de algunas de las propuestas e incluye la propuesta hidrológica.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 2 Municipios Área Metropolitana de Guatemala según diferentes propuestas elaboración propia basado en (Morán, 1998 IARNA-URL y TNC, 2013 e INCYT, 2020)

No.	Municipios	Alvarado Constela	Pérez Sainz	Plan Maestro transporte (JICA)	Metró-polis 2010	Banco Mundial	IARNA &TNC	INCYT	Por Cuencas Hídricas	Por Cuencas Hídricas extendidas
		1983	1991	1995	1995	2015	2013	2020	2021	2021
1	Fraijanes									
2	Santa Catarina Pínula									
3	San José Pínula									
4	San José del Golfo									
5	Palencia									
6	Chinautla									
7	San Pedro Ayampuc									
8	Mixco									
9	San Pedro Sacatepéquez									
10	San Juan Sacatepéquez									
11	San Raymundo									
12	Chuarrancho									
13	Amatitlán									
14	Villa Nueva									
15	Villa Canales									
16	San Miguel Petapa									
17	Guatemala									
18	San Lucas Sacatepéquez *									
19	Santiago Sacatepéquez *									
20	Magdalena Milpas Altas *									
21	Santa Lucía Milpas Altas *									
22	San Bartolomé Milpas Altas *									
23	Palín **									
Total		8	3	10	11	17	12	16	17	22

Municipios Departamento de Guatemala
* Municipios Departamento de Sacatepequez
** Municipios Departamento de Escuintla

La conurbación al municipio de Guatemala de los municipios de Villanueva y Mixco es evidente, tanto que estos tres municipios se consideran el núcleo urbano en el perfil Urbano de Guatemala (INCYT , 2020). Por otro lado, los municipios de Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa, Villa Canales y Chinautla ya son parte del entretejido urbano del área metropolitana; como también lo es la influencia de Fraijanes y San José Pinula. Aunque en

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

menor proporción, en el oeste los municipios de San Juan Sacatepéquez y San Pedro Sacatepéquez, así como San Lucas Sacatepéquez que también tienen su cuota de influencia.

En la zona noreste los municipios de Palencia, Chuarrancho, San Raymundo, San José del Golfo y San Pedro Ayampuc se ha integrado más lentamente a la región metropolitana; sin embargo, existe una tendencia de crecimiento, cuando se mejoran algunos accesos y al aumentar el crecimiento de sus propias zonas urbanas. En la zona sur, el municipio de Amatitlán que también se integra al área metropolitana en esta propuesta. Todos estos municipios trasladan un gran número de personas y afectan no solo el tránsito, sino los servicios públicos y son considerados como la "expansión periférica del área metropolitana" propuesta en ese mismo documento (INCYT , 2020).

Al considerar la problemática, que afecta directamente los servicios de agua potable, se debe incluir a los municipios donde se ubican no solo las fuentes de agua, sino las zonas de recarga de los acuíferos, así como las áreas de influencia de las descargas de los drenajes de los sistemas sanitarios y pluviales. Por lo que la problemática está directamente vinculada a la hidrología de las subcuencas principales en el área de influencia, siendo estas: i) Las Vacas; ii) Las Cañas y iii) la cuenca del lago de Amatitlán. En este sentido, es necesario incluir por lo menos los municipios que alimentan la parte alta y baja de la cuenca de Amatitlán; así como el Cerro Alux, en San Lucas Sacatepéquez y su prolongación hacia la Montaña de Carmona, situada en Sacatepéquez, que son, no solo una zona de recarga del acuífero, sino el límite sur occidental de la subcuenca de Amatitlán. Otros municipios involucrados en la cuenca del lago de Amatitlán son **Magdalena Milpas Altas, Santa Lucía Milpas Altas, San Bartolomé Milpas Altas y Santiago Sacatepéquez**, aunque su participación otros aspectos del área metropolitana en no es tan obvia.

Mientras que en la parte baja del lago de Amatitlán, el municipio del mismo nombre debe ser considerado, ya que gran parte del litoral del lago se encuentra en su territorio (ver Figura No. 12). En el caso de la propuesta hidrológica extendida implica ampliar las subcuencas hacia el norte a los puntos donde confluyen otros ríos, que siguen siendo parte de las subcuencas principales y además donde existe o puede existir un punto de control hidrológico.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

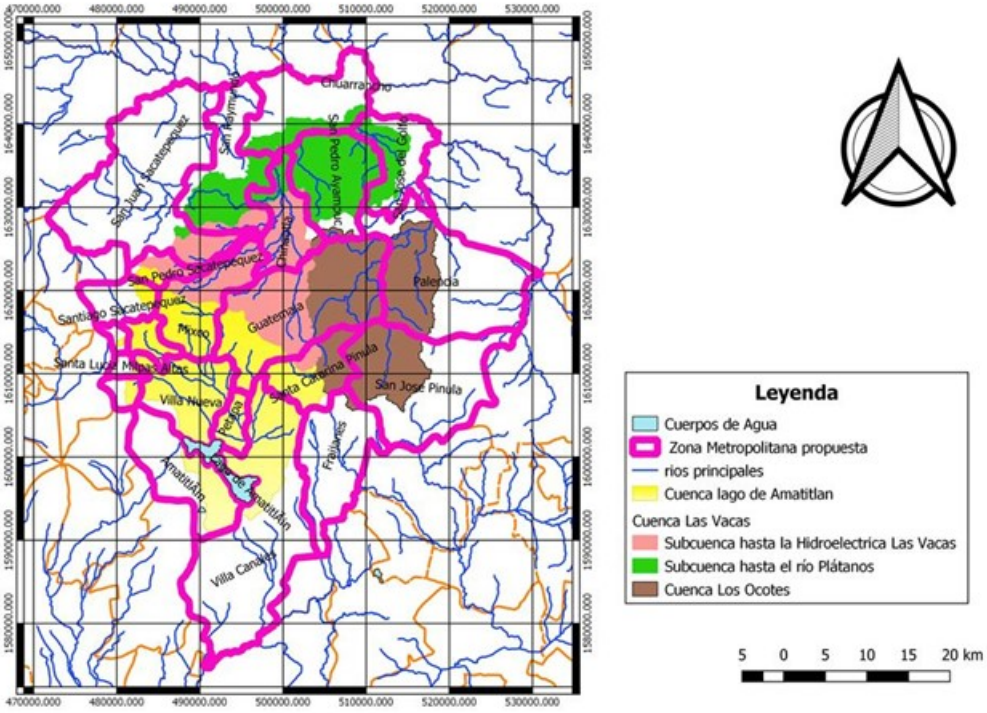


Figura No. 12 Cuencas expandidas para definir la región metropolitana (Fuente: Elaboración propia).

Con base en lo anterior, el área metropolitana incluye 22 municipios, 17 del departamento de Guatemala y 5 de Sacatepéquez. En otras palabras, el Departamento de Guatemala más los 5 municipios de Sacatepéquez considerados por la Autoridad de Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán (AMSA). El Cuadro No. 3 presenta la distribución por km^2 de cada municipio en cada una de las subcuencas.

Es importante notar que, bajo este concepto, que la división política de los municipios seleccionados para el área metropolitana, tienen un área que casi duplica la del área de las subcuencas que drenan el área metropolitana, ya que dicha división política de los municipios se extiende en muchos casos más allá del límite de las cuencas. Sin embargo, se entiende que para fines de incorporación a la región metropolitana se debe incorporar todo el municipio.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 3 Área de municipios por cuenca (Fuente: Elaboración propia).

No.	Municipios	Cuencas Metropolitanas						Área Municipal Km^2		
		Las Vacas	Km^2	Las Cañas	Km^2	Amati-tlán	Km^2	Cuencas	Externa	Total
1	Fraijanes			99.9%	2.9	0.01%	0.0	2.9	112.3	115.2
2	Santa Catarina Pínula	11%	7.0	44%	28.3	45%	29.3	64.6	2.8	67.4
3	San José Pínula			100%	75.7			75.7	122.3	198.0
4	San José del Golfo	100%	34.1					34.1	42.4	76.5
5	Palencia	1%	0.8	99%	76.8			77.7	140.1	217.7
6	Chinautla	96%	61.8	4%	2.9			64.6	2.4	67.1
7	San Pedro Ayampuc	95%	93.3	5%	4.5			97.8	9.0	106.8
8	Mixco	49%	43.8			51%	46.5	90.3	0.0	90.3
9	San Pedro Sacatepéquez	78%	19.5			22%	5.4	24.9	4.0	28.9
10	San Juan Sacatepéquez	100%	27.9					27.9	244.9	272.9
11	San Raymundo	100%	67.3					67.3	57.7	125.0
12	Chuarrancho	100%	29.0					29.0	89.0	118.0
13	Amatitlán					100%	32.7	32.7	68.3	101.0
14	Villa Nueva					100%	80.8	80.8	8.2	89.1
15	Villa Canales					100%	81.9	81.9	198.1	280.0
16	San Miguel Petapa					100%	23.8	23.8	0.0	23.8
17	Guatemala	35%	74.4	45%	95.9	21%	44.8	215.0	0.0	215.0
18	San Lucas Sacatepéquez *					100%	21.5	21.5	1.8	23.3
19	Santiago Sacatepéquez *					100%	7.9	7.9	32.6	40.5
20	Magdalena Milpas Altas *					100%	5.9	5.9	8.7	14.6
21	Santa Lucía Milpas Altas *					100%	2.1	2.1	7.1	9.2
22	San Bartolomé Milpas Altas *					100%	1.6	1.6	6.8	8.4
Total, km^2			**459.0**		**287.0**		**384.2**	**1130.1**	**1158.4**	**2288.4**

Municipios Departamento de Guatemala

* Municipios Departamento de Sacatepequez

Aunque es relevante el concepto de región metropolitana, el análisis a nivel de región metropolitana es muy complejo; especialmente, porque el manejo de los servicios de agua, no solo son muy diversos en esta área (diferente estructura administrativas para el manejo del agua en cada municipio, en algunos lugares son empresas; sin embargo, en la mayoría son oficinas o direcciones municipales), sino que, en la mayoría de los casos, la información de operación es muy limitada. Por tanto, y con el fin de tener suficiente información, esta investigación se limitará a trabajar con el municipio de Guatemala, donde existe EMPAGUA que tiene más y mejores registros que las otras municipalidades. Conforme se avance con el Plan GIAU del municipio de Guatemala, se coordinará con los otros municipios del área metropolitana.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Un porcentaje significativo (32 %) de la provisión de agua, que proporciona EMPAGUA a la red metropolitana; proviene de las cuencas de Xaya-Pixcaya, estas no se consideran en este análisis porque i) se encuentran en una zona más rural y ii) a más de 50 kilómetros del municipio de Guatemala y iii) jurisdiccionalmente la influencia de EMPAGUA en esta zona está muy limitada.

Un aspecto que no se debe soslayar es la limitada información hidrometeorológica del municipio. Solamente una estación meteorológica, localizada en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), y conocida bajo este nombre tiene un registro largo y continuo (más de 100 años). De allí las otras estaciones han funcionado irregularmente, han dejado de funcionar o tienen periodos de registro muy cortos menores a 5 años. En hidrología, la situación es aún más crítica, pues actualmente solo existe un punto de medición de caudales en la cuenca norte (Río Las Vacas) en la hidroeléctrica del mismo nombre y su registro no coincide al 100% con los registros de precipitación. En la cuenca sur del lago de Amatitlán existe una estación en el río Villalobos que ha funcionado muy irregularmente. Varios intentos de balances hídricos a través de modelos como SWAT para la cuenca sur (Novotecni, 2013), WEP para la región metropolitana (IARNA-URL & TNC, 2013), Hydrobid para la cuenca del río Las Vacas por parte de la Universidad del Valle de Guatemala, pero no se publicó. También en los estudios de aguas subterráneas se han hecho balances hídricos, como en el estudio de aguas subterráneas del INSIVUMEH muy desactualizado pues no tiene consideraciones de cambio climático (INSIVUMEH, 1978). En general, la calibración de los modelos tradicionales es muy difícil ante la escasez de datos para su calibración. En 2023 el estudio de Seguridad Hídrica (AECID-TRAGSA, 2023) realizó un balance basado en un modelo conceptual de tanques utilizando la limitada información hidrometeorológica existente. Este modelo, genero datos aproximados, enfocados en el balance hídrico del acuífero, la conclusión de este modelo es que existe un déficit provocado principalmente por la impermeabilización de la superficie y la tasa de extracción, el resultado muestra pérdidas anuales de entre -31 y -73 hm^3 para la cuenca norte y entre -33 y -90 hm^3 para la cuenca sur.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

1.5.1 Población residente y flotante

Determinar la población en el municipio es complicado, especialmente porque se desconoce la cantidad de población flotante que por diversas razones se traslada al municipio de Guatemala. En algunas zonas, la población residente es muy pequeña con respecto al flujo de personas que convergen a ella; el ejemplo típico es la zona 9, donde la población residente según proyecciones con base en el censo 2018 es de 3,352 habitantes; pero es en ella, donde se encuentra el distrito financiero, con la mayoría de bancos, aseguradoras y otras instituciones públicas con un gran número de empleados y usuarios de los servicios que prestan.

Adicionalmente, en la actualidad se percibe, por el ritmo de crecimiento de la construcción (1.18 millones m^2 autorizados en el primer semestre del año 2019), que la demanda de servicios tenderá a subir, no solo por el crecimiento vegetativo de la población, sino por una tendencia de regresar a vivir a la ciudad; abandonando algunos sectores residenciales de los municipios vecinos, así como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), que incentiva la densificación poblacional en algunas zonas de la ciudad (POT, 2006).

1.5.2 Aspectos legales

Dentro de la situación actual es importante mencionar que la falta de una Ley General de Aguas en Guatemala, impide la fiscalización y control por parte del sector gubernamental; además, falta la certeza jurídica en la propiedad o derecho de uso del recurso. Aunque la Constitución Política de Guatemala ordena hacer una ley de aguas, los congresos nunca han llegado a un acuerdo, por lo que el agua se ha venido manejando sectorialmente y en forma desordenada. Tampoco existe una ley de servicios públicos que vigile la calidad de los servicios, ni la institucionalidad real para hacerla. No existe ningún control sobre las aguas subterráneas con excepción del artículo 579 a 588 en el código civil, que son una copia de los mismos artículos en el Código Civil de 1932, que hacen referencia a la distancia entre pozos: *"Las obras artificiales a que se refiere el artículo anterior no podrán ejecutarse a menor distancia de cuarenta metros de edificios ajenos, de un ferrocarril o carretera, ni a menos de cien metros de otro alumbramiento o fuente, río, canal, acequia o abrevadero público, sin la licencia correspondiente de los dueños o, en su caso, del municipio"*. Y también indican que la propiedad del agua es de quien la extraiga. Esto contradice lo que indica la Constitución en el *"ARTICULO 127. Régimen de aguas. Todas las aguas son bienes de dominio público,*

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

inalienables e imprescriptibles. Su aprovechamiento, uso y goce, se otorgan en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social. Una ley específica regulará esta materia".

1.5.3 Recursos hídricos disponibilidad y manejo

La disponibilidad del recurso hídrico para la expansión futura de la ciudad, dentro de la jurisdicción del municipio es prácticamente inexistente, por lo que será necesario importar agua de otras fuentes. Dentro del Plan Maestro de Abastecimiento de Agua a la Ciudad de Guatemala (PLAMABAG), (TAHAL, 1982), el proyecto más factible era el denominado Noroccidental. El PLAMABAG propuso, que mientras el proyecto Noroccidental se llevará a construcción, la oferta se complementar siguiendo los pasos de un proyecto de emergencia. Este proyecto de emergencia es el que ejecutó EMPAGUA en los últimos años y consistía en dos estrategias: i) la perforación de pozos y ii) la compra de agua en bloque. La primera estrategia ya fue realizada y actualmente se trabaja en la compra de agua en bloque, para mantener un volumen aceptable de agua. Esta última, consiste en comprar un volumen de agua a un proveedor privado, quien corre con los riesgos de inversión, por ejemplo, la perforación del pozo y se le paga por el monto de agua que entrega a la empresa. Esta forma de contratación es la única posible ya que, a nivel de país, aunque existe una normativa de alianzas público-privadas, está normativa excluyó específicamente los servicios de agua de este tipo de alianzas, por lo que es prácticamente imposible utilizar esta figura legal en los servicios de agua potable.

Tradicionalmente, las descargas de aguas servidas, domésticas, comerciales e industriales se han vertido hacia el cauce más cercano de las zonas urbanas en el valle, esto genera que la mayoría de los cauces estén altamente contaminados. Aunque actualmente existen regulaciones del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), con limitaciones para las descargas a cuerpos de agua receptores, estas se aplican a los nuevos desarrollos; pero no, sobre las zonas previamente urbanizadas. Estas descargas de agua contaminada y sin tratamiento, hacen sumamente complicado el aprovechamiento de los barrancos y cauces aledaños a la ciudad para almacenamiento de agua e incluso, afecta a varias de las actuales fuentes de abastecimiento de agua, incrementando los costos de potabilización.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Actualmente, el origen del agua potable es aproximadamente 48 % agua superficial y 52 % subterránea. Las aguas superficiales provienen de los Acueductos Xayá-Pixcayá, Teocinte, El Cambray, La Brigada y Las Ilusiones. El agua subterránea proviene de varios pozos esparcidos por la ciudad, un campo de pozos importante en Ojo de Agua y los pozos de agua en bloque. EMPAGUA dispone de cinco plantas de tratamiento de agua potable (Lo de Coy, Santa Luisa, Ilusiones, Brigada y Cambray); tres estaciones de rebombeo (Atlántico, Hincapié y Ojo de Agua); ochenta y cinco pozos de explotación de agua subterránea en el valle de la ciudad, con una producción de 4.0 metros cúbicos por segundo en promedio anual (123.0 millones de m^3 al año); 28 tanques de distribución, que abastecen a un 85% de la población total de la ciudad de Guatemala y áreas de influencia. De acuerdo con estudios realizados, el déficit en la producción de agua potable es de 1.5 metros cúbicos por segundo, (CASAM CONSULTANTS, 2003) por lo que el sistema de abastecimiento de agua a la población es de tipo horario, variando de 4 a 24 horas diarias de servicio, dependiendo de la ubicación de los distintos sectores respecto a las fuentes de abastecimiento y a la infraestructura existente; y en casos especiales, 6 horas de servicio en días alternos. Según los registros de EMPAGUA en 2020 la producción fue de aproximadamente 4 m^3/s, se les presta el servicio a 186,169 servicios en la ciudad y el área de influencia y 26,355 cuentas de servicio en asentamientos; es decir, 212,540 cuentas en total que varían desde un inmueble unifamiliar de 5 a 6 miembros, hasta un condominio, colonia o asentamiento de 5,000 miembros (EMPAGUA, 2020).

El agua que se distribuye es potable de acuerdo con los estándares internacionales y que se refleja en la norma nacional COGUANOR No. 29001. Para el control y vigilancia de la calidad del agua, se cuenta con laboratorios en cada uno de los centros de producción y es verificada y certificada por el Laboratorio de Microbiología Dra. Alba Tabarini, de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), a través de un convenio suscrito entre autoridades de la Municipalidad de Guatemala y la USAC.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

2 OBJETIVOS

Ante la problemática global de la gestión de los recursos hídricos de las zonas urbanas, con las nuevas opciones de manejo de aguas, y las herramientas como SIG más desarrollados y accesibles y en el contexto de la situación de la ciudad de Guatemala se propone una metodología que permite hacer un cambio en el paradigma de manejo de las aguas urbanas.

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal es proponer, establecer y validar una metodología para desarrollar y estructurar planes de Gestión Integrada de Aguas Urbanas (GIAU), aplicable en países con limitada información, débil institucionalidad y con una infraestructura que se ve rebasada por el rápido crecimiento urbano -generalmente desordenado o poco regulado- con el consiguiente incremento en la demanda, por lo que la capacidad de la infraestructura existente se ve muy limitada. Un Plan de Gestión Integral de Aguas Urbanas (GIAU), permitirá alcanzar a futuro la seguridad hídrica, la sostenibilidad y resiliencia que los municipios requieren, aplicando las herramientas de un Sistemas de Información Geográfica (SIG) e incluyendo las medidas de adaptación para contrarrestar los efectos del Cambio Climático.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos se formulan y comprenden las diferentes dimensiones del objetivo general, así:

- Desarrollar la metodología para preparar planes de Gestión Integrada de Aguas Urbanas.
- Aplicar la metodología en el municipio de Guatemala.
- Validar la metodología con Actores Relevantes
- Establecer los lineamientos para un Sistema de Información Geográfica como una herramienta para la futura gestión del agua.
- Validar la herramienta específicamente para la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA).
- Establecer indicadores y si posible su línea base, que permitan evaluar y monitorear los avances de la GIAU.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

2.3 DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS

Durante el proceso del trabajo se generaron varios documentos, fueron desarrollados para ir avanzando en el proceso, o para cumplir etapas del trabajo, o crear las bases de datos de que se incorporaron dentro del SIG. Algunos documentos pasaron a formar parte de los anexos y fueron ajustados y resumidos para presentarlos como información adicional que se detallan a continuación:

- Anexo I presenta la propuesta para el desarrollo del SIG en EMPAGUA que se presentó originalmente por el autor a la gerencia de EMPAGUA.
- El modelo para determinar la población flotante se publicó en la Revista del Instituto Mexicano del Agua (IMTA) con DOI: 10.24850/j-tyca-15-4-10. Los datos de población generados fueron usados en la tesis (https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/julago2024).
- Anexo II presenta la encuesta DUSA, y aunque esto incluyo la modificación a la hoja electrónica existente, para mejorar el ingreso de las encuestas con los datos obtenidos, sin embargo, la hoja electrónica no se incluye. Los resultados si se incluyen en forma resumida en este documento.
- El documento *"Bases técnico-legales para proponer un nuevo sistema de tarifas como mecanismo financiero para garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua en Guatemala"* y *"Cálculo de una tarifa ambiental para contribuir a la seguridad hídrica en la región metropolitana de Guatemala"* elaborado por el autor y otros tres colegas para la Alianza de los Fondos Latinoamericanos del Agua y financiado por The Nature Conservancy (TNC); Fundación FEMSA; Banco Interamericano de Desarrollo (BID); el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM); Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania y Infrastructure Climate Initiative (IKI). El trabajo fue parte de lo trabajado en esta tesis en los temas de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) y Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) resaltando la necesidad de buscar mecanismos de financiamiento para SBN a nivel privado y municipal. Para mayores detalles se pueden consultar los documentos originales que ya fueron publicados por TNC en https://www.nature.org/es-us/sobre-tnc/donde-trabajamos/tnc-en-latinoamerica/guatemala/

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

- Anexo III es una propuesta desarrollada por el autor, como un ejemplo de cómo se pueden incorporar las SBN o SUDS en las regulaciones municipales. De momento esta como un borrador, en un proceso de revisión legal y modificaciones por las diferentes unidades de la Municipalidad de Guatemala, por lo que no hay un sitio donde se le pueda referir hasta que esté aprobado.

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

3 PLANTEAMIENTO Y METODOS

Para alcanzar los objetivos es necesario definir, con el conocimiento del problema a resolver. un proceso metodológico que permite llegar a gestiones más integrales del recurso hídrico que integre no solo la infraestructura, sino los temas de gobernanza, sostenibilidad ambiental y eficiencia en el uso del recurso para lograr un cambio en los paradigmas de la gestión del agua.

3.1 PROBLEMÁTICA

Para poder justificar la necesidad de hacer una gestión integrada de aguas urbanas se preparó un árbol de problemas, con base a los talleres realizados en la mesa de planificación con personal de EMPAGUA (EMPAGUA, 2018), para identificar las causas y problemas principales que se presentan en la ciudad relacionados al agua y al saneamiento, que se muestra en la Figura No.13.

Figura No. 13 Árbol de problemas (Fuente: Elaboración propia).

De la figura anterior se puede observar que el efecto de la situación actual es inseguridad hídrica lo que genera a su vez, problemas sociales y económicos; y que si bien es cierto

probablemente no se pueda resolver totalmente el problema, la gestión de la escasez y excesos de agua y la reducción de contaminación, pueden permitir mejorar la disponibilidad del recurso hídrico. Y eso solo podrá lograrse a través de un proceso integrado en el manejo tanto del agua potable como de los drenajes.

3.2 METODOLOGÍA

Una vez definido el problema se debe conocer la situación; es decir, con qué infraestructura, con qué institucionalidad y con qué información se cuenta y cuál es necesario generar. Con esta información se debe hacer un diagnóstico que permita estructurar el Plan de Gestión Integrada de Aguas Urbanas; y finalmente, establecer el sistema de monitoreo y evaluación del plan. El esquema de la Figura No. 14 muestra el proceso.

Durante el proceso se usaron diferentes métodos, se revisó la bibliografía existente no solo para definir los conceptos teóricos sino para determinar las acciones llevadas a cabo en otros países y su aplicación en un medio con datos limitados e infraestructura débil. También se aprovechó la metodología desarrollada previamente para el Diseño Urbano Sensible al Agua que incluye encuestas que se presentan en formatos gráficos de fácil análisis. La herramienta del Sistema de Información Geográfica permitió sobreponer mapas y desarrollar, en base a datos existentes, otra información útil para la Gestión Integrada, como por ejemplo el modelo para determinar la población residente, flotante y total.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

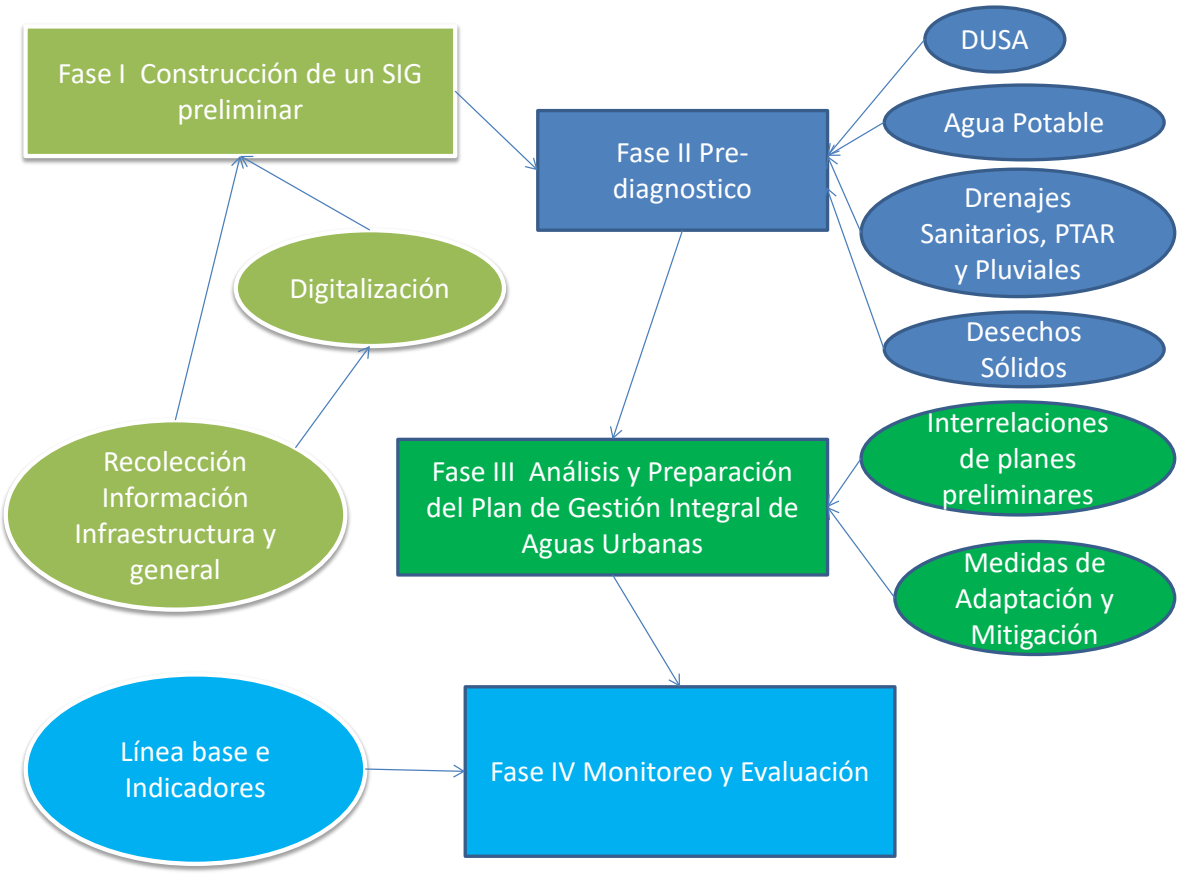


Figura No. 14 Esquema de las fases a desarrollar (Fuente: Elaboración propia).

Estas cuatro fases del esquema se describen con mayor detalle a continuación, indicando algunos aspectos específicos que se dieron en el proceso.

3.2.1 Fase I. Construcción del SIG preliminar.

Inicialmente es necesario definir el alcance y para ello es necesario establecer los criterios para los hitos y metas tanto para el producto final, como para el SIG preliminar. Luego se establecen los criterios para la selección del software, que sea adaptable a diferentes modelos hidrológicos e hidráulicos, facilidad de uso, adaptabilidad y bajo costo. Con base en la selección del software se establecen criterios para las bases de datos, de tal manera que los campos y códigos cumplan con los requerimientos de la administración, así como su facilidad para ser aplicados en los modelos que se pretendan correr a futuro. Por ejemplo, en algunos modelos requieren que las estaciones de bombeo se representen como puntos, pero otros requieren algunos detalles adicionales.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Una vez seleccionado el software es necesario analizar la información disponible. Mucha de la información de infraestructura (redes, plantas de tratamiento de agua potable y aguas residuales, presas, tomas de agua, pozos, colectores, tragantes, etc.), se encuentra generalmente en planos físicos, por lo que debe ser seleccionada, digitalizada y posteriormente georreferenciada, para transferirla al SIG. En muchos casos los elementos a considerar en el SIG están solo referidos a su dirección física, como la intersección de una calle con una avenida, pero es necesario ubicarlos con sus coordenadas georreferenciadas, para poder ubicarlo correctamente tomar las coordenadas en el sitio será necesario.

Adicionalmente es necesario recopilar alguna otra información que se debe incorporar al SIG, que es necesaria para poder generar mejores mapas, como son las curvas de nivel cartográficas, mapas de calles, límites municipales, divisiones de zonas internas, parques, zonas protegidas, información hidro-meteorológica, la red hidrográfica, puentes, tipos de suelo, vías de acceso, ortofotos, etc.

Iniciada la recopilación, es necesario complementar las bases de datos con todos los detalles requeridos de acuerdo a las bases de datos que se establezcan en coordinación con los potenciales usuarios. Cuando ya se dispone de un sistema de información geográfica preliminar, se debe estar consciente que la implementación del SIG requerirá un proceso continuo y de largo plazo, más allá del alcance de esta investigación y de incorporar más información. Esto requerirá tener un plan continuo de actualización y corroboración de datos que debe incluir: i) la verificación en campo de los datos del SIG; ii) la selección de modelos hidrológicos, hidráulicos, de redes y aguas subterráneas iii) La modelación de la situación actual y construcción de la línea base.

3.2.2 FASE II Prediagnóstico

El prediagnóstico se inicia a través de talleres con personal de EMPAGUA, donde con los directores y gerentes de los diferentes departamentos se definió la situación actual del servicio de agua potable, en este ejercicio, realizado por la dirección de planificación municipal (EMPAGUA, 2018), permitió analizar causas y efectos, lo que facilitó la construcción del árbol de problemas presentado en la Figura No. 13.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

En los talleres, se determinó que había una falta de información real de la situación de las redes de agua potable, saneamiento y pluviales. Paralelamente, ya se había iniciado la construcción del SIG preliminar mencionado en la Fase I, pero que aún estaba en proceso de digitación en su mayoría. El árbol de problemas de agua y saneamiento, ayudó a establecer la situación y fijar algunas estrategias a futuro para alcanzar un abastecimiento y saneamiento aceptable, idealmente lograr una situación óptima.

Una vez el SIG preliminar, alcanzó sus metas, se tenía la información complementaria requerida para continuar con el prediagnóstico. El SIG mostró la situación y ubicación de las redes de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial, así como las condiciones de la contaminación por las descargas. También se realizó un análisis del manejo de residuos y desechos sólidos, para poder determinar su efecto sobre el tema de recursos hídricos y saneamiento en general.

Por cómo estaba organizada la mayoría de la información, fue necesario hacer los prediagnósticos por separado, aunque no se perdió de vista su futura integración. Para apoyar en esta integración de los prediagnósticos y validar los resultados de los mismos, se utilizó la encuesta DUSA. Esta encuesta fue desarrollada por varios miembros del Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la Universidad de la Coruña y está basada en el análisis de varios indicadores de los distintos sistemas de agua urbana (Suárez Lopez y otros, 2012). La encuesta fue cubierta por personal clave de EMPAGUA, la Municipalidad y algunas personas externas con conocimiento del problema global.

3.2.3 FASE III. Análisis y preparación Plan Gestión Integral Aguas Urbanas.

Con los resultados de la encuesta DUSA y los prediagnósticos se hace una modelación con diferentes escenarios para resolver los problemas. El análisis inicia encontrando las limitaciones, deficiencias, puntos críticos y oportunidades de mejora tanto en agua potable como en drenajes sanitarios y pluviales, así como los desechos sólidos. Para el desarrollo del análisis se toman en cuenta los conceptos de GIAU y DUSA.

Los objetivos del plan deberán ser desarrollados para mejorar las deficiencias más significativas, priorizando las acciones que logren alcanzar los objetivos en forma más

USC DE COMPOSTELA

eficiente. Las soluciones no son únicas especialmente si se hace un análisis integral, pues una limitación en la disponibilidad de agua se puede suplir con un manejo adecuado de aguas pluviales y residuales, así con una reducción en la demanda o en las pérdidas del sistema. La recarga de acuíferos puede ser una solución a largo plazo, pero requiere que se incorporen las técnicas adecuadas.

Se definirán distintas medidas de adaptación aplicables a diferentes zonas, dichas medidas abarcarán temas de infiltración, retardo, recolección, tratamiento de agua potable y aguas residuales, sistemas de bombeo, energía eficiente, soluciones basadas en la naturaleza (SBN) y otros mecanismos para la sostenibilidad. Dentro de las medidas se considerarán reglamentos, tarifas, procedimientos y protocolos.

Una vez definido un "menú" de medidas de adaptación, estas se aplicarán en diferentes puntos dentro del municipio, permitiendo priorizar las mismas, de acuerdo con los beneficios que produzcan al sistema como un todo. Es importante resaltar que la falta de una legislación de agua a nivel nacional, hace muy complicado los temas económicos, como el cobro de cánones de aprovechamiento o de vertidos. Pensar en una economía circular de los temas de agua es difícil y complicado si no existen tasas y tarifas de extracción y uso del recurso. Por ejemplo, vender agua residual tratada para la industria, no es una opción si el costo del agua de otras opciones es inexistente. Ante la limitante legal, la misma debe ser sustituida con regulaciones locales, que, aunque no puedan resolver todos los vacíos, permitirán al menos tener mejores controles y monitoreos de la situación.

El conocimiento de los conceptos de GIAU y DUSA debe generalizarse entre los profesionales y técnicos del agua, por lo que capacitaciones e los temas son necesarias para conformar el plan y lograr los objetivos del mismo.

Finalmente, se prepara el Plan de Gestión Integral de Aguas Urbanas, que incluya las medidas priorizadas más eficientes, costeándolo y programándolo en el tiempo; así como, proponiendo medidas para su financiamiento y cómo hacerlo sostenible a largo plazo.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

3.2.4 FASE IV. Monitoreo y evaluación

En esta última fase, una vez definido el GIAU, se establecerá un plan de monitoreo, para ello se sugerirán indicadores específicos para medir no solo los avances de las acciones directas del plan. pero incluyendo los avances para lograr la GIAU y otros aspectos de DUSA, para que puedan ser ajustados a futuro, También, se identificarán herramientas, que se podrán incorporar al SIG para mejorar la gestión futura del plan.

El monitoreo y evaluación es un elemento, que generalmente se descuida, básico no solo para la mejora continua de los planes de gestión, sino para determinar si el proceso se encuentra en buen camino y está alcanzando los objetivos.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

4 FASE I: CONSTRUCCIÓN DE UN SIG PRELIMINAR

El Sistema de información Geográfica es una herramienta muy importante para organizar y analizar la información requerida para alcanzar la seguridad hídrica. **Si se considera que la seguridad hídrica se apoya en tres pilares como son la infraestructura, la información y la institucionalidad,** es claro que, al tener un inventario de la infraestructura existente con su ubicación espacial, así como de la oferta y la demanda, el SIG es la herramienta a utilizar, que permitirá una planificación más integral del recurso hídrico. Esta relación la podemos ver en más detalle en la Figura No. 15 Apoyo a la Seguridad Hídrica.

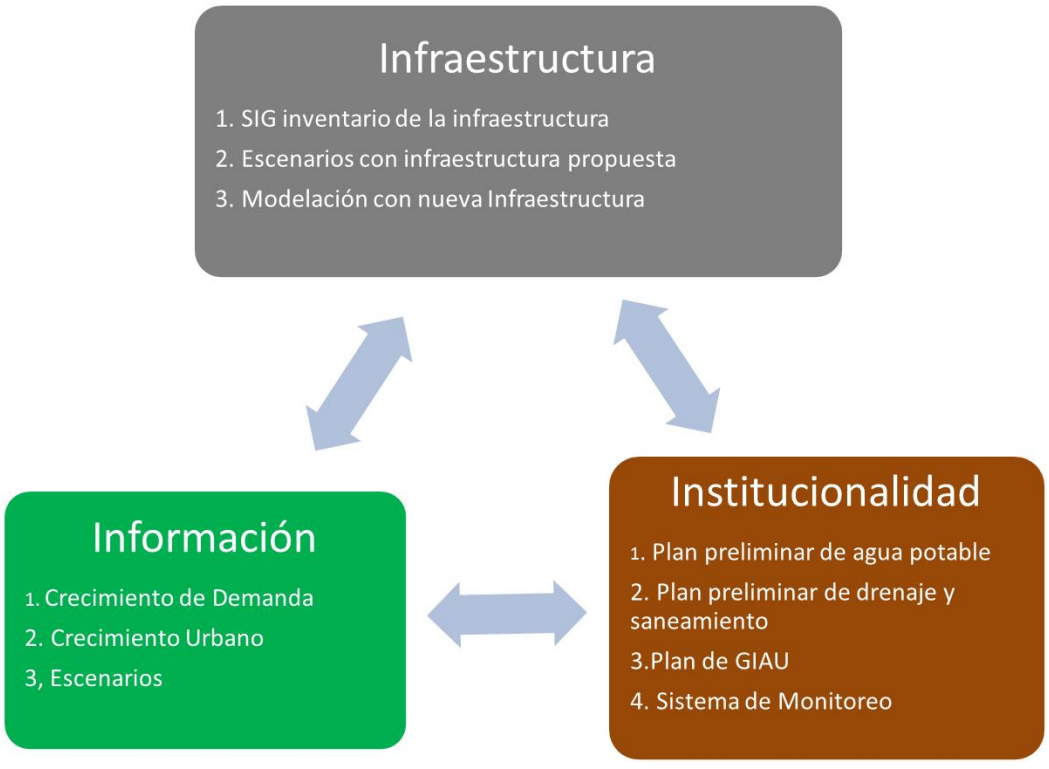


Figura No. 15 Apoyo a la Seguridad Hídrica (Fuente: Elaboración propia).

Sin embargo, el desarrollo de un sistema de información geográfico es un proceso a largo plazo y que se esquematizó previamente en la Figura No. 5. Este proceso requiere hacer

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

un SIG preliminar el que debe ser continuamente actualizado y mejorar su precisión y calidad, por lo que es un proceso que deberá continuar desarrollándose en los próximos años. Los pasos de la Figura No. 15 se desarrollan con más detalle en los siguientes incisos.

4.1 ALCANCE DEL SIG PRELIMINAR Y FUTURO

Lo primero es definir el alcance del SIG, como se mencionó anteriormente, se debe pensar a futuro y colocar objetivos ambiciosos para el resultado final. Una vez definido ese alcance a largo plazo, se deben poner hitos o metas a corto y mediano plazo.

A largo plazo, el SIG deberá incluir toda la infraestructura de agua potable, saneamiento y drenajes pluviales, con un detalle suficiente que permita modelar y simular la operación de los sistemas en diferentes condiciones y escenarios. Esto no solo con el objeto de mejorar la operación de la infraestructura existente, sino poder diseñar nueva infraestructura y modelar los efectos de esta y así priorizar y seleccionar las mejores alternativas. Adicionalmente, se debe tomar el efecto del cambio climático sobre la infraestructura, incluyendo los efectos de la impermeabilización o las medidas de adaptación y de mitigación a implementar en el comportamiento del acuífero, las descargas superficiales conforme se desarrolle la ciudad y haya cambios en la oferta y la demanda en cada zona de la ciudad. El tiempo requerido para llegar a este punto, variará de acuerdo con la extensión de las redes, el número de habitantes y la complejidad de los sistemas. En el caso de la Ciudad de Guatemala, donde hay fuentes de agua superficial y subterránea, algunas de las fuentes a varios kilómetros de distancia, más de 2300 kilómetros de red de agua potable (CASAM CONSULTANTS, 2003).

El SIG se puede ir construyendo paso a paso. En el caso del SIG de EMPAGUA se decidió iniciar con las redes principales de agua potable y drenajes en un plano en planta, complementándolo con las plantas de tratamiento y los acueductos principales. En el caso de los Acueductos como, Teocinte, Hincapié o Xaya-Pixcayá, este último a más de 50 km de la ciudad, es necesario incorporar información de las zonas, las subcuencas de áreas fuera del municipio de Guatemala. También se decidió incorporar los tanques de almacenamiento de agua y los pozos mecánicos. Este SIG preliminar permite mostrar las ventajas de tener la información en un formato accesible y georreferenciado que facilita

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

la toma de decisiones a las autoridades de alto nivel. Al mostrar las ventajas facilitara seguir con las siguientes etapas de desarrollo.

4.2 SELECCIÓN DE SOFTWARE Y EQUIPO

Existen varias opciones de software de SIG y los criterios para seleccionarlo deben basarse principalmente en lo siguiente:

Presupuesto: la disponibilidad de recursos financieros es la primero a considerar. Algunos sistemas de SIG, aunque son muy eficientes, el costo de las licencias es excesivamente oneroso de igual manera las actualizaciones. Esto es especialmente complicado, si se considera que usualmente las oficinas o empresas encargadas del manejo de agua en los municipios del país, son en general deficitarias y con recursos financieros limitados. Por otro lado, si los tomadores de decisión aún deben ser convencidos de las bondades de un SIG, iniciar con un alto costo con la compra de una licencia, probablemente desmotivará la implementación del mismo. Afortunadamente, existen varias opciones de SIG de libre acceso; es decir, que no requieren comprar licencia y que además son versátiles y de buena calidad, aunque el soporte algunas veces no es tan eficiente.

Continuidad: muchas iniciativas de plataformas de SIG aparecen y desaparecen en el tiempo; por lo que es importante analizar, cuáles de ellas tienen la actualización continua y adecuada.

Versatilidad: otro aspecto importante a considerar es que la plataforma de SIG maneje diferentes formatos y sea compatible con otros sistemas (por si en el futuro fuese necesario migrar a otro sistema). Además, debe tener la capacidad de trabajar modelos comúnmente usados en hidrología, hidráulica, redes y sistemas de tubería, calidad de agua, etc.

Facilidad de uso y capacitación: al comprar una licencia, es importante asegurarse que esta incluya un proceso de capacitación y soporte continuo. En el caso de las plataformas de libre acceso, usualmente no proveen este servicio y los usuarios deben aprender de forma autodidacta por medio de los manuales, o contratar a un capacitador.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Personal: la selección del personal para el manejo del SIG también es clave, por lo que debe considerarse, no solo la capacitación al personal en el manejo del software, sino en otros aspectos como el aseguramiento de la información y su calidad. Por ello, es necesario considerar cuál será el costo de mantenimiento del sistema y además del costo de la inversión.

Equipo de computación: se debe tomar en consideración el equipo con que cuentan las instituciones e inicialmente tratar de utilizar alguno de ellos; y que el software elegido funcione bajo un sistema operativo que el personal conozca. Es importante indicar que, si bien mucho del software existente para SIG puede ser instalado en casi cualquier computadora, la generación de mapas y la información que se genera, usualmente necesita un espacio considerable de almacenamiento, por lo que el "hardware" debe incluir esa alta capacidad de almacenamiento. En equipos modernos esto probablemente no es un problema, pero en equipos antiguos, si puede ser una limitante. El software usualmente indica cuales son los mínimos requerimiento y se recomienda que no se tenga menos de 512 GB de almacenamiento y una memoria interna no menor de 4GB para que cualquier plataforma funcione adecuadamente.

Para el caso del SIG de EMPAGUA se realizó el análisis anterior. Las autoridades inicialmente no estaban convencidas del SIG como una herramienta útil para la empresa. Esto debido a una experiencia previa, donde se compró una licencia de alto costo y que nunca funcionó, por falta de una propuesta clara de lo que se quería desarrollar, así como que no se asignó personal, ni se capacitó. Esta experiencia limitaba seriamente los recursos financieros disponibles. Se conversó con diferentes departamentos y finalmente la Dirección de Planificación fue la más interesada, además de que eran ellos los que manejaban el archivo físico de planos y documentos de EMPAGUA. En varias reuniones, se definió que el software más conveniente debería ser uno de libre acceso seleccionando entre varias opciones el Quantum GIS, más conocido como QGIS[5], basados en los siguiente: i) era de licencia abierta y se tenía libre acceso por lo que no era necesario hacer un proceso administrativo de adquisición que llevaría más tiempo; ii) QGIS funciona sin

[5] https://qgis.org/es/site/

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

problemas bajo el sistema operativo Windows, el más conocido en esa dirección; iii) existía una computadora que cumplía con los requisitos mínimos dentro de la dirección; iv) el QGIS tenía capacidad para correr varios modelos hidrológicos como Hydrobid[6] y QSWAT[7], la versión del modelo SWAT en QGIS, otros relacionados con redes de drenaje como "Storm Water Management Model" (SWMM)[8] de la agencia ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), EPANET[9] de la misma agencia para redes de tubería a presión y también alguna versión de Modflow[10] para simular comportamiento del agua subterránea.

Así que partiendo de este análisis se seleccionó QGIS como el software para iniciar a construir el SIG de EMPAGUA. Se preparó un proyecto para presentar a la dirección y a la gerencia de EMPAGUA para iniciar el desarrollo del SIG, en su primera fase indicaba que se haría el inventario de infraestructura recabando la información del archivo y de otras direcciones. La segunda fase es establecer una unidad con personal y espacio físico, comprar equipo e iniciar el proceso de validación, la cual requería un presupuesto formal y continuo.

4.3 INVENTARIO DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Hacer el inventario de la infraestructura de caminos, escuelas u otro tipo de instalaciones es menos complicado, que un inventario de las redes de agua y drenaje porque la mayor parte de la infraestructura está enterrada. Es cierto, que el inventario incluye también equipos de bombeo, filtros, válvulas y otros elementos importantes en la operación. Si a ello sumamos la antigüedad de esta, esto hace que el levantamiento sea complejo, porque

[6] https://github.com/EL-BID/Hydro-BID

[7] https://swat.tamu.edu/software/qswat/

[8] https://plugins.qgis.org/plugins/generate_swmm_inp/

[9] https://plugins.qgis.org/plugins/tags/epanet/

[10] https://plugins.qgis.org/plugins/tags/modflow/

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

es un proceso costoso pues requiere levantar el asfalto de las vías o las aceras, para poder inspeccionarla y contabilizarla, y luego reparar las mismas, con los inconvenientes adicionales que genera a los vecinos.

Es necesario acudir a métodos indirectos. Una forma es revisar los planos originales, hacer preguntas a los operarios y hacer suposiciones generales con base en la infraestructura visible como tanques, plantas de tratamiento, pozos y otros elementos visibles y fáciles de ubicar. Estos elementos se deben geoposicionar con la ayuda de aparatos manuales de Global Positioning System (GPS), y luego, ajustarlos por medio de fotografía aérea.

En el caso de EMPAGUA se inició recolectando información de diferentes fuentes:

- Para las redes principales de agua potable, se localizó un antiguo CAD, a pesar de estar en formato digital no estaba debidamente georreferenciado.
- Otras redes de agua potable y drenaje solo se encontraban en planos impresos, en algunas ocasiones existían hasta tres versiones del mismo proyecto y no se sabía exactamente cuál era la versión que realmente se había construido en campo. Fue necesario recurrir al personal de EMPAGUA que en algún momento había participado en el proceso de construcción o en alguna reparación posterior. Una vez definida la red a digitar se usaron dos procesos diferentes: i) se rehicieron los planos digitalmente a CAD, aunque esto requirió tiempo y personal que no siempre estaba disponible y ii) se tomaron fotografías del plano, luego la imagen se colocó sobre una ortofoto para ubicarlos en base a puntos conocidos y luego se digitaba directamente en el SIG, si bien esto aceleró el proceso de ver las redes en planta, implicó un trabajo adicional para complementar las bases de datos con la información específica como diámetros y material de la tubería.
- En el caso de las plantas de tratamiento, tanto de agua potable (PTAP) como de aguas residuales (PTAR) se visitaron y se geoposicionaron, cuando las dimensiones de la planta lo permitían se ubicaban basada en la ortofoto.
- Los pozos mecánicos de extracción de agua se ubicaron basados en un plano preliminar. Estos fueron verificados y ubicados con geoposicionamiento y fueron verificados por al menos dos campañas diferentes para encontrar la ubicación

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

exacta. En algunos casos, se complementó la información con las características de perforación de los pozos, con base en manuales encontrados.

- Para los acueductos principales se utilizaron los planos originales y luego fueron ajustados con algunos puntos de referencia.
- Las descargas sanitarias, pluviales o combinadas, se ubicaron inicialmente con un plano CAD existente, que sirvió como base para una campaña de caracterización de descargas que generó una capa nueva con la ubicación precisa de las descargas, su características, estado físico y datos de caudal y calidad de aguas.

4.4 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN ADICIONAL

Paralelamente es necesario recabar información de otras fuentes. Por ejemplo, es necesario tener información cartográfica, los mapas con calles y avenidas, si existen ortofotos, mapas de tipo de suelos, topografía, uso del suelo, distribución administrativa (zonas, colonias), población actual y proyecciones a futuro, para determinar demanda y generación de aguas residuales.

Los datos hidrometeorológicos, así como toda aquella otra información que permita planificar futuros proyectos. Alguna de esta información es posible conseguirla digitalizada y si no es necesario digitalizarla.

En el caso específico de EMPAGUA, se incorporó información del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y el Instituto Geográfico Nacional (IGN) que, en la primera década de este siglo, generaron un SIG a nivel nacional, que permitió rápidamente incorporar información topográfica con curvas de nivel cada 20 metros, ríos, cuencas y subcuencas, áreas protegidas, morfología de suelos, uso de suelos y una ortofoto de todo el país realizada en 2004 a una escala de1:20,000. Esta se complementó con una ortofoto del municipio de Guatemala con mayor detalle, pero que desafortunadamente no abarca toda el área requerida para incorporar la mayoría de las fuentes superficiales. La municipalidad proporcionó los mapas digitales de calles, limites político-administrativos, planos de catastro y uso de suelo. Se incorporó también información hidrometeorológica de las estaciones de INSIVUMEH, generando capas con la información existente que incluye isoyetas, medias, máximas y mínimas y otros parámetros meteorológicos.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

4.5 CONSTRUCCIÓN SIG PRELIMINAR.

Con la información recabada se estructuró un SIG preliminar, que se organizó almacenando la información en carpetas independientes: i) agua potable que incluye acueductos, pozos, las redes y las PTAP; ii) los drenajes que incluyen los colectores, redes de drenaje secundarias, descargas y PTAR; iii) información de estaciones hidrometeorológicas, ríos, cuencas e isolíneas de aspectos climáticos; iv) información municipal como calles, división política, etc.; v) información de población para calcular demanda; vi) hidrogeología con geología, líneas de flujo etc.; vii) Ubicación del sitio de disposición final de desechos sólidos en el municipio y estimaciones de los volúmenes de residuos y desechos que ingresan ; viii) modelos de elevación y ix) ortofotos. En el Cuadro No. 4 se presenta una lista de las capas del SIG preliminar. Aunque no todas las bases de datos están llenas completamente, la estructura de estas está definida para que puedan ser usadas en los diferentes modelos hidráulicos que se apliquen posteriormente. Un detalle del software, la estructura de las bases de datos y sus tipos se presentan en el Anexo I de SIG.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 4 Inventario de capas del SIG preliminar (Fuente: Elaboración propia).

1	AGUA POTABLE
1.1	ACUEDUCTOS
1.2	REDES PPRINCIPALES
1.3	POZOS (ACTUALIZADO CON NUEVOS NIVELES Y OPERACIÓN ACTUAL)
1.4	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
1.5	TANQUES (PRINCIPALES)
1.6	REDES SECUNDARIAS (INCOMPLETAS)
1.7	POZOS PRIVADOS (EN PROCESO DE REVISION)
2	DRENAJES
2.1	COLECTORES PROFUNDOS (COMPLETOS EN PLANTA ACTUALIZANDO POZOS DE VISITA Y COTAS DE PROFUNDIDADES)
2.2	AREAS TRIBUTARIAS DE LOS COLECTORES PROFUNDOS
2.3	REDES SECUNDARIAS EN PLANTA (FALTAN CUATRO ZONAS QUE NO SE HAN CONSEGUIDO PLANOS)
2.4	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE EMPAGUA (UBICADAS Y DOCUMENTADAS)
2.5	PLANTAS DE AGUAS RESIDUALES PRIVADAS (UN LISTADO DE MAS DE 200 UBICADAS, PERO EN PROCESO DE VERIFICACION)
2.6	CARATERIZACION DE DESCARGAS; ESTADO; CAUDAL Y CALIDAD DE AGUA
2.7	PROCESO LEVANTAMIENTO POZOS Y DRENAJES (VALIDAR INFORMACION USANDO UNA APP GIS DIGITANDO EN CAMPO)
3	HIDROMETEOROLOGIA
3.1	CUENCAS URBANAS DELIMITADAS
3.2	RIOS
3.3	LAGOS
3.4	ESTACIONES METEOROLOGICAS UBICADAS
3.5	ESTACIONES HIDROLOGICAS UBICADAS
3.6	ISOYETAS MEDIAS, MAXIMAS Y MINIMAS MENSUALES
3.7	ISOLINEAS DE TEMPERATURA MEDIA, HUMEDAD RELATIVA Y EVAPOTRANSPIRACION
4	INFORMACION MUNICIPAL
4.1	LIMITES MUNICIPALES
4.2	CURVAS DE NIVEL
4.3	ORTOFOTOS
4.4	CALLES Y AVENIDAS
4.5	FUTURAS VIAS
4.6	PLANTAS DE TRATAMIENTO PROPUESTAS
4.7	EMBALSES PROPUESTOS
4.8	AREA METROPOLITANA
5	POBLACION
5.1	MAPA USO CATASTRAL
5.2	MAPA AREA CONSTRUIDA CATASTRAL
5.3	POBLACION ESTIMADA POR ZONA 2017, 2030
6	HIDROGEOLOGIA
6.1	MAPA GEOLOGICO
6.2	MAPA DE SUELOS ACTUALIZADOS ESCALA 1:50000
6.3	ZONAS DE RECARGA POR VARIOS METODOS
6.4	LIMITES DE ACUIFEROS
6.5	DIRECCION DE FLUJOS
6.6	NIVELES PIEZOMETRICOS EN PROCESO DE ACTUALIZACION
7	DESECHOS SOLIDOS
7.1	AREA VERTEDERO
7.2	AMPLIACION VERTEDERO
7.3	PROYECTOS AMPLIACION
7.4	CUENCAS AFECTADAS
8	ORTOFOTOS
8.1	ORTOFOTOS DE MAGA
8.2	ORTOFOTOS MUNNICIPALIDAD
9	MODELOS DE ELEVACION
9.1	DEM 5 M y DEM 50 M

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

A continuación, se presenta la pantalla base del SIG Figura No. 16, donde en la columna izquierda se puede observar cómo están organizadas las diferentes capas.

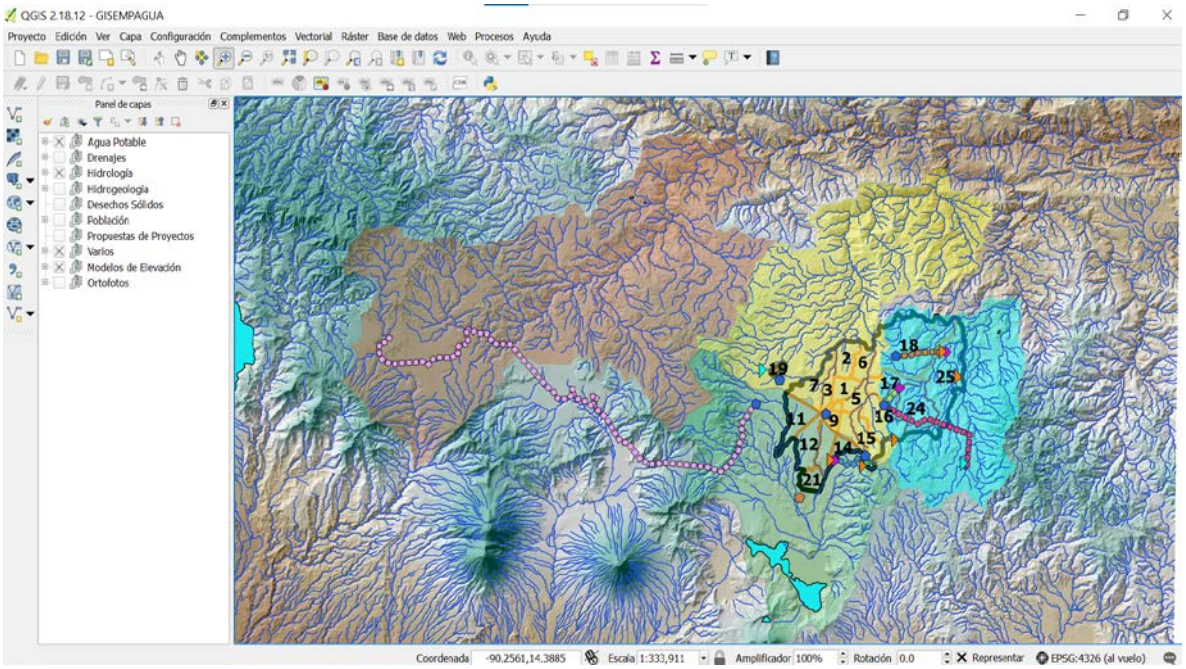


Figura No. 16 Imagen de la pantalla de inicio del SIG (Fuente: Elaboración propia).

En la pantalla específica de la Figura 16 se muestran los acueductos principales, las subcuencas superficiales del área metropolitana y las subcuencas de Xayá-Pixcayá que están relacionadas con los sistemas de agua potable, así como la ubicación de los principales acueductos y plantas de tratamiento de agua potable.

Las capas, para que sea más fácil su utilización, se agrupan en el sistema organizándolas en i) Agua Potable; ii) Drenajes; iii) Hidrología; iv) Hidrogeología; v) Desecho sólidos; vi) Población; vii) Propuestas de proyectos; viii) Varios; ix) Modelos de elevación digital y x) Ortofotos. Cada uno de estos grupos se subdivide en subgrupos con información relacionada. En cada grupo se incluye la infraestructura pertinente y algunos otros datos relevantes que pueden estar relacionados con la operación.

Por ejemplo, **Agua Potable** se subdivide en: a) **Fuentes Superficiales y Plantas de Tratamiento,** b) **Acueductos**, c) **Redes,** d) **Pozos,** e) **Áreas Hidráulicas** y f) **Agua Pluvial**. Así en el grupo de **Fuentes Superficiales y Plantas de Tratamiento** se subdivide a su vez en las presas derivadoras y las plantas de tratamiento, mientras que en **Acueductos** se indican los principales acueductos, en **Redes** se identifican las diferentes

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

redes que abastecen a la ciudad, así mismo con **Pozos**, luego las áreas hidráulicas (áreas para la operación que permiten aislarse individualmente por medio de válvulas) así como sus horarios de operación y finalmente los proyectos de cosecha de agua de lluvia. La Figura No.17 muestra cómo se subdividen a detalle cada uno de los subgrupos.

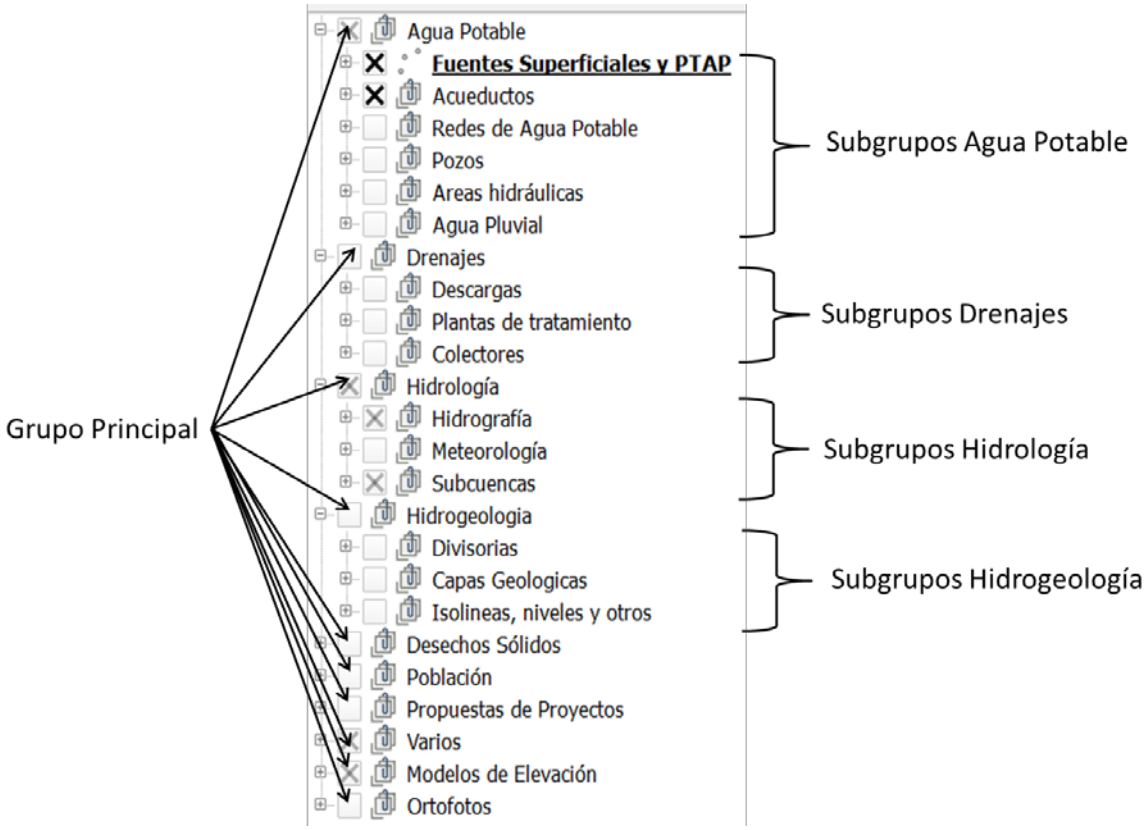


Figura No. 17 Subdivisión de los subgrupos dentro de los grupos principales (Fuente: Elaboración propia).

El objetivo de agruparlos es que este ordenamiento permite apagar y encender diferentes temas de forma rápida y poder generar diversos mapas desde una misma pantalla. Algunos de los mapas específicos se presentarán a mayor detalle en el prediagnóstico.

4.6 EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN A FUTURO.

El sistema de información geográfica, como se mencionó, es un proceso permanente y continuo, su utilidad reside en estar actualizado y ser preciso. Esta parte del proceso es a largo plazo, más allá del alcance de este trabajo. El primer paso para que el proceso se pueda mantener es institucionalizarlo; es decir, que se cree la infraestructura necesaria y presupuesto dentro de la institución para que opere. En este sentido el SIG preliminar logró su objetivo, ya que actualmente ya se constituyó una unidad de SIG en EMPAGUA.

USC DE COMPOSTELA

Esta unidad ya cuenta con presupuesto y adquirieron software y hardware para SIG. El proceso de operación y mantenimiento requiere incorporar más información, corroborarla y refinarla siguiendo principalmente tres pasos: i) verificación en campo de los datos; ii) selecciones de modelos hidrológicos, de redes y de aguas subterráneas y iii) modelación de la situación actual y futura, así como ajustes a la línea base.

La verificación de la información que alimenta el SIG requiere visitas de campo para corroborarla, incluyendo datos de las bases de datos y ubicación. También se complementará con los reportes de reparaciones para verificar diámetros, tipo de tubería, profundidad y otros elementos. La nueva unidad ya desarrolló varias aplicaciones que están utilizando para que, en las visitas de campo, desde el celular ingresen los datos en un formulario específico y se carguen automáticamente al sistema. Se han geoposicionado más de 20,000 puntos que incluyen pozos, tragantes y tuberías. Actualmente solo se está haciendo con el sistema de drenajes y las plantas de tratamiento de aguas residuales, pero se tiene contemplado hacer una aplicación para la red de agua potable, así cada vez que se repare una fuga o se haga una reparación se recolectará la información respectiva.

La modelación requiere que las bases de datos tengan suficiente detalle para poder modelar inicialmente tramos del sistema y luego todo su conjunto. Como se mencionó, existe una gran cantidad de software aplicable a los aspectos hidráulicos del manejo de las redes, que deberán ajustarse. El uso de modelos se realizará haciendo pequeños proyectos piloto, para probar no solo la eficiencia de los programas a utilizar, sino analizar, si es necesario incorporar otros aspectos a las bases de datos. Aún no se ha completado un sector específico ni seleccionado cuál será el proyecto piloto. Para modelos hidrológicos se están iniciando pruebas con Hydrobid. Una vez se hayan terminado las pruebas piloto y se tengan sistemas completos en el sistema, se procederá a calibrar los modelos. Una vez calibrados se podrá modelar la operación y hacer ajustes necesarios a la operación; además, será posible analizar el efecto de nuevas conexiones, nuevos colectores, o cambios en la infraestructura o los efectos de cierres de diferentes válvulas y compuertas, operación de bombeo y más. Esta modelación dinámica permitirá actualizar rápidamente la situación y detectar y subsanar problemas. La línea base podrá ajustarse para que refleje la operación día a día de EMPAGUA.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

5 FASE II: PRE-DIAGNÓSTICO

Para determinar la situación existente se construyó un árbol de problema basado en una serie de talleres que fueron realizados con personal de EMPAGUA (6 directores y dos gerentes), la Unidad de Planificación Municipal, donde participe en el desarrollo de la actividad e integrando los informes finales bajo la supervisión del gerente técnico de EMPAGUA (Ing. Hugo Vázquez) y la directora de Planificación (Licda. Flor Zeissig). Los 5 talleres realizados permitieron identificar cuáles eran las causas fundamentales de los problemas (EMPAGUA, 2018) que para el caso específico de la ciudad de Guatemala se presentó en la Figura No. 13 anterior.

El árbol de problemas permite en una forma resumida analizar las causas y los problemas principales. Se pueden identificar rápidamente cuatro puntos principales i) la falta del marco regulatorio; ii) la ubicación geográfica de la ciudad en la divisoria continental de aguas, es decir en la parte alta o altiplano lo que limita las fuentes de agua; iii) la gestión desordenada del agua (gobernanza) y iv) el cambio climático. Las cuatro tienen una incidencia directa en el desabastecimiento de la población pues reducen la disponibilidad. Al ver el árbol de problemas se identifican a simple vista varios temas con la deficiencia de la infraestructura. Por ejemplo, la contaminación de las fuentes de agua es por la falta de plantas de tratamiento de aguas servidas, no hay capacidad instalada para el almacenamiento y aprovechamiento (embalses, tanques y además plantas obsoletas o dañadas), la infraestructura colapsa con la situación de cambio climático. Es pues necesario profundizar en los prediagnósticos las causas y los problemas específicos, relacionándolos con la infraestructura y otras soluciones no estructurales para resolver los mismos. Para el prediagnóstico se hicieron los análisis por separado de agua potable, drenajes tanto pluviales como de saneamiento y desechos sólidos. Cada uno de los prediagnósticos describe la infraestructura existente, para luego analizar la evolución de la oferta y la demanda, así como los volúmenes y calidad del recurso hídrico y de los servicios.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

5.1 PREDIAGNÓSTICO AGUA POTABLE

Inicialmente se hace una descripción de la infraestructura de agua potable, luego se analiza la institucionalidad, así como aspectos operativos y legales, se hace un análisis de la oferta y la demanda, seguido de otras limitaciones del suministro, resumiendo los resultados en un inciso final,

5.1.1 Descripción detallada de la infraestructura

Para describir la infraestructura se inicia primero con la descripción de las fuentes y acueductos de agua superficial por orden de importancia relacionándolo a cada uno de los sistemas. También se analizan las fuentes subterráneas existentes. Luego se procede a describir cada uno de los sistemas de distribución con sus plantas de tratamiento de agua potable y su operación.

Acueducto Xayá-Pixcayá: La principal fuente agua superficial es la proveniente de los ríos Xayá y Pixcayá, a través del acueducto del mismo nombre. Este acueducto finalizado en 1979 trasvasa aguas de dos subcuencas a 57 km de la ciudad, la primera la subcuenca del Xayá (Cuenca del Río Coyolate), en la Vertiente del Pacifico y la segunda la del Pixcayá (Cuenca del Río Motagua), en la vertiente del Atlántico. Este acueducto está constituido por tubería, sifones y túneles que terminan en la Planta Lo de Coy, con una capacidad de diseño de 1.5 m^3/s, pero una producción real media anual de 0.956 m^3/s.

Acueducto Teocinte: Otro acueducto importante es el de río Teocinte, que toma agua del río del mismo nombre en el municipio de San José Pinula. Este acueducto construido en 1938 consiste en una presa de 26 metros de alto que forma un embalse, con un espejo de agua de un kilómetro de largo. La línea de conducción está conformada por dos tuberías de 15 km de largo, una de 18” instalada en 1938 y otra de 20” instalada en 1950. Las líneas terminan en la Planta Santa Luisa. Esta última recibe también agua de la presa Acatán y de un pozo perforado en la propia planta. La producción de diseño en la planta es 462 l/s; pero actualmente, por problemas de sedimentación en la presa Teocinte el volumen se ve reducido a 180 l/s y como media 225 l/s.

Acueducto El Cambray: Este acueducto data del tiempo de la colonia, era una de las fuentes principales de la ciudad original. Consta de una pequeña presa derivadora

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

(originalmente en 1773 alimentaba el acueducto colonial de Pinula), sobre el río Pinula, en jurisdicción de Santa Catarina Pinula, trasladando el caudal a la planta de tratamiento de El Cambray. Este sistema fue ampliado en 1968 con un sistema de bombeo, que toma también agua del río Pinula aguas abajo y bombea el agua de regreso, venciendo una altura de 330 metros por una línea de 14" y 4.5 kilómetros, a la planta El Cambray 165 l/s.

Acueducto La Brigada: Este sistema estaba constituido originalmente por una presa que utilizaba agua del río Panzalic y La Brigada y las conducía por cinco kilómetros, con una tubería de 20". Este sistema era una modificación del sistema original colonial. La calidad de agua de este sistema se deterioró excesivamente, debido a descargas sanitarias aguas arriba y fuera del municipio, por lo que prácticamente su producción es nula. Sin embargo, la planta de la Brigada recibe agua de la planta Lo de Coy para distribuir en la red que abastece.

Acueducto Las Ilusiones: Este acueducto se abastece con una presa derivadora y una estación de bombeo denominada Estación de Bombeo del Atlántico, que bombea el agua del río Los Ocotes y Bijagüe, por una línea de conducción de 500 mm de diámetro y 12 kilómetros de largo hasta la Planta de Tratamiento de las Ilusiones con una producción de 56 l/s.

Por razones de escala, la Figura No. 18 muestra la ubicación del Acueducto Xayá-Pixcayá con respecto al municipio, mientras que la Figura No. 19, muestra los otros acueductos de agua superficial que abastecen al municipio, hasta cada una de las plantas de tratamiento de agua potable, también se muestra la planta Lo de Coy que es donde termina el acueducto Xayá-Pixcayá. De esta forma todas las fuentes superficiales han quedado debidamente georreferenciadas.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

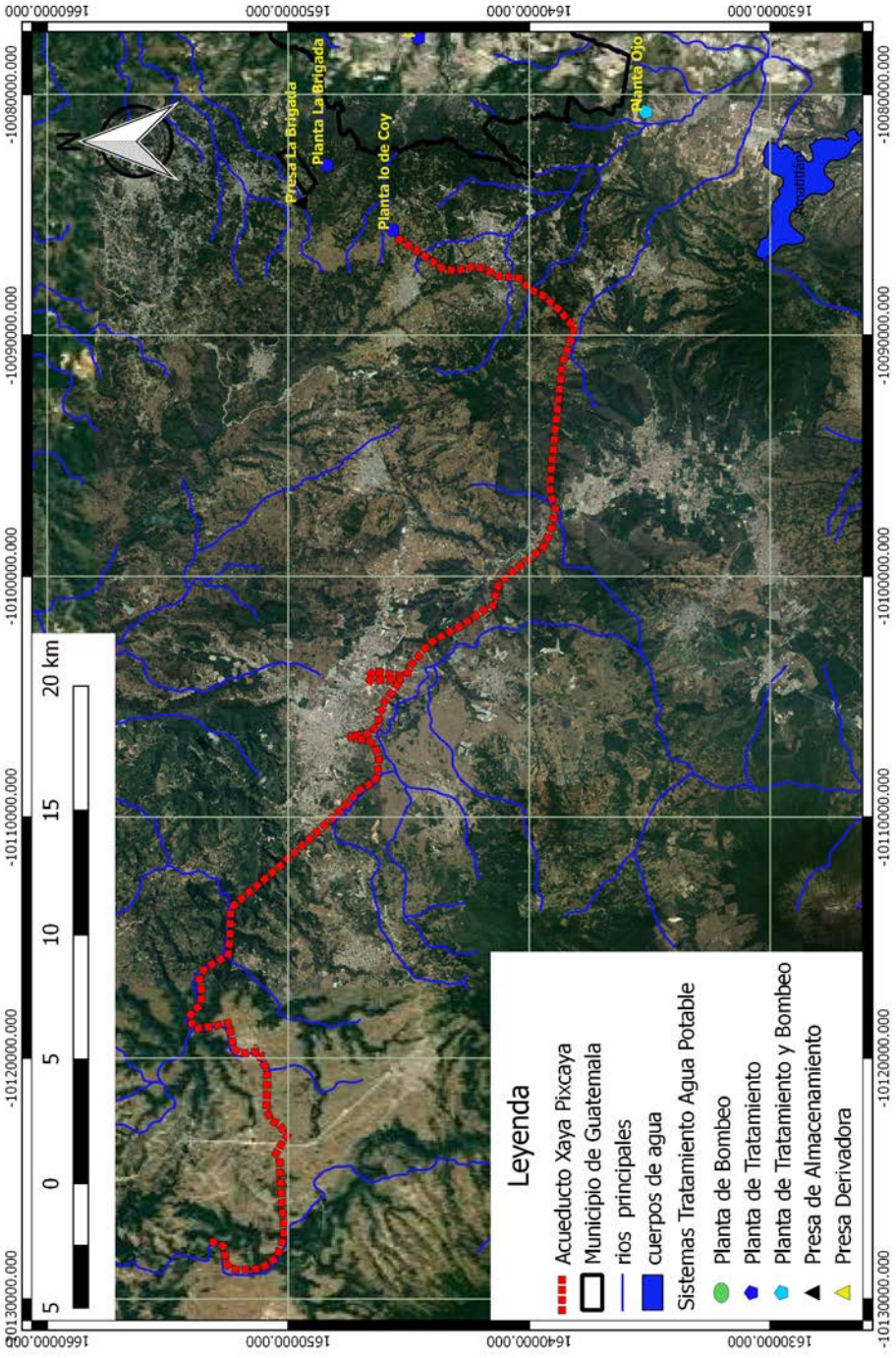


Figura No. 18 Acueducto Xaya-Pixcaya (Fuente:Elaboración propia).

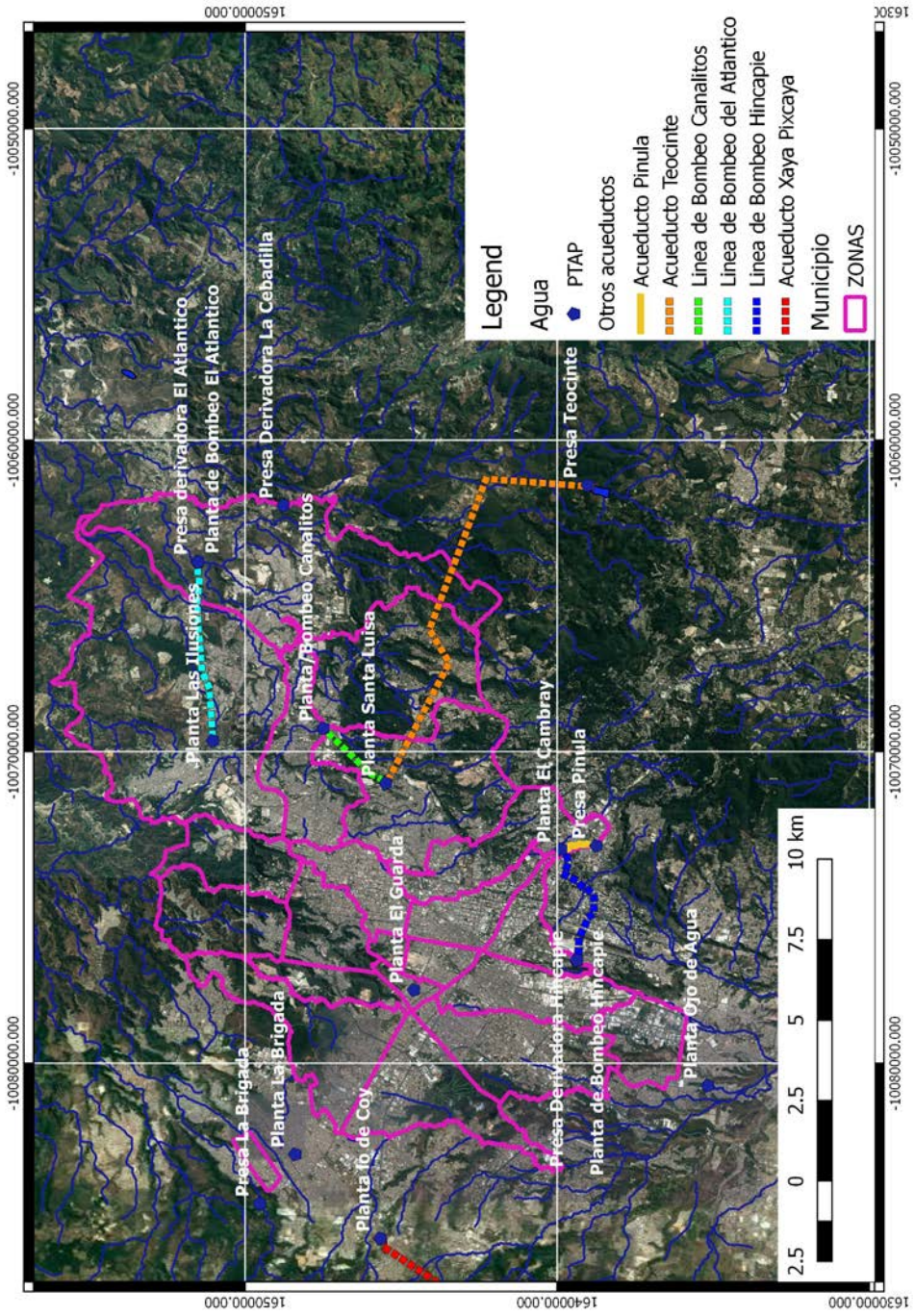


Figura No. 19 Otros Acueductos (Fuente: elaboración Propia).

Las otras fuentes son las que corresponden a aguas subterráneas, a través de sistemas de bombeo. La Figura No. 20 muestra 113 pozos de EMPAGUA distribuidos

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

por toda la ciudad. Sin embargo, no todos estos pozos están en operación, al menos 10 han tenido problemas de calidad de agua, 17 se han secado y otros 18 tienen problemas con el equipamiento; 2 fueron suspendidos por razones administrativas. **No** obstante, hay 21 pozos en proceso de mejoramiento y 45 pozos siempre están en operación (color azul). En esa misma figura se observa en el *sur*, la planta de Ojo de Agua, que, a pesar de estar fuera de los límites del municipio, es uno de los campos de pozos más productivos y además recibe el agua de otro campo de pozos denominado los Diamantes.

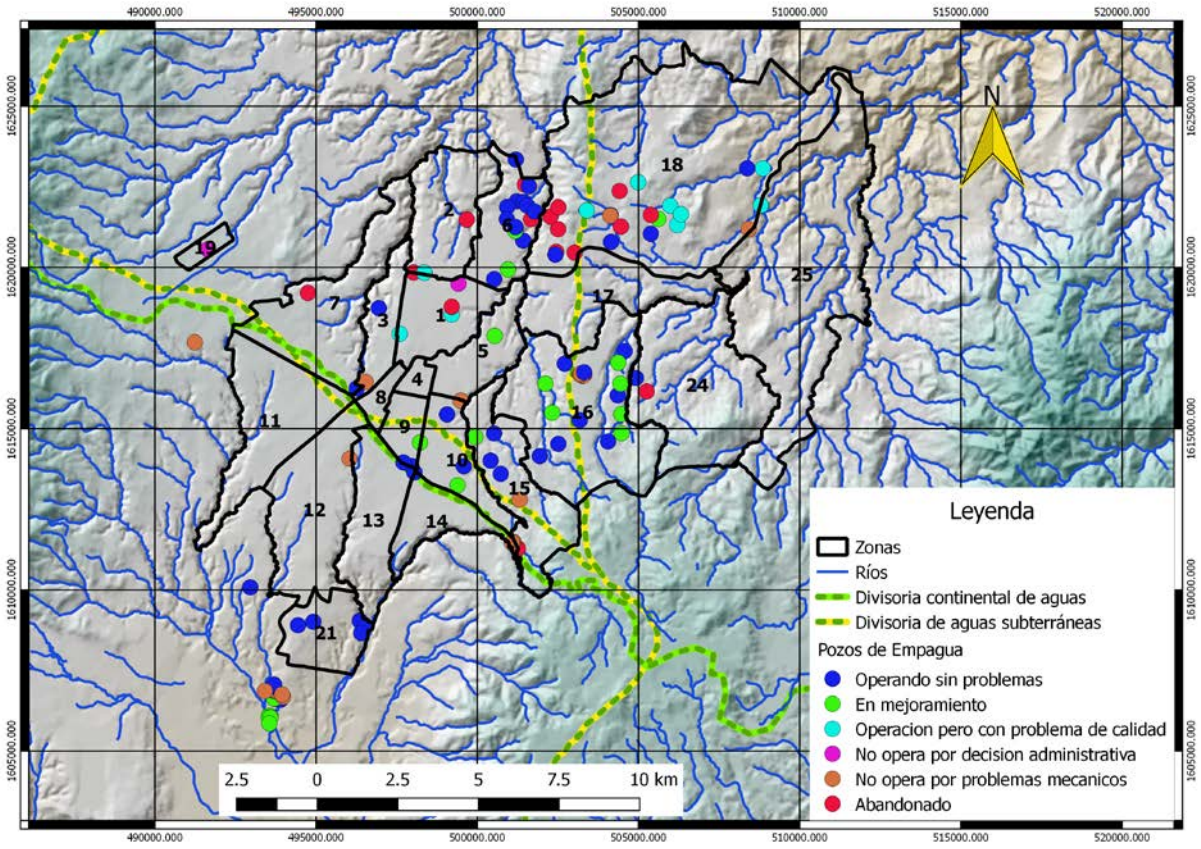


Figura No. 20 Pozos operados por EMPAGUA (Fuente: Elaboración propia).

La municipalidad para abastecer la demanda también compra “agua en bloque”. Este sistema consiste en que un empresario privado le vende volúmenes de agua a la municipalidad a un precio acordado mediante un contrato y lo introduce a la red en algún punto determinado. La idea de esta figura es que el empresario corre con la inversión y riesgo de la perforación del pozo, así como con el mantenimiento y operación del mismo. Existen varios pozos en esta modalidad; sin embargo, no se han podido mapear por restricciones en los contratos del servicio.

Los habitantes del municipio, también tiene otras formas de abastecimiento, es decir, a través del sector privado. La primera es la contratación del servicio de abastecimiento con otra empresa que no sea municipal. Existe la Empresa Aguas de Mariscal que surte a través de una red varias zonas de la capital, zona 1, zona 11, zona 12 y algunos sectores de la zona 6. Por otro lado, los condominios y edificio de apartamentos o centros comerciales construyen sus propios pozos y con esto surten del recurso, existen diferentes modalidades de servicio como la cuota fija o por volumen. En su mayoría la fuente es un pozo para extracción de agua del acuífero. Finalmente, existe la compra de agua por medio de camiones cisterna que llevan el agua a diferentes puntos y ya sea que llenen grandes depósitos o toneles individuales, con un precio equivalente a Q 53.00 por m^3 (6.5 US$/$m^3$) que es un valor equivalente a 20 veces el costo del m^3 de EMPAGUA.

Desafortunadamente, los volúmenes que representan estas ofertas de agua privadas son difíciles de cuantificar y solo se puede hacer de manera indirecta, pues ante la ausencia de una Ley de Aguas no se puede obligar a los privados a reportar dichos volúmenes. La Figura No. 21 muestra una estimación de los pozos privados (1,100 pozos), basada en las conexiones al sistema de drenaje sin conexión de agua potable de EMPAGUA.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

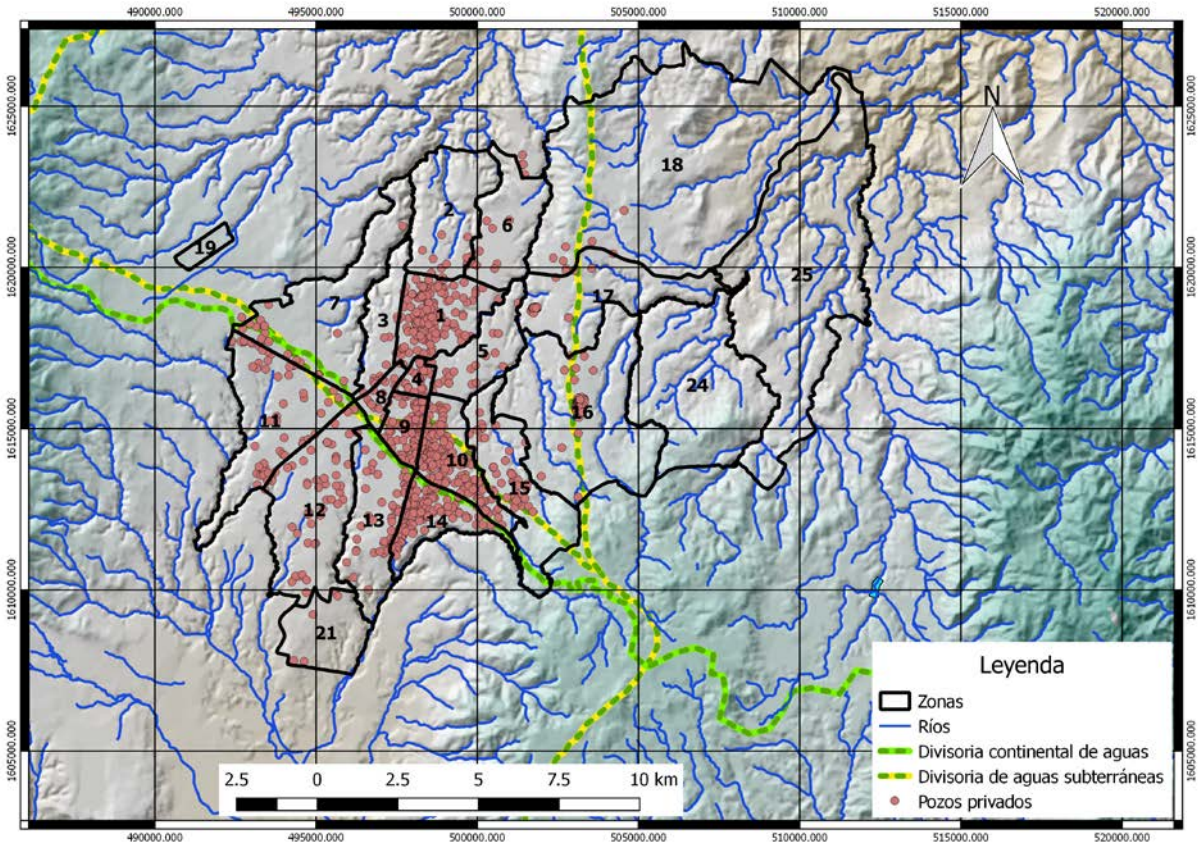


Figura No. 21 Pozos privados en base a descargas sistema de drenaje (Fuente: Elaboración propia).

Adicionalmente, es importante conocer las redes de agua potable. Existen siete sistemas principales de red de Agua Potable: i) Lo de Coy; ii) Ojo de Agua; iii) Lo de Coy-Ojo de Agua; iv) La Brigada; v) El Cambray; vi) Santa Luisa y vii) Las Ilusiones; los que se describen con mayor detalle a continuación, las longitudes y datos de tubería ya es información incluida en el SIG:

Sistema Lo de Coy: Este sistema inicia en la Planta de Tratamiento Lo de Coy que recibe los caudales del Acueducto Xayá-Pixcayá. Es el sistema más largo, aproximadamente 143 Km, con tuberías de 28 y 14" en su mayoría de hierro fundido, aunque en algunos tramos hay tubería de concreto y abastece directamente las zonas 11, 8, 7, 6, 3, 2 y 1. El problema principal de esta red, se debe a la variabilidad de los caudales de los ríos Xayá y Pixcayá, así como a la contaminación por sedimento y por tintes de fábricas de textiles en la zona de origen de los caudales. La PTAP no fue diseñada para trabajar con la eliminación de tintes ni la alta contaminación que actualmente recibe.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Sistema Ojo de Agua: Inicia en la planta de bombeo de Ojo de Agua al sur de la ciudad en el municipio de Villa Nueva. Tiene aproximadamente 49.5 km de longitud de tubería con diámetros de 18", 12", 8" y 6" en su mayoría de hierro fundido, algunos tramos de PVC y se reportan algunos tramos con asbesto cemento sujeto a confirmación. Los principales problemas son los costos de bombeo y algunos asentamientos del suelo en los tanques de almacenamiento.

Sistema Lo de Coy-Ojo de Agua: Este sistema combina agua proveniente de Lo de Coy y de Ojo de Agua, en el tanque El Guarda, ubicado en un punto alto de la zona 8. El sistema tiene una longitud de 57 km aproximadamente, con tuberías de 24, 20", 12", 10, 8 y 6" en su mayoría de hierro fundido, aunque en algunos tramos antiguos hay tubería de asbesto cemento por confirmar. La mayoría de las reparaciones se han sustituido con PVC. Este sistema surte agua a las zonas 1, 4, 5, 8, 9, 10, 13 y 14. La principal desventaja de este sistema es la falta de control de los volúmenes que corresponden a uno u otro sistema, pues son muy variables y no se lleva un registro suficientemente detallado.

Sistema La Brigada: Inicia en la planta la Brigada y aunque su fuente tuvo que ser cerrada en 2005 por la alta contaminación que presentaba, recibe agua de la planta Lo de Coy para alimentar sectores de Mixco y la zona 19. Tiene aproximadamente 10 km de longitud de tubería con diámetros de 14", 12" y 8" en su mayoría de hierro fundido y algunos tramos se sospechan con asbesto cemento.

Sistema El Cambray: Este sistema inicia en la Planta de Tratamiento del Cambray que recibe agua de un acueducto y una planta de bombeo, ambas tomas en el río Pinula. El sistema tiene una longitud aproximadamente de 24.39 Km, con tuberías de 14", 10" y 8" en su mayoría de hierro fundido, aunque en algunos tramos hay tubería de PVC. El sistema cubre el servicio en las zonas 14, 10 y 15. El principal problema de este sistema es la alta contaminación del río Pinula, principalmente por el desarrollo urbanístico sin control en las partes altas de la cuenca (fuera del control municipal), por lo que la capacidad de potabilización de la planta se ve realmente limitada.

Sistema Santa Luisa: Este sistema inicia en la Planta de Tratamiento Santa Luisa que recibe agua de una pequeña presa en el río Acatán, del acueducto del embalse en el

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

río Teocinte y una planta de bombeo en el río Canalitos. El sistema tiene una longitud de 53 km, en su mayoría de hierro fundido, aunque en algunos tramos hay tubería de PVC. Cubre las zonas 1, 5, 16, 17 y 24. El principal problema de este sistema es la sedimentación del embalse y la calidad del agua principalmente por el desarrollo urbanístico sin control en las partes altas de la cuenca (fuera del control municipal). La cantidad y calidad de agua del recurso han disminuido considerablemente. La PTAP no fue diseñada para trabajar con la alta contaminación que actualmente recibe.

Sistema Las Ilusiones: Este sistema inicia en la Planta de Tratamiento Las Ilusiones que recibe agua de una pequeña presa en el río Los Ocotes y es bombeada a la planta. Algunos pozos adicionales alimentan también la planta, pero en menor volumen. El sistema tiene una longitud de 23 km, en su mayoría de hierro fundido, aunque en algunos tramos hay tubería de PVC. Cubre las zonas 18 y 17. El principal problema de este sistema es el arrastre de sedimentos en el río Los Ocotes que hace colapsar la planta, que por su diseño original no puede ser modificada.

En la Figura No. 22 se presentan estas redes principales con colores diferentes y las PTAP. De algunas de las zonas hay detalles de las redes de agua potable secundarias, pero aún está en proceso de levantamiento de las mismas, por lo que no se incorporan en el SIG preliminar. La mayoría de redes suministran agua a nivel predial, pero en el caso de asentamientos irregulares por invasiones el suministro es usualmente con un solo medidor para todo el asentamiento.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

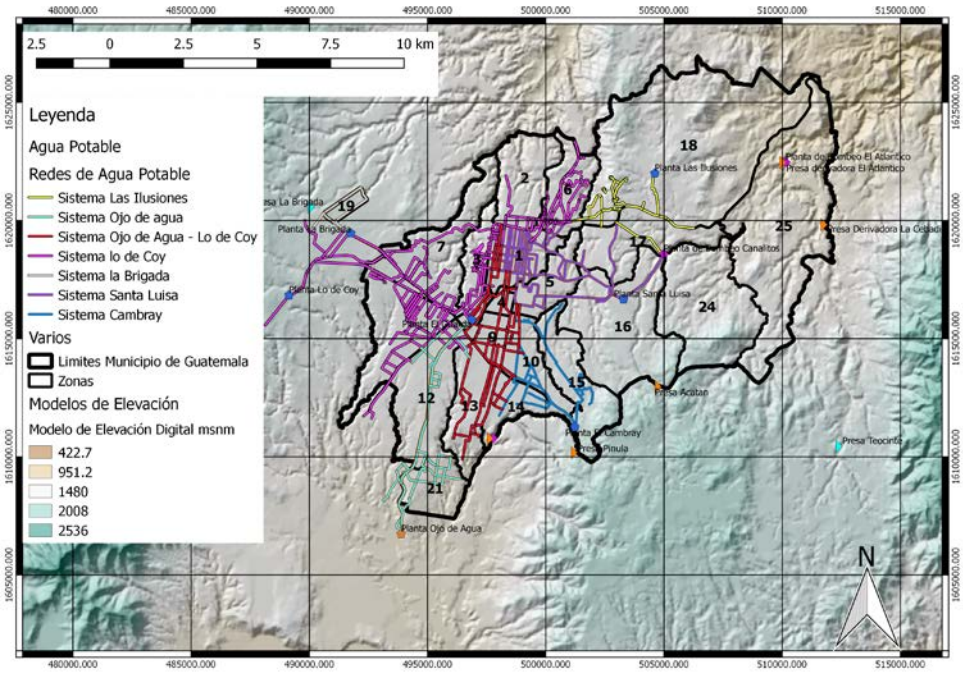


Figura No. 22 Redes principales de agua potable (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, como parte de la información de infraestructura se presenta un mapa con los horarios para una semana por sector de distribución de agua, los horarios varían continuamente. Este es un ejemplo para una semana en 2018, pero se presenta para ilustrar aproximadamente los sectores hidráulicos en la Figura No. 23. Estos así llamados sectores hidráulicos son sectores que se pueden cerrar completamente y permite zonificar hidráulicamente la ciudad. Estos sectores hidráulicos también servirán para un programa de detección de fugas, actualmente se está haciendo en un proyecto piloto de la zona 12.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

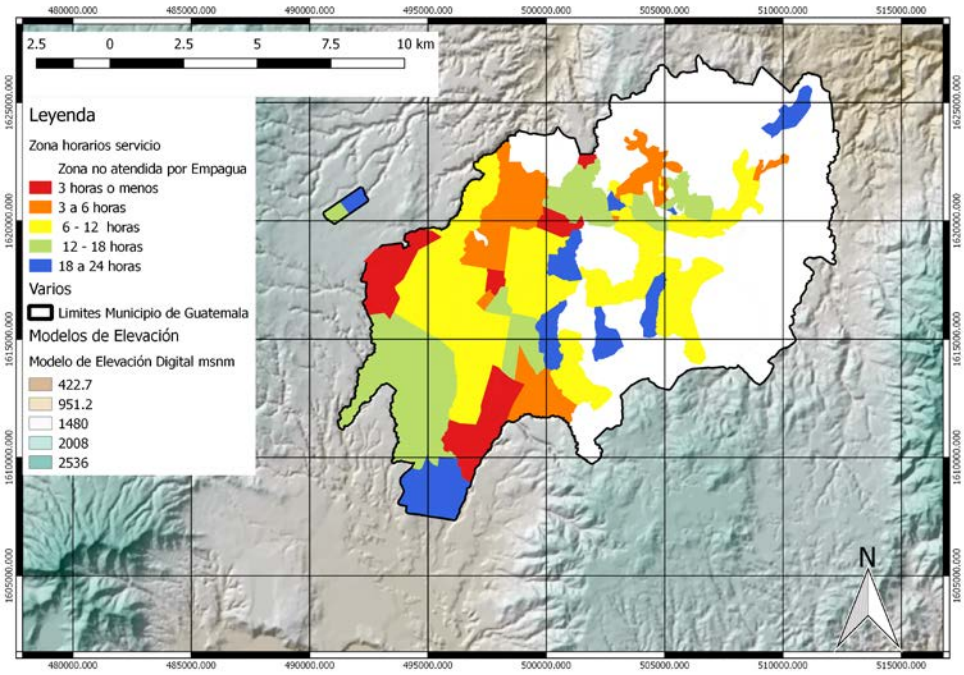


Figura No. 23 Horarios de Servicio y zonas hidráulicas (Fuente: Elaboración propia).

Es importante indicar que no se ha hecho ninguna inversión de gran magnitud desde que se terminó el proyecto Xaya-Pixcaya 1972, terminado en la década de los 70 del siglo pasado. Es decir, más de 50 años sin nueva infraestructura de gran envergadura. Las inversiones que se han realizado han sido en la perforación de nuevos pozos, dentro del contexto de los planes de EMERGENCIA I y II, en los años 80, para luego solo las inversiones privadas de pozos ya sea para consumo privado o para venta de agua en bloque.

5.1.2 Aspectos institucionales, operativos y legales

EMPAGUA es una empresa bajo el control municipal, pues es el municipio quien ejerce la potestad de dar el servicio de abastecimiento de agua a sus habitantes. Sus planes de desarrollo, como por ejemplo los proyectos propuestos en el PLAMABAG, requieren trasvasar agua de otras cuencas y municipios sobre los que no tiene control. Por otro lado, los recursos requeridos para financiar dichos proyectos requieren de garantía soberana para poder acceder a recursos multilaterales u otras fuentes de financiamiento. Esto requiere la autorización del Congreso de la República, que usualmente no ha apoyado estos procesos, como tampoco una Ley general de Aguas. Lo anterior hace que los **proyectos propuestos en el PLAMABAG sean política, legal y socialmente inviables**.

USC
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

La ubicación de la ciudad en el parteaguas hace también difícil encontrar fuentes cercanas que permitan obtener caudales importantes en distancias cercanas. Operativamente eso implica el trasvase de aguas y la sobreexplotación del acuífero. Según FUNCAGUA hay un descenso en 40 años del 20% en los pozos de menos de 30 m. de profundidad (FUNCAGUA, 2022). Después del terremoto de 1976, donde muchas tuberías se dañaron y simultáneamente hubo un flujo migratorio importante a la ciudad, la red ha tenido problemas en sus alturas piezométricas, por lo que muchas viviendas tienen cisternas y sistemas de bombeo hidroneumáticos individuales, se estima en base a una encuesta que el 55% de los hogares cuenta con este sistema. Esto ha sido un elemento que ha contribuido a minimizar la crisis.

En la parte financiera los costos de operación son escasamente cubiertos con la tarifa de agua. En Guatemala la tarifa de EMPAGUA es alrededor de Q2.5/m^3 (US$ 0.32/m^3) mientras que en Monterrey Servicios de Agua y Drenajes de Monterrey[11] cobra US$ 0.63/m^3 y en Costa Rica según la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) la empresa de Acueductos y Alcantarillados (AYA) cobra US$ 1.60/m^3 para tarifa domiciliar[12] en el rango de 16 a 25 m^3 por mes. El costo de la electricidad y equipos de bombeo poco eficientes por su antigüedad, hacen la operación sea aún más costosa. La tarifa no está definida con base a criterios netamente técnicos, sino más bien en función social y política. Esto en parte se debe a la falta de un ente regulador de servicios públicos a nivel nacional. A eso se añade el incremento de fugas y problemas de la red por la antigüedad de la misma, que aumenta costos de operación. Es muy difícil con el nivel de recursos, tener recursos para la inversión en nueva infraestructura, como podría ser el reemplazo de redes (EMPAGUA, 2018).

[11] https://www.sadm.gob.mx/PFiles/tarifas

[12] https://ayaconsulta.com/tarifas-aya/#Cuanto_cobra_el_AyA_por_m3_de_agua)

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

5.1.3 Oferta y Demanda

Para completar el prediagnóstico de Agua Potable es necesario conocer el balance de la oferta y la demanda de recurso. La oferta de producción de EMPAGUA se definió en base al cuadro de producción detallada por planta potabilizadora y diferentes pozos incluyendo los de agua en bloque, entre el año 2000 y 2020 cuyo resumen se muestra en el Cuadro No.5, con un promedio de 10.14 millones de m^3 al mes, de los cuales 52% es agua subterránea y el 48% superficial. Sin embargo, cuando, se observa el comportamiento anual de la producción y no lo promedios la producción, está ha sido muy variable a lo largo del tiempo. La Figura No. 24 muestra el comportamiento de la producción total anual en millones de m^3 donde se puede observar variaciones de hasta casi 20 millones de m^3 (129.7 Millones de m^3 en 2016 y 110 y 114.7 Millones de m^3 respectivamente en 2000 y 2018)

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 5 Producción promedio mensual de EMPAGUA m³ basado datos EMPAGUA

PRODUCCION MENSUAL EN M3 DE AGUA POTABLE														
Mensual		PLANTAS POTABILIZADORAS				TOTAL SUPERFI-CIAL	POZOS EMPAGUA			POZOS AGUA EN BLOQUE			TOTAL SUBTE-RRANEA	TOTALES
Año	Total	LO DE COY	BRIGADA	STA. LUISA	EL CAMBRAY	LAS ILUSIONES		OJO DE AGUA	POZOS	EMERGENCIA I	AEB ODA	AEB Lo de Coy	AEB varios		
2000	Promedio mensual	3,434,166	185,467	859,400	418,010	530,792	5,426,835	2,167,667	1,602,260	98,875				3,868,802	9,295,637
	Total	41,209,993	2,225,603	10,300,802	5,016,114	6,369,502	65,122,014	26,012,004	19,227,123	197,750				45,436,877	110,558,891
2001	Promedio mensual	3,200,486	181,141	737,863	341,255	517,953	4,978,698	2,340,964	1,290,487	1,474,917				5,106,367	10,085,066
	Total	38,405,837	2,173,697	8,854,351	4,095,064	6,215,431	59,744,380	28,091,568	15,485,838	17,699,003				61,276,409	121,020,789
2002	Promedio mensual	2,985,289	177,976	569,036	302,359	587,861	4,642,521	2,415,523	1,310,677	1,735,829				5,462,028	10,104,549
	Total	35,823,470	2,135,708	7,068,427	3,628,313	7,054,329	55,710,247	28,986,271	15,728,119	20,829,951				65,544,341	121,254,588
2003	Promedio mensual	2,867,790	168,846	657,987	337,154	564,260	4,596,036	2,317,609	1,371,167	1,732,271				5,421,047	10,017,083
	Total	34,413,476	2,026,151	7,895,845	4,045,842	6,771,121	55,152,435	27,811,302	16,454,006	20,787,257				65,052,565	120,205,000
2004	Promedio mensual	2,837,243	169,203	713,457	316,990	519,819	4,556,713	2,599,173	1,482,629	1,618,975				5,700,777	10,257,490
	Total	34,046,921	2,030,433	8,561,481	3,803,883	6,237,832	54,680,550	31,190,075	17,791,546	19,427,705				68,409,326	123,089,876
2005	Promedio mensual	3,124,664	194,467	646,884	344,282	520,197	4,830,493	2,542,906	1,332,537	1,523,967				5,399,410	10,229,903
	Total	37,495,964	2,139,137	7,762,612	4,131,378	6,242,363	57,771,454	30,514,869	15,990,446	18,287,601				64,792,916	122,564,370
2006	Promedio mensual	3,609,833		734,224	418,414	545,357	5,307,828	2,581,009	1,234,448	1,461,236				5,276,693	10,584,520
	Total	43,317,997		8,810,685	5,020,965	6,544,285	63,693,932	30,972,111	14,813,374	17,534,827				63,320,312	127,014,244
2007	Promedio mensual	3,637,264		769,591	421,302	593,525	5,421,681	2,463,521	1,289,324	1,447,459				5,200,304	10,621,985
	Total	43,647,164		9,235,093	5,055,618	7,122,301	65,060,176	29,562,258	15,471,885	17,369,504				62,403,647	127,463,823
2008	Promedio mensual	3,446,163		725,265	380,658	527,131	5,079,217	2,468,930	1,303,973	1,502,901				5,275,804	10,355,021
	Total	41,353,960		8,703,183	4,567,892	6,325,566	60,950,601	29,627,154	15,647,680	18,034,813				63,309,648	124,260,249
2009	Promedio mensual	3,602,174	58,383	733,021	371,940	512,039	5,277,237	2,484,007	1,197,753	1,574,140				5,255,900	10,533,137
	Total	43,226,090	175,088	8,796,252	4,459,682	6,144,462	62,801,574	29,808,085	14,373,036	18,889,684				63,070,805	125,872,379
2010	Promedio mensual	3,504,370		742,044	418,999	482,894	5,148,307	2,618,769	1,169,857	1,303,756				5,092,382	10,240,688
	Total	42,052,436		8,904,531	5,027,984	5,794,732	61,779,682	31,425,229	14,038,285	15,645,075				61,108,588	122,888,270
2011	Promedio mensual	3,958,953		748,197	402,536	443,388	5,553,074	2,271,957	1,143,604	1,141,484	266,683			4,823,728	10,376,801
	Total	47,507,432		8,978,363	4,830,427	5,320,661	66,636,884	27,263,481	13,723,244	13,697,805	1,866,783			56,551,314	123,188,197
2012	Promedio mensual	4,091,101		717,679	398,551	447,783	5,655,114	2,166,882	966,048	964,223	283,914			4,381,067	10,036,182
	Total	49,093,207		8,612,153	4,782,615	5,373,396	67,861,372	26,002,580	11,592,579	11,570,680	3,406,970			52,572,809	120,434,181
2013	Promedio mensual	3,688,315		626,552	400,769	460,257	5,176,892	2,274,277	922,448	941,984	527,143			4,665,853	9,841,745
	Total	44,259,778		7,518,620	4,809,225	5,523,079	62,110,702	27,291,330	11,069,382	11,303,805	6,325,722			55,990,238	118,100,940
2014	Promedio mensual	3,728,234		667,897	396,946	437,729	5,230,807	2,102,642	839,944	966,131	853,347			4,762,063	9,992,870
	Total	44,738,810		8,014,766	4,763,356	5,252,751	62,769,683	25,231,698	10,079,327	11,593,567	10,240,166			57,144,758	119,914,441
2015	Promedio mensual	3,666,481		697,064	351,646	409,660	5,124,851	2,048,125	874,226	870,349	1,153,624	240,144	451,352	5,637,819	10,762,670
	Total	43,997,772		8,364,764	4,219,752	4,915,924	61,498,211	24,577,498	10,490,711	10,444,187	13,843,490	480,287	1,354,055	61,190,229	122,688,440
2016	Promedio mensual	3,182,615		656,511	166,006	435,930	4,441,063	2,277,235	803,435	881,278	1,329,632	446,264	636,011	6,373,855	10,814,917
	Total	38,191,384		7,878,136	1,992,075	5,231,157	53,292,751	27,326,816	9,641,225	10,575,337	15,955,583	5,355,163	7,632,134	76,486,257	129,779,008
2017	Promedio mensual	3,094,221		611,807	167,213	437,881	4,311,122	1,701,536	755,152	820,056	1,426,466	358,029	726,040	5,787,280	10,098,402
	Total	37,130,655		7,341,681	2,006,558	5,254,566	51,733,460	20,418,437	9,061,830	9,840,675	17,117,590	3,222,263	8,712,476	69,373,272	120,106,732
2018	Promedio mensual	2,887,985		620,375	141,913	429,298	4,079,572	1,510,696	786,886	812,273	1,524,033	382,282	715,729	5,731,898	9,811,470
	Total	34,655,822		7,444,500	1,702,957	5,151,581	48,954,860	18,128,348	9,442,631	9,747,281	18,288,390	4,587,382	8,588,743	68,782,775	117,737,636
2019	Promedio mensual	2,515,914		591,643	148,045	434,706	3,690,308	1,580,835	819,654	951,595	1,461,148	374,253	683,862	5,871,167	9,561,475
	Total	30,190,970		7,099,718	1,776,537	5,216,475	44,283,699	18,970,021	9,835,844	11,419,143	17,533,773	4,491,036	8,204,188	70,454,005	114,737,704
2020	Promedio mensual	2,645,879		561,325	232,806	454,680	3,894,690	1,820,870	1,045,054	1,213,685	1,429,929	351,143	657,912	6,518,592	10,413,282
	Total	31,750,550		6,735,896	2,793,675	5,456,158	46,736,278	21,850,442	12,540,644	13,350,535	17,159,150	4,213,711	7,894,942	77,009,424	123,745,702

Tipo	Superficial	Subterránea	Total
Promedio producción mensual de 20 años en m3	4,877,241	5,314,897	10,192,138
	48%	52%	

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

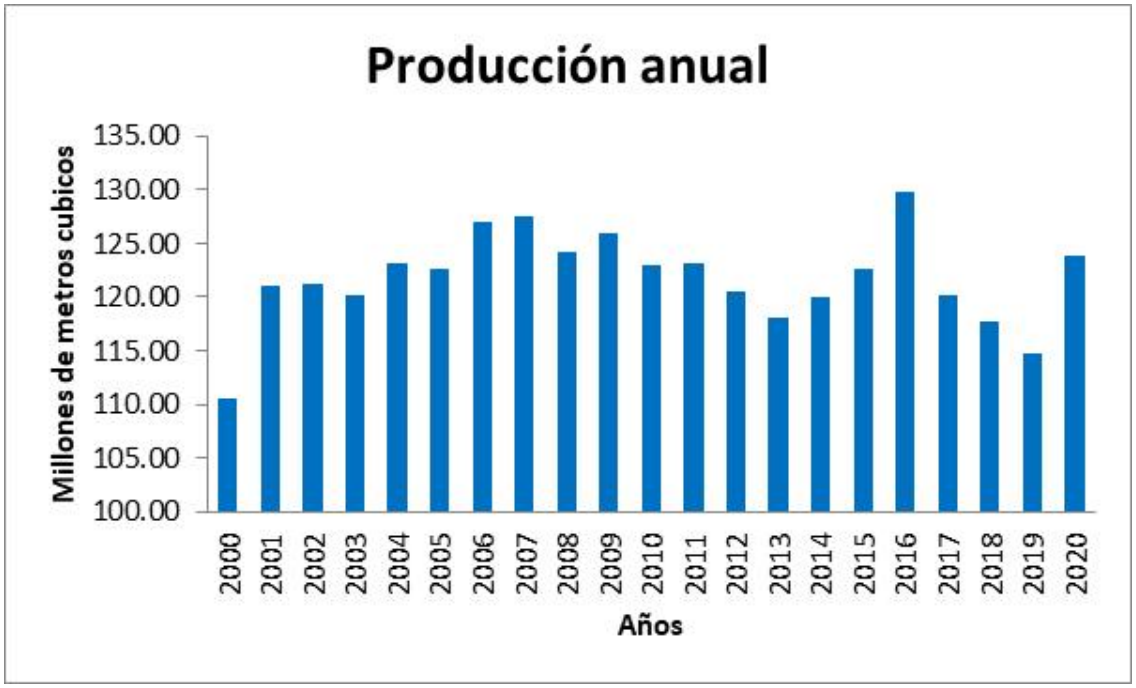


Figura No. 24 Producción anual de EMPAGUA fuente: Cuadro No.5

En promedio en el periodo 2000-2020 el 52 % de la producción de EMPAGUA fue subterránea y el 48% superficial. Sin embargo en el periodo hay cambios con respecto al uso de aguas subterránea, pues aunque aparentemente hay una situación donde el uso de agua subterránea y superficial es muy similar, se puede observar en la Figura No. 25 que la tendencia del 2000 al 2020 se invirtió del año 2000 de una relación 60% agua superficial y 40% agua subterránea a prácticamente lo opuesto en 2020, haciendo más dependiente la producción de la oferta subterránea, que parece ser la tendencia a futuro, con el incremento de la demanda y la falta de opciones de agua superficial.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

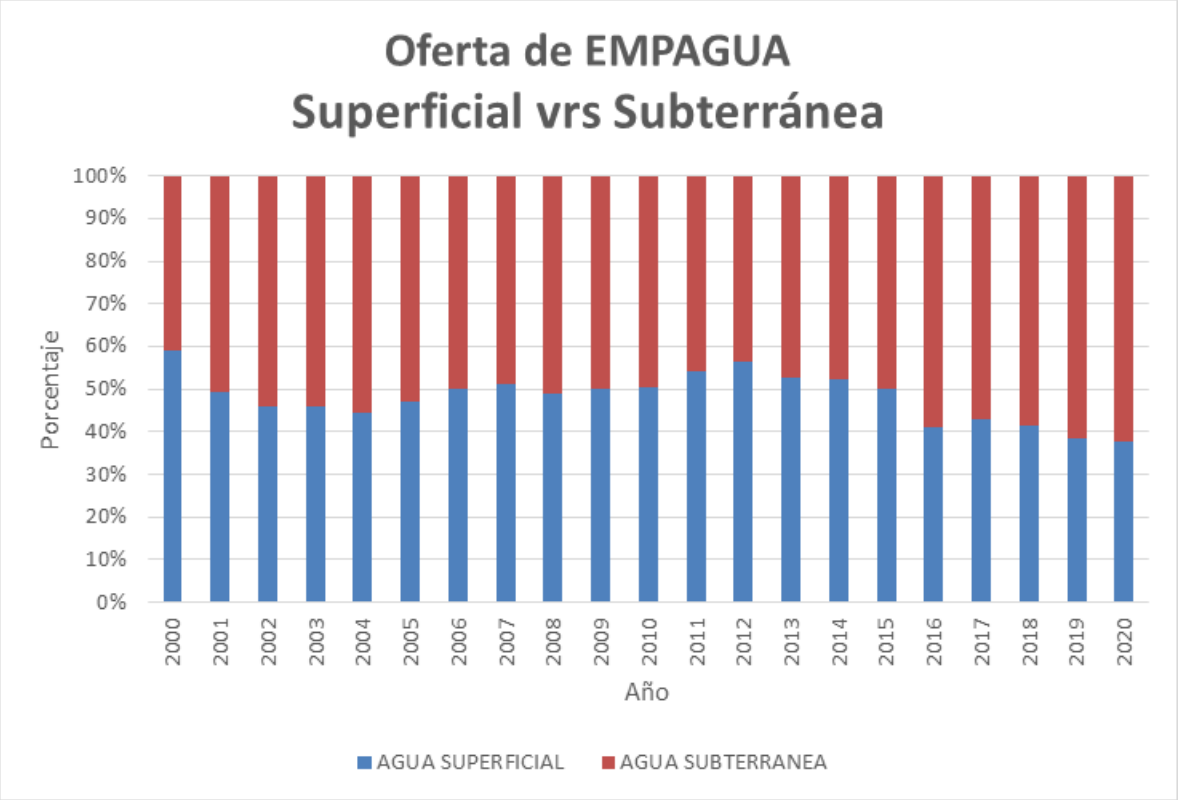


Figura No. 25 Producción anual por origen de las fuentes (fuente: Cuadro No.5)

Un estudio reciente del comportamiento de los pozos para la región metropolitana establece que existe un problema de explotación del acuífero, pero que la información existente no es suficiente para establecer una buena línea base (FUNCAGUA, 2022).

La producción mensual de EMPAGUA tiene un rango de 3.5 a 4.15 m^3/s, con un promedio a un caudal de 3.8 m^3/s. De esta producción hay una estimación de pérdidas en base a la facturación, por ejemplo, en el año 2010 se estimaban las pérdidas en un 42% (Lentini.Emilio, 2010). Esta estimación se ha confirmado reciente en un estudio de EMPAGUA, donde también se tenía que el agua no contabilizada era estimada en un 42% (EMPAGUA, 2019). Más recientemente un estudio de UICN con AECID confirma este resultado (UICN AECID, 2022). Haciendo un análisis en base a la producción del 2019 (3.633 m^3/s) y el volumen facturado se tiene una estimación similar de 42% de agua no contabilizada como se indica en el Cuadro No. 6. El año 2020 no se consideró por ser un año de pandemia donde hubo efectos tanto en el consumo como en la facturación que no se pueden considerar normales.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 6 Producción promedio del periodo 2019 basado en datos de EMPAGUA

Fuente	Q medio m3/s	Tipo	m^3/mes
Lo de Coy	0.956	Superficial	2,477,919.38
Santa Luisa	0.225	Superficial	582,708.28
Las Ilusiones	0.056	Superficial	145,808.98
El Cambray	0.165	Superficial	428,141.41
Ojo de Agua	0.601	Subterránea	1,556,961.68
Pozos de EMPAGUA	0.311	Subterránea	807,275.47
Emergencia I	0.362	Subterránea	937,224.44
AEB Lo de Coy	0.555	Subterránea	1,439,081.83
AEB Ojo de Agua	0.142	Subterránea	368,601.15
AEB Varios	0.260	Subterránea	673,357.52
Volumen producido	3.633	Ambas	9,417,080.13
Volumen Facturado	2.116	58%	5,484,672.00
Perdidas no contabilizadas	1.517	42%	3,932,408.13

AEB =Agua en Bloque

* Volumen facturado de 2019 porque 2020 no es representativo por pandemia

Adicionalmente, es importante identificar, que parte de la demanda se cubre, no solo con la oferta de EMPAGUA, sino también con una oferta que proporciona directamente la iniciativa privada través de empresas como Agua Mariscal y algunas empresas privadas que funcionan a nivel de condominios, urbanizaciones o edificios.

En el caso de la empresa de Aguas de Mariscal, en una entrevista con el Gerente General de la empresa Ing. Alberto Carlos, tiene un aproximado de 6500 clientes con un consumo promedio de 20 m^3/mes y una producción aproximada de 180,000 m^3/mes, toda extraída de 14 pozos. En esta misma entrevista informo que sus pérdidas están entre el 40 y 45%.

Para poder estimar la producción por los pozos privados, fue necesario utilizar un método indirecto, y se ubicaron las conexiones al sistema de drenaje que no tienen servicio de agua proporcionado por EMPAGUA, pues se asume que si necesitan conexión de drenaje es porque tienen un suministro de agua y este probablemente es un pozo. El número de conexiones de drenaje sin conexión de agua es de 1100, por tanto, se asumió que existen 1100 pozos privados con una producción media conservadora de 30 gal/min (basada en la producción media de los pozos de EMPAGUA) es decir aproximadamente

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

1.89 L/s, que producirían en promedio 2.08 m^3/s. Estas conexiones incluyen industrias, comercio, edificios y centros comerciales. Un análisis más detallado será realizado por EMPAGUA a futuro, esto podrá proporcionar información más certera en este aspecto.

También existen camiones cisterna privados que distribuyen agua directamente a comercios, casas particulares o rellenando toneles, especialmente en zonas precarias. Según un estudio reciente solo el 1.72.% de los hogares depende de este sistema en el municipio de Guatemala (FUNCAGUA, 2022). Estos camiones usualmente usan pozos como fuente de abastecimiento, sin embargo, debido a la falta de regulación no hay una estimación certera de los volúmenes que producen y a donde lo distribuyen, por lo que no se tomaran en cuenta dentro de la oferta.

La oferta basada en la información recopilada se resume en el Cuadro No. 7 donde se estima en base al año 2019.

Cuadro No. 7 Oferta total para el municipio (Fuente: Elaboración propia).

Análisis Situación Actual	
Aspecto	m^3/s
Oferta EMPAGUA	3.633
Oferta Mariscal	0.200
Oferta comercial total	3.833
Agua No Contabilizada	1.625
Oferta Neta	2.208
Oferta pozos privados	2.082
Oferta total	4.290

Para la estimación de la demanda se consideró la facturación de EMPAGUA y el crecimiento poblacional. El alto grado de incertidumbre de esta última variable se compensó con el modelo de demanda desarrollado para este trabajo, que permite estimar la población residente y flotante a la fecha actual, y con base a POT del municipio proyectar la población a futuro. El modelo determina la distribución espacial de la

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

población en el territorio. El modelo conceptual detallado para estimar la demanda de servicios por población se detalla en https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/3328, aquí se muestra en la Figura No. 26 en forma resumida el modelo conceptual utilizado para determinar la demanda.

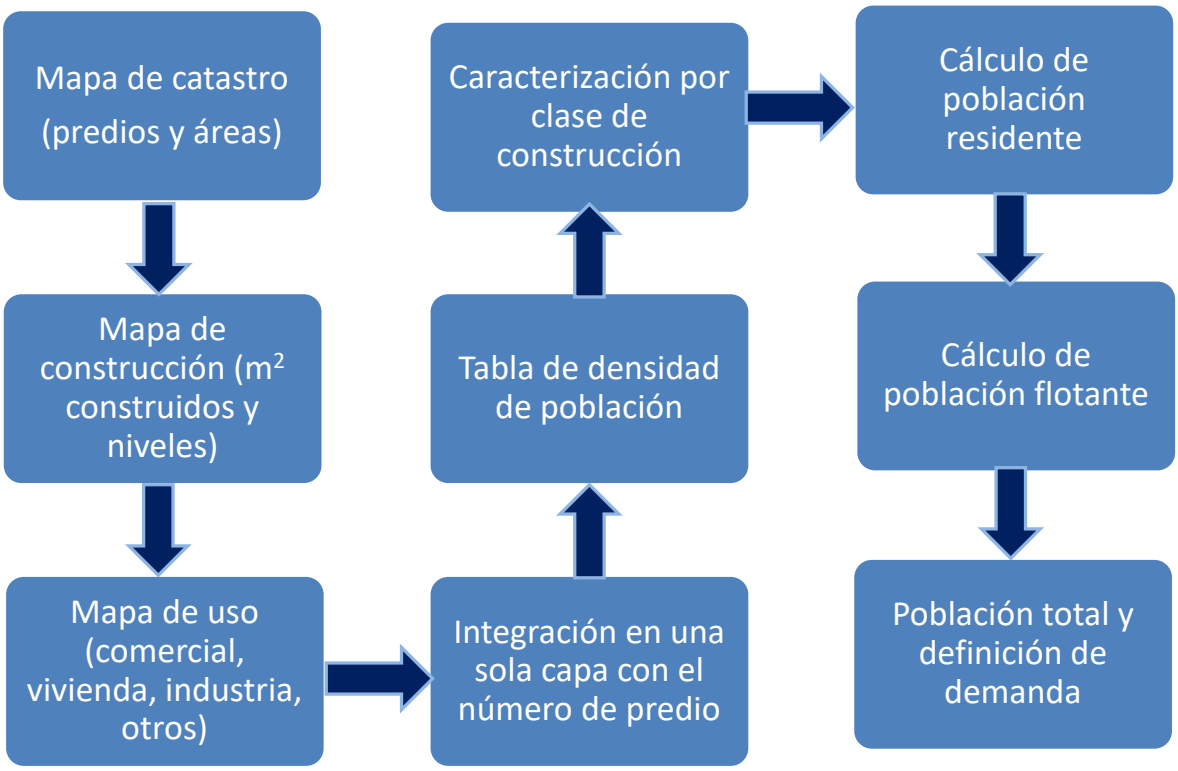


Figura No. 26 Modelo conceptual para estimar la población y la demanda (Cobos y otros, 2024).

El modelo utiliza los metros cuadrados de área construida y el uso asignado a cada predio catastral y con una tabla de densidades por m^2 y categoría de zona. En el Cuadro No.8 se muestran las poblaciones por zona, tanto residentes como flotantes para el 2019. Para estimar la demanda de agua se calculó en base a una dotación usando 75 litros/habitante/día para la población flotante y 250 litros/habitante/día para la residente, que es la comúnmente ha sido usada para diseño de redes en Guatemala.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 8 Población modelada para 2019 (Cobos y otros, 2024)

POBLACION MODELADA 2019				
Zona	**Flotante**	**Residente**	**Total**	**Caudal miles de m3/d**
1	217,696.00	71,787.00	289,483	34.27
2	35,211.00	39,892.00	75,103	12.61
3	27,110.00	43,078.00	70,188	12.80
4	101,041.00	3,368.00	104,409	8.42
5	48,818.00	75,773.00	124,591	22.60
6	38,515.00	80,778.00	119,293	23.08
7	109,193.00	151,523.00	260,716	46.07
8	35,457.00	13,425.00	48,882	6.02
9	74,610.00	5,621.00	80,231	7.00
10	67,308.00	40,820.00	108,128	15.25
11	179,088.00	100,642.00	279,730	38.59
12	257,555.00	79,933.00	337,488	39.30
13	60,350.00	33,226.00	93,576	12.83
14	35,621.00	41,873.00	77,494	13.14
15	19,556.00	35,483.00	55,039	10.34
16	31,372.00	63,118.00	94,490	18.13
17	33,612.00	36,834.00	70,446	11.73
18	153,143.00	156,378.00	309,521	50.58
19	8,346.00	20,509.00	28,855	5.75
21	48,266.00	62,856.00	111,122	19.33
24	2,077.00	1,202.00	3,279	0.46
25	18,687.00	18,509.00	37,196	6.03
Total	**1,602,632**	**1,176,628**	**2,779,260**	**414.35**

Esto implicaría que el consumo de agua para fines domésticos debería ser de 414 mil m^3 por día (151 millones de m^3 al año), tanto de la población flotante y la residente, en base al modelo. Con esto se tiene una población total a servir de aproximadamente de 2.8 millones de habitantes requieren un caudal de 4.8 m^3/s. Esto coincide con lo definido en otros estudios que por ejemplo indican que para el consumo humano se requieren 114,036,108 m^3/año (FUNCAGUA, 2022) equivalente a 3.62 m^3/s. La diferencia se explica, porque la población estimada de 1,176 millones, es mayor que la estimada censo 2018 de 923,392, pero es importante hacer notar que la población del modelo incluye

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

propiedades que pueden no estar habitadas, pero que necesitan el servicio, porque fueron construidas. Por lo que para la demanda se considerara la demanda generada por el modelo.

Hay que destacar que no se están incluyendo dentro de la demanda estimada, el agua requerida para procesos industriales, ya que la industria utiliza pozos propios. Por lo que EMPAGUA y los otros proveedores debería haber producido 4.796 m^3/ s en 2019, para prestar un servicio continuo con cantidad y calidad suficientes. El cuadro No. 9 presenta la relación en 2019 de la oferta contra la demanda indicando un déficit de al menos 11%.

Cuadro No. 9 Déficit entre oferta real y demanda para 2019 (Fuente: Elaboración propia).

Análisis Situación Actual	
Aspecto	**m^3/s**
Demanda Estimada	4.796
Déficit Estimado	-0.506
Déficit en %	-11%

Para proyectar la demanda a futuro, se utilizó el modelo, para lo que se definieron dos escenarios de crecimiento a futuro, ambos basados en las condiciones del POT para cada zona, que limitan el tipo de proyecto, la altura de los edificios y áreas permitidas de construcción. Para aplicar el modelo de demanda, se asumió lo siguiente: i) el POT mantendrá sus límites actuales; ii) no habrá restricciones políticas o económicas que afecten el proceso constructivo; iii) la ciudad seguirá siendo el polo principal dela economía, la producción y la educación; iv) el crecimiento dependerá más de la oferta de vivienda y de espacios de trabajo que del crecimiento vegetativo u otros procesos migratorios y v) se mantendrá el crecimiento del área construida de 1.92 millones de m^2 anuales (Bolaños, 2021). Considerando que el POT se desarrolle un 40% el área construida sería de más de 60 millones de metros cuadrados, según el área potencial a construir, la población residente se incrementará a casi 2.8 millones de habitantes y la población flotante atraería prácticamente de 6,8 millones que se moverían hacia ella, esto generaría una demanda para esa condición de casi 14 m^3/s como se muestra en el Cuadro No. 10 de https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/3328. Al ritmo actual de la construcción esto se alcanzaría aproximadamente en el año 2037.

USC DE COMPOSTELA

Cuadro No. 10 Población estimada con el modelo a 2037 (Cobos y otros, 2024)

POBLACION MODELADA 2037				
Zona	**Flotante**	**Residente**	**Total**	**Caudal miles de m3/d**
1	611,317.00	186,704.00	798,021	92.52
2	147,031.00	103,258.00	250,289	36.84
3	113,438.00	100,751.00	214,189	33.70
4	247,145.00	9,253.00	256,398	20.85
5	191,309.00	165,674.00	356,983	55.77
6	210,833.00	192,254.00	403,087	63.88
7	523,073.00	351,458.00	874,531	127.09
8	106,714.00	41,150.00	147,864	18.29
9	229,188.00	14,369.00	243,557	20.78
10	304,617.00	117,597.00	422,214	52.25
11	670,940.00	261,414.00	932,354	115.67
12	671,676.00	197,626.00	869,302	99.78
13	148,702.00	70,646.00	219,348	28.81
14	120,473.00	85,719.00	206,192	30.47
15	111,755.00	87,297.00	199,052	30.21
16	278,902.00	148,869.00	427,771	58.13
17	180,042.00	94,354.00	274,396	37.09
18	1,495,147.00	390,450.00	1,885,597	209.75
19	41,185.00	42,579.00	83,764	13.73
21	286,230.00	135,045.00	421,275	55.23
24	13,126.00	2,872.00	15,998	1.70
25	153,159.00	38,712.00	191,871	21.16
Total	**6,856,002**	**2,838,051**	**9,694,053**	**1,223.71**

Es complicado predecir el crecimiento de la población, especialmente la población flotante. El Plan de Ordenamiento Territorial Municipal (POT), sin embargo, puede estimar el máximo desarrollo de construcción que se puede alcanzar en el municipio, con las restricciones actuales de los códigos de construcción y otros aspectos. Esto permite con cierta certeza, y en base al desarrollo de la construcción de los últimos años, que para lograr que el POT se desarrolle al 100 % de su potencial (un área construida equivalente

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

a 160 millones de m^2), sucedería alrededor en el año 2090, con una población flotante de casi 26 millones y un total de más de 35 millones; lo que implicará de acuerdo al modelo desarrollado en una demanda de más de 4,134 miles de m3/día equivalente a 47.8 m3/s como muestra el Cuadro No. 11 de https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/3328.

Cuadro No. 11 Población estimada con el modelo a 2090 (Cobos y otros, 2024)

POBLACION MODELADA 2090 (100% POT)				
Zona	**Flotante**	**Residente**	**Total**	**Caudal miles de m3/d**
1	885,226.00	329,175.00	1,214,401	148.69
2	488,649.00	222,361.00	711,010	92.24
3	368,922.00	201,011.00	569,933	77.92
4	265,748.00	13,916.00	279,664	23.41
5	442,890.00	284,140.00	727,030	104.25
6	580,748.00	338,466.00	919,214	128.17
7	1,079,706.00	569,651.00	1,649,357	223.39
8	179,812.00	70,500.00	250,312	31.11
9	287,055.00	24,897.00	311,952	27.75
10	528,964.00	201,788.00	730,752	90.12
11	1,038,087.00	392,512.00	1,430,599	175.98
12	1,617,830.00	380,192.00	1,998,022	216.39
13	290,319.00	114,451.00	404,770	50.39
14	185,641.00	108,686.00	294,327	41.09
15	791,847.00	277,014.00	1,068,861	128.64
16	3,259,611.00	972,714.00	4,232,325	487.65
17	1,420,495.00	547,511.00	1,968,006	243.41
18	6,219,684.00	1,562,086.00	7,781,770	857.00
19	61,457.00	71,357.00	132,814	22.45
21	627,771.00	244,120.00	871,891	108.11
24	2,406,387.00	579,168.00	2,985,555	325.27
25	3,852,207.00	969,033.00	4,821,240	531.17
Total	**26,879,056**	**8,474,749**	**35,353,805**	**4,134.62**

Aunque se realizó esta proyección, se considera que un plazo razonable a trabajar es el año 2037 donde los supuestos asumidos podrían ser válidos, más allá de este año la certeza de las proyecciones se reduce considerablemente, pues se verá afectada por múltiples factores relacionados con el desarrollo económico, aspectos económicos y

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

sociales, incluso el desarrollo tecnológico de los métodos constructivos y del transporte que pueden variar en múltiples formas.

5.1.4 Otras limitaciones del suministro de servicio de agua potable

Los limitados recursos ocasionan un servicio bastante irregular en ciertas zonas, con las molestias obvias de los usuarios, por lo que una propuesta de incremento de tarifas solo puede darse en el contexto de una obvia mejora en el servicio, que debe ir en el peor de los casos paralela al incremento (Lentini.Emilio, 2010), requiriendo un programa de comunicación con los usuarios. La calidad de respuesta en caso de fallas debe mejorar para lograr que los usuarios recobren la confianza en el prestador de servicio (EMPAGUA, 2018).

Debido también a los limitados recursos hay una reducida inversión en mantenimiento, si se añade la contaminación de las fuentes, la capacidad de respuesta de las plantas de potabilización está muy reducida operando en condiciones extremas a sus capacidades máximas, lo que genera fallos continuos y una operación irregular. Lo mismo sucede con el sistema de sistema de la red en general (EMPAGUA, 2018).

5.1.5 Resumen del prediagnóstico del sistema de agua potable

Se puede concluir lo siguiente de los datos anteriores:

- La demanda tienda a incrementar rápidamente por lo que con la disponibilidad actual no podrá ser atendida a corto plazo.
- Los proyectos para hacer trasvase son inviables social y políticamente por la falta de una Ley de Aguas y la apropiación del recurso hídrico por los diferentes usuarios.
- Los recursos financieros son insuficientes, tanto para operación y mantenimiento como para inversión en nuevos proyectos y la búsqueda de nuevas fuentes.
- La explotación del acuífero es insostenible a largo plazo y la información existente es insuficiente para establecer una línea base realista.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

- La capacidad de las redes, de las plantas de tratamiento de agua potable está cada día más limitada por la obsolescencia de las mismas, así como la falta de inversión en mejoras, ampliaciones y mantenimiento.
- Las fugas en la red son de aproximadamente 40%.
- La poca inversión realizada ha sido para mantener a un mínimo las condiciones de servicio.
- El sistema tarifario deficitario impide un desarrollo de nuevas inversiones y mantenimientos preventivos.
- El servicio al usuario y el tiempo de respuesta a los incidentes que los usuarios presenten debe mejorar

Estos aspectos se comprueban y refuerzan en la encuesta DUSA presentada en el inciso 5.4.

5.2 PREDIAGNÓSTICO SANEAMIENTO Y DRENAJES PLUVIALES

Para determinar la situación existente se hicieron reuniones con los encargados de saneamiento y drenaje pluvial de EMPAGUA. La escala de las reuniones fue menor que en el caso de agua potable, en primer lugar, porque son menos las unidades involucradas y en segundo porque es un tema donde las tarifas no tienen un papel relevante pues el cobro por la conexión de los drenajes particulares al colector municipal es un pequeño porcentaje de las tarifas de agua. La inversión reciente ha sido mínima, pues la mayor parte de la infraestructura, especialmente los grandes colectores se construyeron entre 1960 y 1980. En la década de los años sesenta del siglo pasado, con la intención de evitar la contaminación del lago de Amatitlán, ubicado en la cuenca sur, se decidió trasvasar parte de las aguas pluviales y residuales de las zonas 10, 9, 11,12, 13 y 14 de la cuenca sur hacia la cuenca norte, o sea a la cuenca del río Motagua. Por haberse construido en esa época, la infraestructura de los drenajes pluviales y sanitarios existentes son en su mayoría sistemas combinados.

Después se analiza el servicio prestado actualmente, con las limitaciones que se presentan en la operación de los mismos, especialmente en el tratamiento de aguas residuales, ya que el mismo por parte de la municipalidad es mínimo. La parte regulatoria tanto nacional como municipal es muy limitada, y aunque se promueve la separación de aguas pluviales

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

y residuales en algunas zonas, la aplicación de la normativa y sus herramientas para reforzarla es muy débil. Hay múltiples conexiones ilegales, desechos sólidos descargados ilegalmente en los tragantes del sistema de drenaje. Finalmente, se presenta un resumen de los resultados en un inciso final.

5.2.1 Infraestructura existente

El sistema de infraestructura está constituido por i) redes de drenaje secundarias que reciben las conexiones o acometidas prediales; ii) redes de colectores menores, primarios y profundos; iii) plantas de tratamiento de aguas residuales y iv) descargas.

A nivel de las redes secundarias, la información requerida es muy detallada. Los drenajes de la red secundaria no están digitalizados al 100%, y deberá seguir desarrollándose a futuro, sin embargo, se muestran para la zona 9, donde sí hay un mapeo detallado realizado en una tesis de grado (Higueros, 2008) y el cual se presenta a modo de ejemplo en la Figura No. 27. En este caso hay tragantes, pozos de visita, cajas reunidoras de caudales, candelas (estructura donde se conectan los drenajes de varios inmuebles a los colectores), las acometidas de las casas o predios etc. Este es el nivel de detalle al que deberán llegar todas las zonas. Generalmente, estas redes secundarias funcionan a nivel predial.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

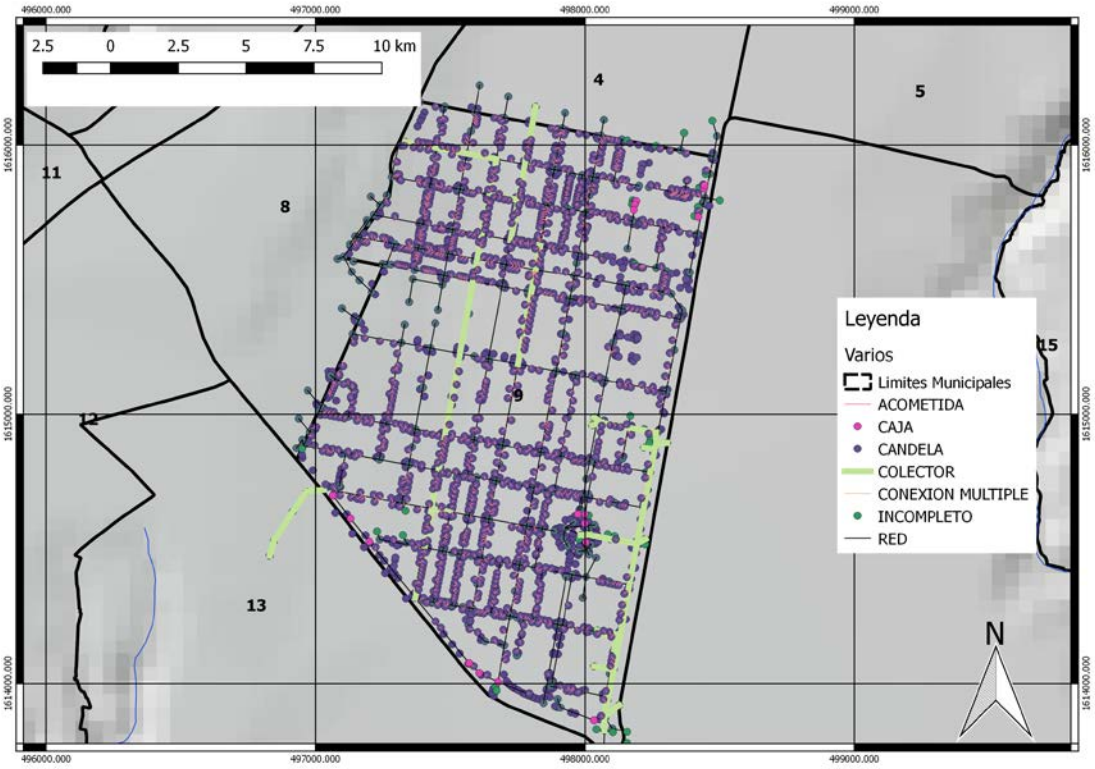


Figura No. 27 Detalle de drenajes a nivel red de recolección elaboración propia en base a (Higueros, 2008),

Con respecto a las redes de colectores primarios, se presentan los que se han obtenido en base a la información de CAD y planos existentes en la Figura No. 28. Existen zonas como la uno y la cuatro donde fue más fácil obtener información y otras donde la información es menos detallada. Actualmente utilizando herramientas de campo se están verificando los colectores de las distintas zonas con un proceso automatizado y siguiendo un protocolo que se describe más adelante.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

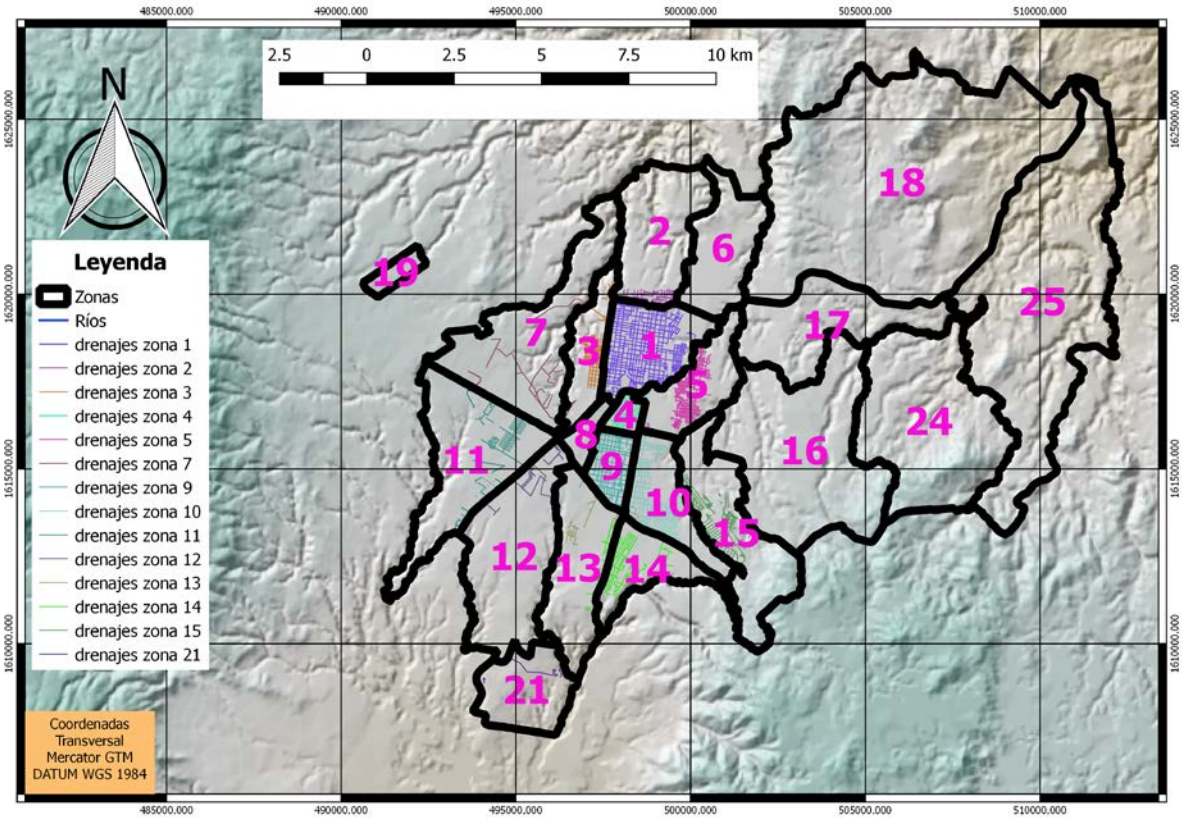


Figura No. 28 Colectores primarios (Fuente: Elaboración propia).

Estos colectores primarios ya digitalizados, tienen información de longitudes y tipo de tubería, sin embargo, las cotas de las tuberías y niveles de terreno contienen varias discrepancias que se deben corroborar en campo. En el Anexo I se presentan las estructuras de las bases de datos y lo que se debe actualizar y verificar.

Los colectores principales y profundos (+20 metros de profundidad) son: i) Colector Reformita-Mariscal-Roosevelt; ii) Colector 10-13-14; iii) Colector Poniente y iv) Colector Oriente. Los que se describen a continuación.

Colector Reformita-Mariscal-Roosevelt (RMR): Este es un colector combinado que drena un área aproximada de 9 km^2 con un derivador de caudales bajos (caudales sanitarios) que interconecta al colector poniente. Su caudal máximo en crecida se estima de 65 m^3/s con un diámetro de 4.5 m y un caudal de aguas residuales de 0.6 m^3/s. Su

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

longitud total es de 24 km. Las zonas que drena son la zona 7, 8, 9 y parcialmente las zonas 11, 12 y 3.

Colector 10-13-14: Este es un colector combinado que drena un área aproximada de 10.5 km^2 que descarga al río Negro un afluente del río Las Vacas. Drena agua como su nombre lo indica de las zonas 10,13 y 14. Su caudal máximo en crecida se estima de 56 m^3/s y un caudal sanitario de casi 1 m^3/s. Tiene diámetros de 1.50 hasta 3.75 m a una profundidad media de 35 metros y profundidad máxima de 60 metros. Su longitud total es de 11.2 km.

Colector Poniente: Este es un colector combinado que inicia en un derivador o regulador de caudales del RMR, drena un área aproximada de 7 km^2 que descarga al río Las Vacas al norte de la ciudad, en un punto cercano a la descarga del colector Oriente. Drena agua de parte de la zona 3, 1, 2 y 6 Su caudal máximo en crecida se estima de 40 m^3/s y con un caudal sanitario de 1.25 m^3/s y con diámetros de 1.75 a 3.25 m. Longitud de 6.8 km.

Colector Oriente: Este es un colector combinado que inicia recibiendo las descargas de colectores más pequeños de la zona 4, drenando también parte de la zona 1, la zona 5 y parte de la zona 6. Drena un área aproximada de 8.6 km^2 y descarga al río Las Vacas al norte de la ciudad, en un punto cercano a la descarga del colector Poniente. Su caudal máximo en crecida se estima de 35 m^3/s y con un caudal sanitario de 1.25 m^3/s. Con diámetros de 1.5 a 2.25 m. Longitud de 8.34 km.

La ubicación de los colectores principales y profundos se muestra en la Figura No. 29.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

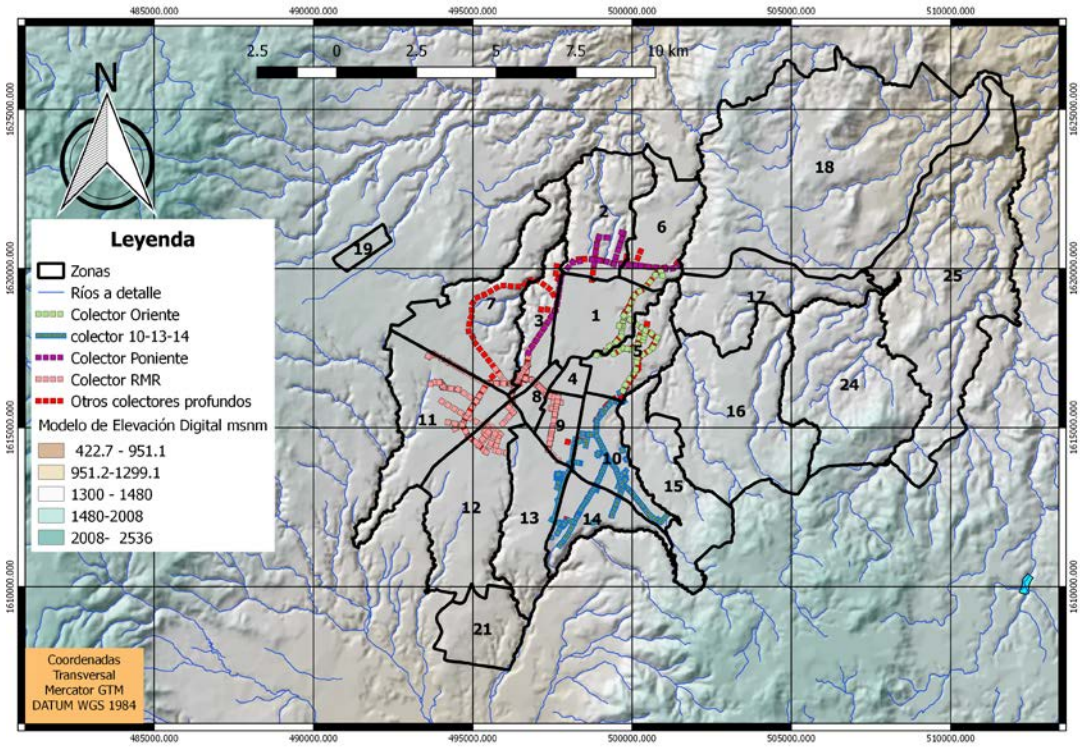


Figura No. 29 Colectores principales y profundos (Fuente: Elaboración propia).

La ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes que opera EMPAGUA se muestran en la Figura No. 30. Son solamente 5, y una en construcción. El caudal que tratan es de aproximadamente 0.118 m^3/s. Dos de ellas se encuentran en la cuenca sur Bello Horizonte y Nimajuyú y tres en la cuenca norte: Hacienda Real I, II y III.

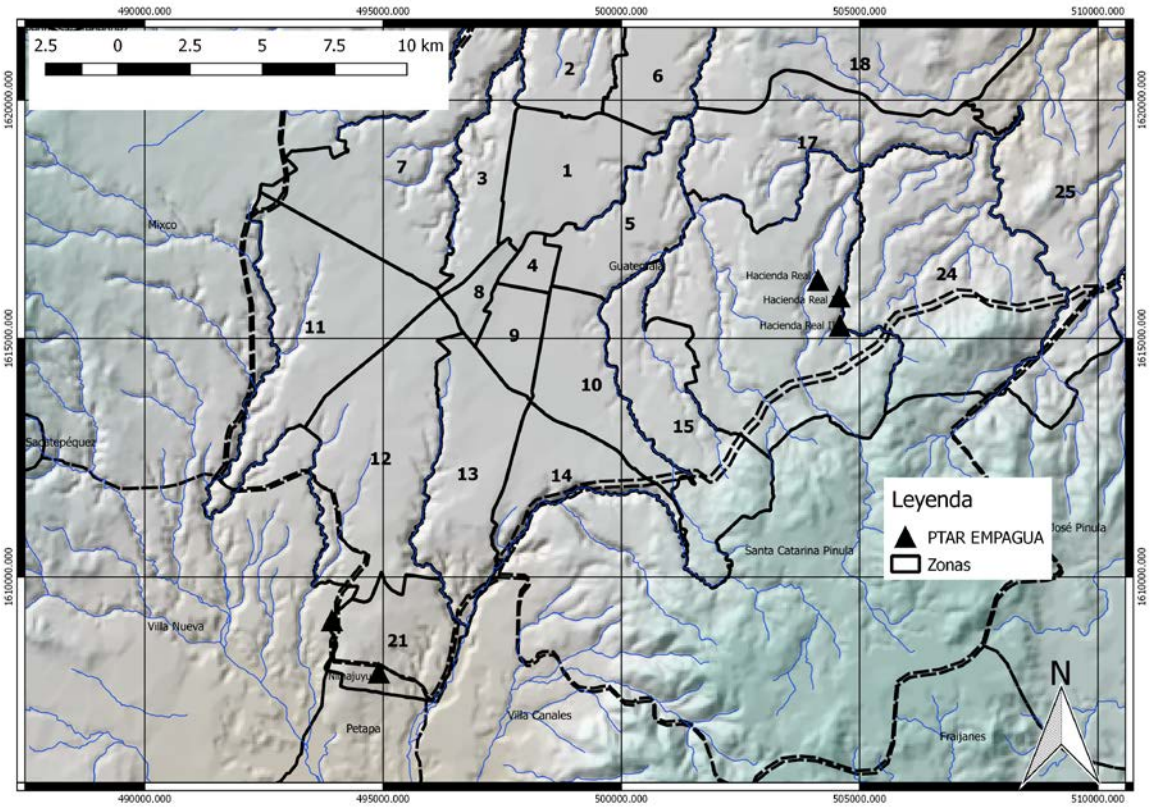


Figura No. 30 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales operadas por EMPAGUA (Fuente: Elaboración propia).

Se detallan datos de las PTAR (VIMERCO, 2003). Bello Horizonte es una PTAR con Pretratamiento, tanque Imhoff dos Filtros biológicos torre- de decantación secundaria y patios de lodos que sirve a una población media de 18,000 personas y 36 l/s. Proyecto desarrollado para atender a la población de un proyecto de vivienda específico.

Nimajuyú es una PTAR con Pretratamiento, mediante canal de aproximación, rejillas, trampa de grasas; Tratamiento Primario: Sedimentación por medio de Tanques Imhoff; c) Tratamiento Secundario por medio de Filtros Percoladores y Sedimentador secundario. Para el tratamiento de los lodos, se tiene deshidratación del mismo por medio de patios de secado. Diseñada para un caudal de 42 l/s y una población de 20,000 personas. Al igual que la anterior fue desarrollada para un proyecto habitacional gubernamental de apartamentos.

Hacienda Real I, II y III las tres dan servicio a sectores de la lotificación Hacienda Real y están constituidas por desarenador, rejilla y un reactor anaerobio de flujo ascendente que operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir,

USC DE COMPOSTELA

el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal, y sale por la parte superior. Son reactores anaerobios en los que los microorganismos se agrupan formando biogránulo, seguido por biofiltros, sedimentadores secundarios y patios de lodos. Entre las tres tienen una capacidad de tratamiento total 45 l/s tratando las descargas de 20,000 personas aproximadamente.

Por otro lado, las leyes ambientales, especialmente con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 exigen a los nuevos desarrollos, públicos o privados, la construcción de plantas de tratamiento (PTAR) de las aguas residuales que generan, dando límites máximos permisibles de la calidad de agua que deben descargar a los cuerpos receptores; como un requisito para contar con la respectiva licencia ambiental. Este proceso ha generado una gran cantidad de PTAR privadas, de edificios, condominios y centros comerciales, que luego descargan sus aguas ya tratadas a los colectores, pues muchos de estos desarrollos se encuentran inmersos en el área urbana y no construyen sistemas individuales para descargar a cuerpos receptores naturales. Las plantas privadas actualmente registradas en el SIG son 219, con información a través de las licencias de construcción, y tratan aproximadamente un volumen total de 0.1 m^3/s. La Figura No. 31 muestra la ubicación de estas. Actualmente todas están dentro del proceso de actualización del SIG de EMPAGUA y se está haciendo una revisión de cada una de ellas para asegurar su buen funcionamiento, verificar caudales y ubicación. Un inventario en 2022, con las nuevas licencias de construcción, revela un incremento a 1500 miniplantas de tratamiento, sin embargo, aún no hay datos de volúmenes ni está verificada su construcción (BID, 2022). En cualquier caso y haciendo una extrapolación simple, es decir si 219 plantas trataban solo 0.1 m^3/s, 1500 estarían tratando más de 0.68 m^3/s entre todas las plantas, asumiendo que reciben una adecuada operación y mantenimiento. Esto significa que el tratamiento de aguas residuales actual es menos del 18% del agua que se distribuye.

Es importante mencionar que el Acuerdo 236-2006 ha tenido múltiples modificaciones en sus fechas límites y ajustado varias veces, especialmente por el incumplimiento de los municipios en la construcción de las PTAR.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

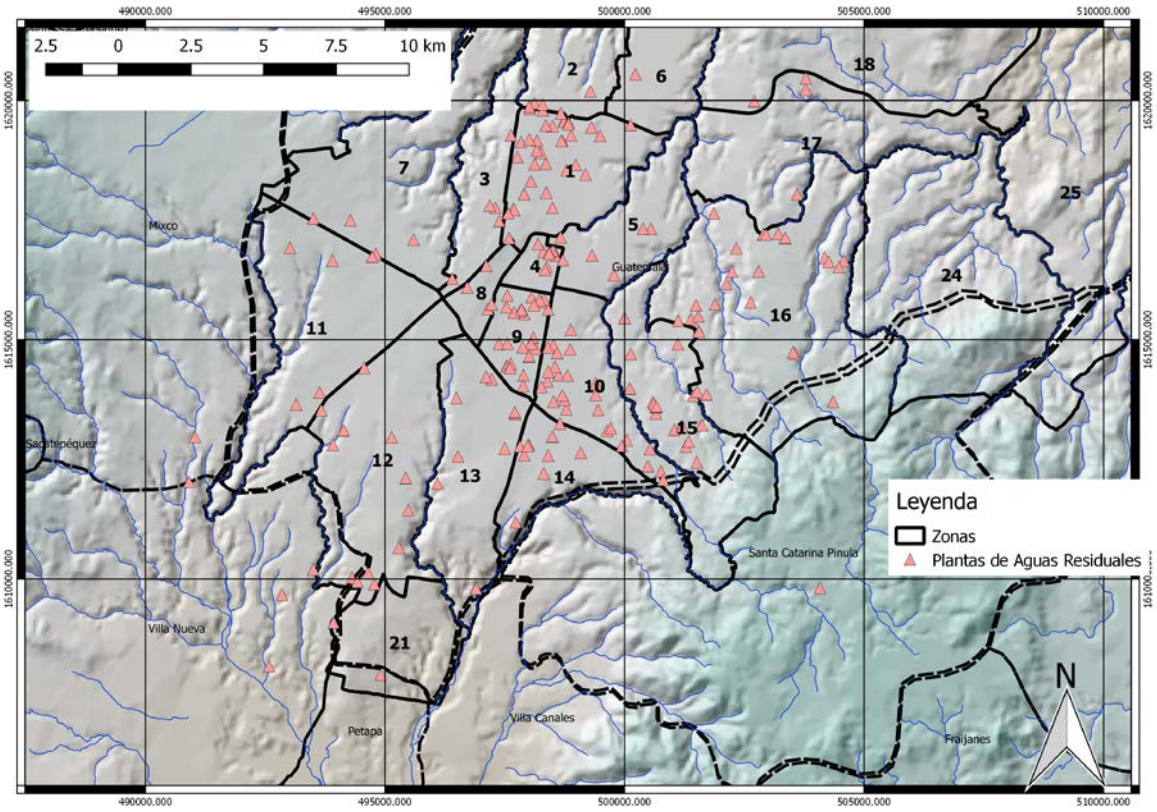


Figura No. 31 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Privadas (Fuente: Elaboración propia).

Para completar el prediagnóstico, se utilizó la caracterización de 197 descargas, de las cuales solo 189 descargas dentro del municipio fueron realmente caracterizadas pues 8 de ellas no fue posible acceder o simplemente no fueron encontradas (Cobos, 2020). La caracterización, además de las ubicación y características físicas de la descarga, incluye un análisis de los parámetros de calidad de agua que son objeto del reglamento 236-2006 del MARN.

Para realizar esta caracterización se elaboró un proyecto, supervisado por el autor de esta tesis doctoral, con fondos de Proyecto de Naciones Unidas para el Desarrollo (MUNIJOVEN) y la Municipalidad de Guatemala, contratando un equipo de cuatro consultores, acompañados por personal de EMPAGUA y de las Alcaldías Auxiliares (Cobos, 2020). Para ello los consultores debían visitar el sitio, caracterizar la descarga físicamente, medir el caudal y en la mayoría de sitios tomar una muestra de agua para ser llevada al laboratorio. Solo en seis casos, de las descargas más grandes, se realizaron muestreos compuestos (toma de 24 horas). Los consultores, en conjunto con EMPAGUA, determinaban si la descarga era pluvial, sanitaria o combinada. En este sentido se

USC DE COMPOSTELA

determinó que 3% eran descargas pluviales, 42% de aguas residuales y 55% combinadas. La boleta incluía las coordenadas geográficas y la información fue trasladada al sistema de información geográfica incluyendo fotografías, los análisis de calidad de agua y la boleta.

Los parámetros de calidad de agua obtenidos fueron los siguientes:

- pH
- DBO
- DQO
- Temperatura
- Sólidos en suspensión
- Coliformes fecales
- Nitrógeno total
- Fósforo
- Grasas y aceites
- Color

Estos son los parámetros solicitados en el reglamento 236-2006 del MARN, que indica los límites máximos permisibles que muestra el Cuadro No. 12. Para recolectar la información se preparó una boleta de campo que se muestra en la Figura No. 32 y un ejemplo del análisis físico químico realizado en la Figura No. 33.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 12 Limites permisibles Acuerdo Gubernativo 236-2006 y sus modificaciones

Parámetros	Dimensionales	Fecha máxima de cumplimiento		
		29/11/2019	2/05/2024	2/05/2028
		Etapa		
		Uno	Dos	Tres
Temperatura	Grados Celsius	TCR+/-7	TCR+/-7	TCR +/-7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	50	10	10
Materia Flotante	Ausencia/Presencia	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda Bioquímica de Oxigeno	Miligramos por litro	250	100	100
Sólidos Suspendidos	Miligramos por litro	275	200	100
Nitrógeno Total	Miligramos por litro	150	70	20
Fósforo Total	Miligramos por litro	40	20	10
Potencial de Hidrógeno (PH)	Unidades de potencial de Hidrogeno	6 a 9	6 a 9	
Coliformes Fecales	Número más probable en cien (100) milímetros	$<1x10^7$	$<1x10^4$	$<1x10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.1
Cianuro Total	Miligramos por litro	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	3	3	3
Cromo Hexavalente	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.02	0.02	0.02
Níquel	Miligramos por litro	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10
Color	Unidades Platino Cobalto	1000	750	500

TCR Temperatura del Cuerpo Receptor

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Formato para Caracterizacion de Descargas

Codigo [1]: N.15.20 | Fecha: 21/08/2019 | Responsable: Manuel Cano

Coordenadas [2]	
X	Y
770670	1614551

Subcuenca [3]: Norte

Tipo: Pluvial [ ] Aguas Residuales [ ] Combinado [x]

Tamaño: Cuadrada [x] Ancho 0.6 Alto 0.1 | Circular [ ] Diametro ____ Unidades metros [ ] pies [ ]

Material: Concreto [x] Asbesto [ ] PVC [ ] HG [ ] Otro [ ]

Descripción del estado (bueno, bloqueado, rajado, colapsado, etc.)

Canal de colector en buenas condiciones, caudal continuo y combinado.

Caudal: lts/seg [x] m^3/s [ ] Volumen 3.1

Caracterización de Calidad [4]: Fisicos [x] Quimicos [x] Bacteriologicos [x] Metales [ ]

ID. de muestras: A-004-19

Observaciones:
Análisis de calidad de agua en muestra simple.
Caudal de flujo contínuo. Altitud: 1556 msnm.
Se reportó clima nublado con precipitación en horas de la tarde.
Acompañamiento: Nadia Mejía y Alejandro Rojas (municipalidad auxiliar y Empagua)
Río contreras

[1] El código es un número correlativo, único para cada descarga

[2] las coordenadas deben estar en UTM 1984 GSW 15 N

[3] Indicar si drena hacia el Norte o hacia el Sur con una "N" o una "S"

[4] Indicar que tipos de muestra se tomaron e indicar los códigos para adjuntar los resultados de labortatorio

Figura No. 32 Boleta de recolección de datos (Cobos, 2020)

Informe No.
IEL-036-19

INMUNOLAB

InmunoLab-F-01-002
versión1.0
Página 1 de 1

Laboratorio de Inmunoensayo y Diagnóstico Ambiental

INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO

Guatemala,02 de octubre de2019

1. Información general

Nombre o Razónsocial: **Municipalidad deGuatemala**

Dirección: **Zona 15, Ciudad de Guatemala**

2. Información de la muestrade ensayo

Identificaciónde muestra:	**A-038-19**	Identificaciónde muestreo:	**MC-012-19**
Descripciónde la muestra:	**N.15.26**	Responsable de monitoreo:	**Jose Raúl Morales Vera**
Tipo de muestra:	**Agua residual**	Muestreo simple ocompuesto:	**Simple**
Referenciasgeográficas	**769802 mE**	Fecha y hora de muestreo:	**9/15/2019, 4:20:00PM**
	1616224m N	Fecha de ingreso allaboratorio:	**9/15/2019**
Temperatura de recepción	**6 °C**	Fecha de inicio de análisis:	**9/15/2019**

3. Información del ítem deensayo

Parámetro	RESULTADO	Dimensional*	Límite detección	Método de análisis
Potencialde Hidrógeno -pH-	**7.60**	Unidades depH	0.01	SMEWW 2120 C
Temperatura	**23.5**	°C	0.1	SMEWW 2550 B
TCR	**22.0**	°C	0.1	SMEWW 2550 B
Materia flotante	**Presente**	Presente/ Ausente	No aplica	Visual
Caudal	**No Reportado**	Litros/segundo	No aplica	----------
Sólidossuspendidos totales	**70**	mg/L	2	SMEWW 2540 D
Grasas y aceites	**94.8**	mg/L	2.0	SMEWW 5520 B
Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a20°C	**90**	mg/L	2	SMEWW 5210 D
Demanda química de oxígeno	**193**	mg/L	20	HACH 8000 equivalente SMEWW 5220 D
Nitrógenototal	**28**	mg/L	2	HACH 10072
Fósforototal	**9.5**	mg/L	1.0	HACH 10127 adaptación de SMEWW 4500 -P B-C
Cianuro total	**No Detectable**	mg/L	0.002	HACH 8027
Cromo hexavalente	**0.066**	mg/L	0.010	HACH 8023 adaptación de SMEWW 3500 -Cr B
Color aparente	**557**	U Pt/Co	15	SMEWW 2120 C
Color verdadero	**44**	U Pt/Co	15	SMEWW 2120 C
Sólidossedimentables	**1.0**	ml/L	0.1	SMEWW 2540 F
Coliformesfecales	**$4.4x10^7$**	NMP/100 ml	1.8	SMEWW 9210 B

Abreviaturas: mg/L: miligramos por litro (1 mg/L=1 ppm), U PT/Co: Unidades de Platino y Cobalto; NMP/100 ml: Numero Más Probable en 100 ml; SMEWW: siglas en ingles de Métodos estándarepara el análisis de agua y aguas residuales.

La información del presente informe de ensayo de laboratoriose refiere única y exclusivamente al ítem descrito.
Se prohibe la reproducción totalo parcial del informe de ensayode laboratorio sin la aprobación escrita del laboratorio.

Teléfono central: (502) 2234 1928
Correo electrónico: inmunolabsa@gmail.com
14 calle 5-73 zona 11, Minerva Sur, Mixco, Guatemala.

Horario de atención:
Lunes a Viernes 09:0018:00
Sábado 06:00-13:00

Figura No. 33 Ejemplo de análisis de laboratorio (Cobos, 2020)

En seis de estás descargas se realizaron muestras compuestas, es decir que la muestra se toma a lo largo de un periodo de 24 horas, el resto de las descargas fueron muestras puntuales. La Figura No. 34 muestra las descargas muestreadas debidamente georreferenciadas. El Cuadro No. 13 resume algunos de las características de los datos obtenidos, agrupándolas en rangos de diámetros. Todos los datos están en el SIG, incluyendo los datos de calidad de agua y la fecha del muestreo.

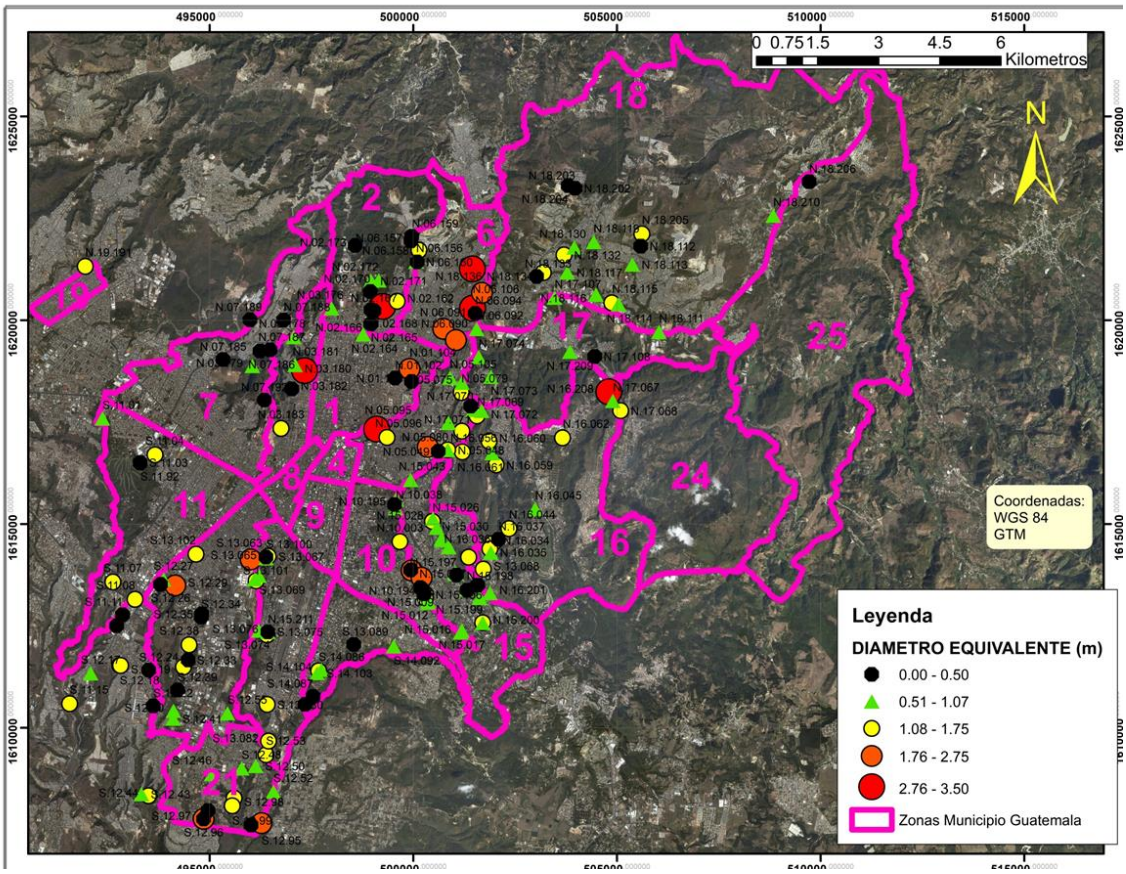


Figura No. 34 Descargas caracterizadas del municipio de Guatemala (Fuente: Elaboración propia).

Cuadro No. 13 Caracterización de descargas elaboración propia basado en (Cobos, 2020)

Diámetro equivalente (m)	No. de descargas por cuenca			Caudal total de las descargas m^3/s
	Norte	Sur	Total	
0.00-0.30 *	24	8	32	0.732
0.31-0.70	42	21	63	0.722
0.71-1.24	32	19	51	1.252
1.25-1.99	25	11	36	0.589
2.00 o más **	11 (5)	4 (1)	15	7.259
Total	**134**	**63**	**197**	**10.559**
* Hay 8 descargas que no se pudieron acceder o no se encontraron y aparecen con diámetro 0.				
** Algunos de estos caudales pueden estar sobreestimados pues por ser combinados incluyeron agua pluvial por las dificultades de medición y la época en que se realizaron (entre paréntesis se indica las muestras que fueron de tipo compuesto)				

Como se puede observar un resultado interesante es el volumen de agua medido 10.559 m^3/s, si bien es cierto algunas de las mediciones pueden tener error, este caudal excede en mucho la oferta estimada de lo que se produce para uso doméstico (4.29 m^3/s), esto probablemente se debe a i) descargas significativas de las industrias al sistema de drenajes que se han conectado sin autorización, ii) que los consumos de los pozos privados en condominios y edificios es bastante mayor que el estimado y por consiguiente las descargas de aguas residuales; iii) conexiones ilegales de otros municipios que no se hayan detectado y iv) que se hayan medido algunas aguas pluviales en las descargas combinadas. Todas ellas deberán ser investigadas a mayor detalle. Para iniciar EMPAGUA empezó con un proceso, a largo plazo, para establecer medidores en las descargas de edificios y condominios privados a la red, sobre todo aquellos que no reciben servicio de agua por parte de EMPAGUA.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

La calidad de agua en forma resumida para los parámetros de la demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO) y los coliformes fecales se resume en el Cuadro No. 14

Cuadro No. 14 Parámetros de Calidad de agua en las descargas elaboración propia basado en (Cobos, 2020)

Parámetro	Rango	No. de Descargas		
		Total	Cuenca Sur	Cuenca Norte
DBO 100 mg/L al 2024	Dentro de la norma de DBO	62	15	47
	Superan límite de DBO (más de 100 hasta 500)	104	34	70
	Superan límite de DBO (más de 500 hasta 3600)	31	14	17
	Totales	197	63	134
Coliformes 1.0x10^4 # más probable al 2024	>1X10^4	88	49	39
	<1X10^4	109	14	95
	Totales	197	63	134

Por ser la primera vez que se realizó un esfuerzo de este tipo, algunas de las descargas no pudieron accederse o simplemente no se encontraron. La base de datos de las descargas incluye algunos de los parámetros químicos para su fácil acceso. El sistema permite colocando el cursor en la descarga visualizar la información correspondiente tanto los datos respectivos de esa descarga, la ubicación en el sistema de los análisis de laboratorio e incluso visualizar la foto de la descarga como se ve en la Figura No. 35.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

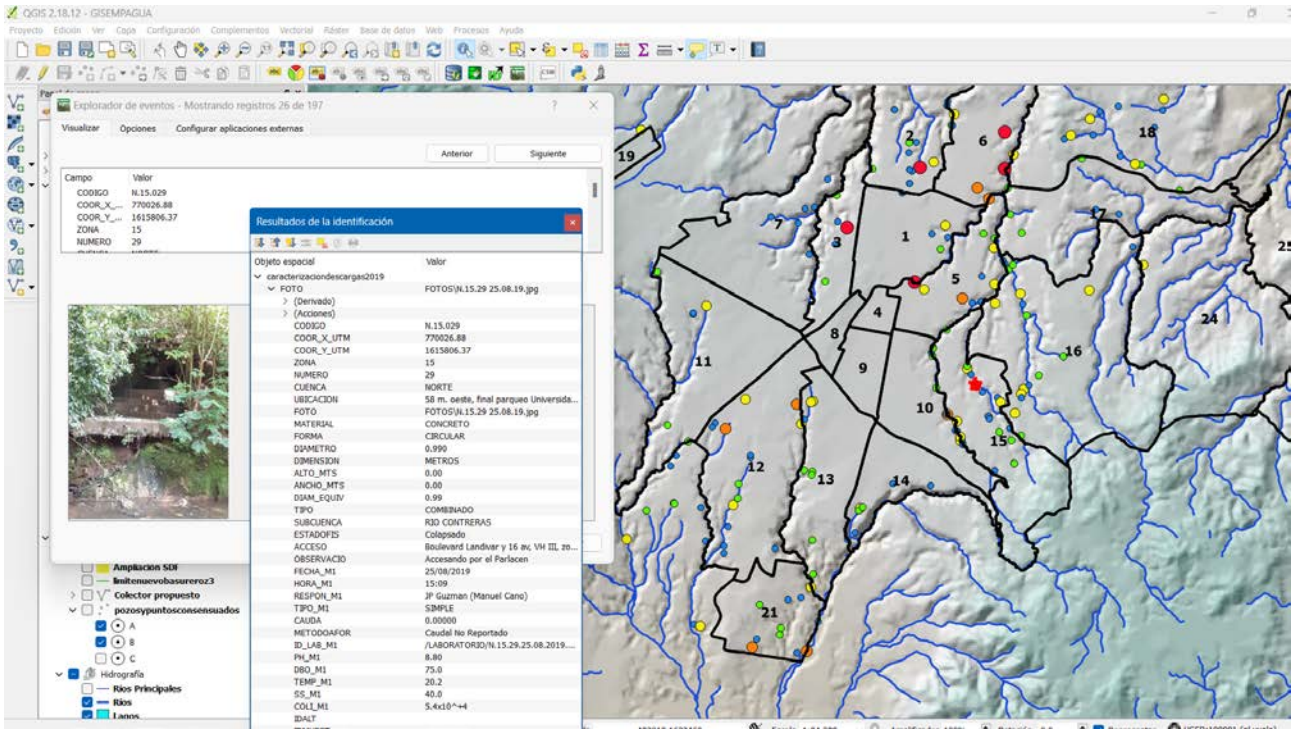


Figura No. 35 Visualización de la foto de una descarga y sus datos (Fuente: Elaboración propia).

Ya se está programando el siguiente levantamiento y se espera que los resultados permitan aclarar algunas de las interrogantes, sobre todo con respecto al volumen total de las descargas. Este levantamiento se hará ya con una aplicación que permita ingresar los datos a la nube y al sistema de información geográfica sin usar el proceso manual.

5.2.2 Servicio del sistema de alcantarillado

La cobertura del drenaje sanitario a nivel de la ciudad es de más del 85%, con redes de drenaje que se interconectan al final a los colectores principales o a descargas directas a los cuerpos de agua. Sin embargo, también existe una gran cantidad de drenajes ilícitos que descargan, sin tratamiento, directamente a los cauces y que aún no han sido cuantificados. La mayoría de estos drenajes ilícitos provienen de asentamientos o viviendas no autorizadas construidas por personas que invaden terrenos en las laderas de barrancos, que son generalmente zonas de alto riesgo, y que normalmente se encuentran a nivel topográficos por debajo de los niveles de la red de drenajes por lo que no se pueden conectar a la misma.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Con respecto al saneamiento, se requieren más plantas de tratamiento, tanto municipales como privadas, pues claramente la cantidad actual es insuficiente, ya que la mayoría de las descargas de los colectores municipales aún no tienen plantas de tratamiento (solo hay cinco plantas de EMPAGUA operando en 5 descargas, por lo que hay 181 descargas, sin tratamiento), por lo que su caudal contaminado discurre en los ríos urbanos especialmente en el río Las Vacas.

Las cinco plantas que opera EMPAGUA funcionan técnicamente bien, sin embargo, el incremento de caudales sanitarios, así como conexiones ilícitas de caudales pluviales provocan desbordes de las mismas, los cuales no son medidos ni manejados adecuadamente.

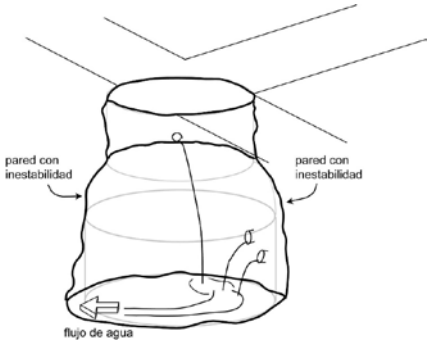
Con respecto al sistema pluvial las inundaciones se producen en el área urbana son mínimas, en parte porque la ciudad se encuentra en la parte alta de las cuencas y cuando se producen generalmente se deben al bloqueo de los tragantes por desechos sólidos, que se tiran a los mismos. Hay más de 40 mil tragantes en la ciudad, que se encuentran en un programa continuo de limpieza con cuadrillas de personal y camiones para esa tarea. EMPAGUA estima en 3,000 toneladas de basura anuales en base al número de viajes que realiza. Esto será más preciso en el futuro con la medición de los camiones al ingresar al sitio de disposición final de residuos y desechos sólidos en la zona 3 del municipio de Guatemala.

Uno de los principales problemas del sistema de drenaje, tanto pluvial como sanitario, es su antigüedad. La mayor parte de la infraestructura tiene más de 40 años y su mantenimiento ha sido muy limitado. Por el tipo de suelo, que existe en el valle donde se encuentra asentada la ciudad, es arena pómez, que si bien es estable para la mayoría de situaciones, en el caso de que entran en contacto con el agua es muy susceptible a la erosión hidráulica o también llamada “tubificación” que genera erosión y cavernas. En 2007 y 2010 hubo dos hundimientos cercanos al colector Poniente. Aunque la causa exacta de que origino la falla nunca se determinó, si se concluyó en ambos casos que una filtración de agua socavó el material alrededor de un pozo de construcción y de un pozo

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

de visita, causando el colapso de un sector y hundimientos de grandes proporciones (Ver Figura No. 36).

Hundimiento, Barrio San Antonio, zona 6, 2007; fotos y diagrama proporcionadas por Dr. Juan Pablo Ligorría



Hundimiento zona 2, 2010 ver https://www.flickr.com/photos/gobiernodeguatemala/4657053554/in/photostream/lightbox/

Figura No. 36 Hundimientos en el municipio de Guatemala (Fuente: Elaboración propia).

Otros de menor magnitud se han producido en otras zonas de la ciudad. En 2022, una época lluviosa extrema causo otros hundimientos grandes en Villanueva, un municipio al sur de Guatemala, pero con características de suelo similares. En estos últimos, se pudo determinar con inspecciones del autor a los mismos, que han estado trabajando a presión en algunos momentos, dañándolos por la sobrecarga. Se estima esto se debe a un incremento de caudales, probablemente debido al cambio climático y al crecimiento urbano, que pudo causar la falla del colector.

Aunque recientemente se han incorporado nuevas técnicas para la supervisión de los sistemas, con cámaras de video y análisis geofísicos, por muchos años estos no habían sido supervisados a detalle, por lo que a veces se encuentran tuberías bloqueadas con raíces de árboles, dañadas estructuralmente, bloqueadas o simplemente azolvadas. Existe una tarifa de drenaje incorporada como un porcentaje del costo de servicio del agua, el

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

monto recaudado es insuficiente para el mantenimiento y menos para costosas reparaciones o la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales (comunicación personal con la subgerencia técnica de EMPAGUA).

5.2.3 Resumen del diagnóstico del sistema de drenaje

Después de hacer un análisis de los datos se puede concluir lo siguiente:

- Los sistemas de drenaje son muy antiguos y su diseño se ve sobrepasado por el incremento de caudales debidos al crecimiento urbano y al cambio climático.
- Los resultados del caudal en las descargas, es mucho mayor que el del agua producida. Esta incertidumbre requiere una investigación más profunda para determinar i) si la producción privada, en pozos no controlados, esta subestimada y la producción real es mucho mayor; ii) si existe una gran cantidad de descargas ilícitas provenientes de la industria o de otros municipios y iii) las descargas combinadas.
- Las descargas con tratamiento a los ríos o a los sistemas de drenaje, tanto públicas como privadas, equivalen únicamente al 18% de las aguas residuales producidas.
- Hay una deficiencia muy importante en el tratamiento de aguas residuales, agravado por que la mayoría de los colectores (55%) son combinados, por lo que su manejo en momentos de lluvia intensa no es factible en las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- El saneamiento, sobre todo en el tratamiento de aguas, se encuentra muy rezagado con respecto al crecimiento urbano.
- Previo al SIG preliminar la información estaba centralizada en personas y no había un acceso fácil a la misma, en este momento el acceso a información como las descargas es más rápido.
- La supervisión, el mantenimiento y su operación no tiene recursos suficientes. La recaudación a través de la tarifa de drenaje en el recibo de agua no cubre ni siquiera los costos de operación.
- Falta monitoreo, supervisión y seguimiento de los sistemas de drenaje. En general, la información es todavía muy limitada.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

5.3 PREDIAGNÓSTICO DESECHOS SÓLIDOS

El municipio de Guatemala solamente cuenta con un Sitio de Disposición Final (SDF), el cual recibe aproximadamente 2500 toneladas diarias de desechos sólidos del municipio de Guatemala y 14 municipios más. El sitio es considerado es considerado entre los 50 más grandes del mundo y entre los 13 más grandes de América Latina (Pineda, 2023).

La zona donde se ubica el actual SDF la zona 3 se empezó a rellenar en 1952 (creación del arbitrio de extracción de basura, acta 67-30 de diciembre 1952, Concejo Municipal) en los alrededores de "El Trébol" en la cabecera de la subcuenca del río La Barranca, que inicia aproximadamente en el boulevard Liberación y la calzada Roosevelt (divisoria continental de aguas), alrededor del Trébol, Ver Figura No. 37.

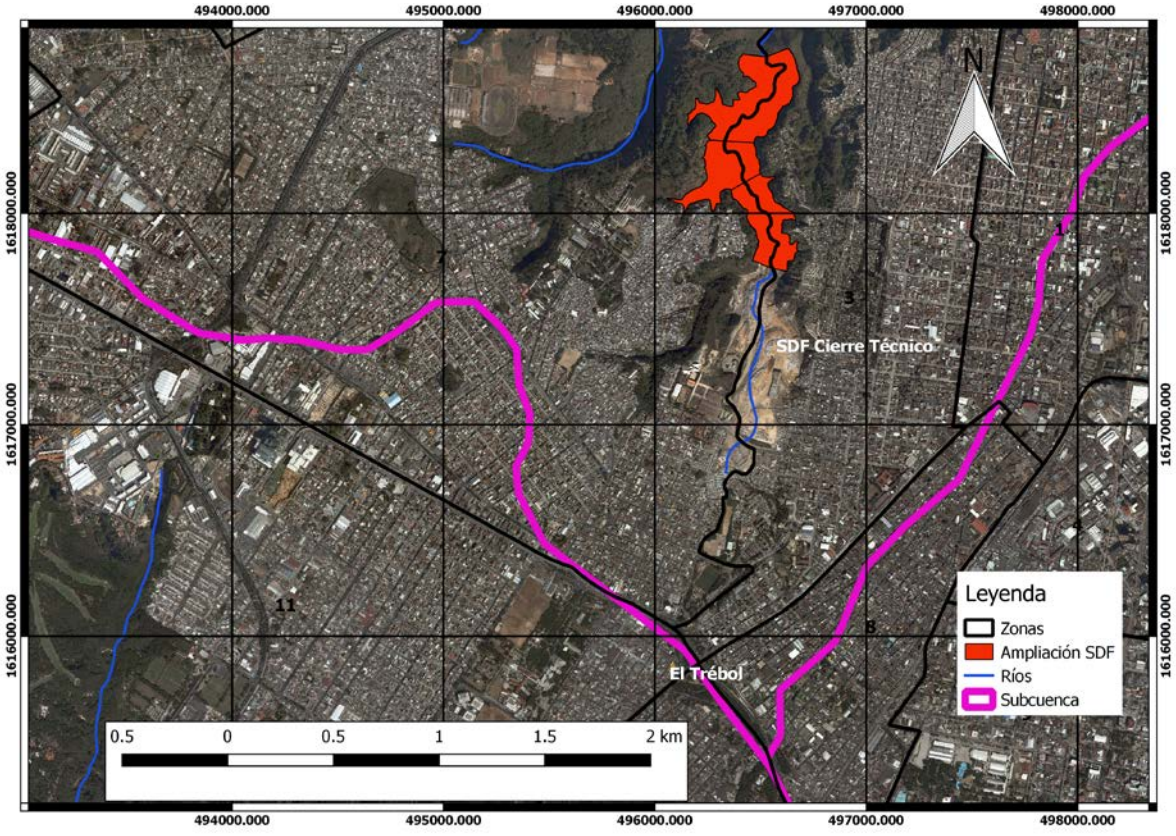


Figura No. 37 Sitio de Disposición Final (Fuente: Elaboración propia).

La cuenca se extiende hacia el Norte hasta la confluencia con el río Naranjo, tributarios ambos de la subcuenca del río Las Vacas. El río Las Vacas se junta con el río Plátanos y desemboca finalmente en el río Motagua. El efecto del SDF y otros vertederos

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

clandestinos, no solo en la subcuenca de Las Vacas, sino del propio río Motagua. Los desechos sólidos, principalmente residuos plásticos, son arrastrados hasta la desembocadura del río Motagua y en el Mar Caribe que contaminan gravemente los recursos hídricos, así como las playas y bahías de Honduras. Esto está ocasionando un grave incidente internacional entre Honduras y Guatemala. El recorrido desde el SDF hasta el río Motagua se muestra en la Figura No. 38.

.

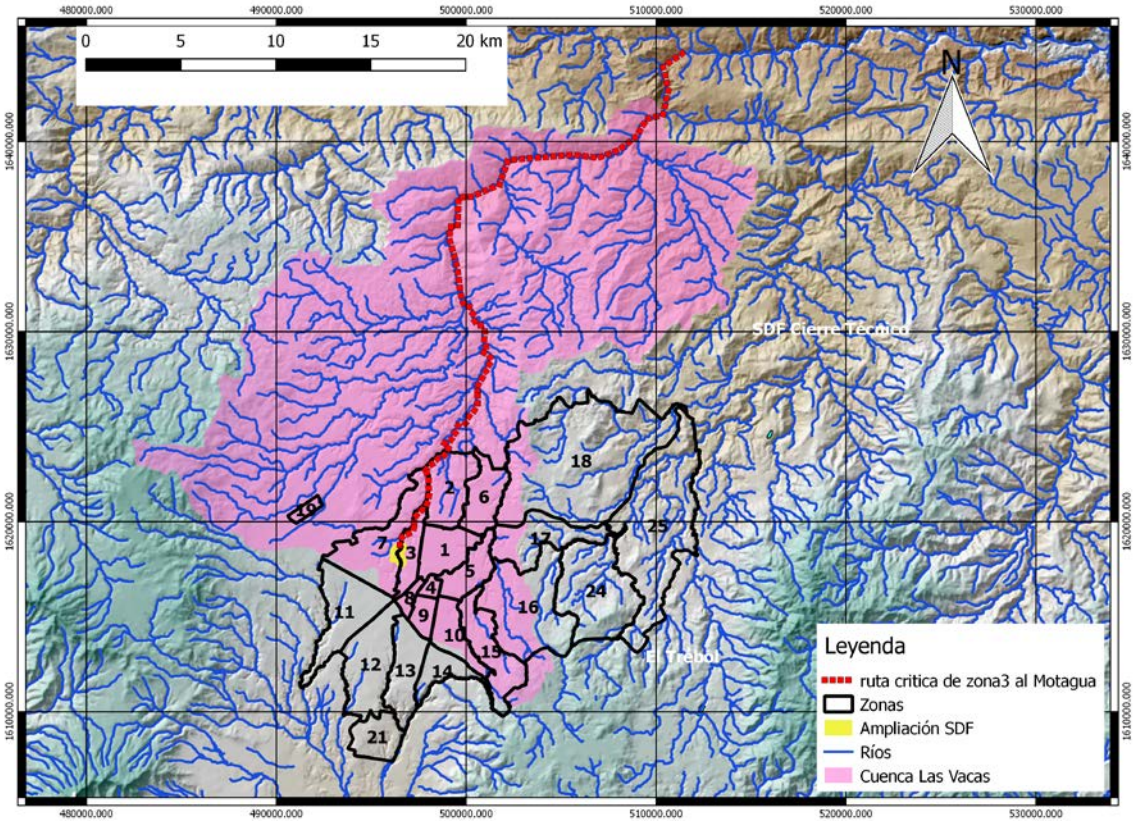


Figura No. 38 Ruta crítica desde el SDF zona 3 al Motagua (Fuente: Elaboración propia).

Los terrenos originales donde se inició y expandió el relleno son privados y abarcan un área de más 250,000 m^2. Es importante mencionar que los números de los volúmenes que se presentan son estimaciones basadas en hojas cartográficas y en los niveles posteriores del relleno. Según un estudio realizado en 1999 (Parsons Infrastructure & Technology, 1999) se había llenado un área aproximada de 1 km de longitud desde la

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

cabecera de la cuenca del río La Barranca, en los alrededores del Trébol, desde que se inició el uso del sitio en 1952 a una tasa de 50 metros de profundidad por año.

Durante el huracán Mitch (1998) se produjo un deslizamiento que desplazó más de1 millón de metros cúbicos de desechos sólidos, de los cuales unos 700,000 m^3 se depositaron en la parte norte de la cuenca (Parsons Infrastructure & Technology, 1999). Según el mismo estudio citado anteriormente se estima que entre 1966 y 1999 se depositaron aproximadamente 5,650,000 toneladas de desechos sólidos y solo para el año 2000 había un estimado de 355 toneladas.

Las metodologías de cálculo de los diferentes estudios, así como las estimaciones de las proyecciones no solo de población sino de residuos y desechos sólidos generados son muy variables. Por ejemplo, el estudio desarrollado por Ingeniería y Dirección de Obras y Montaje (IDOM) en consorcio con CIC Geomática y Ecoforest (IDOM, 2008), financiado por el BID, asume algunos factores de compactación (0.70 Kg/m^3) y de producción de desechos diferente al estudio realizado por la cooperación japonesa en la última década del siglo pasado (0.54 Kg/m^3) (JICA, 1991), pero las estimaciones del IDOM partieron del último valor generado por JICA. El estudio de energía (Parsons Infrastructure & Technology, 1999) hace un análisis histórico de los volúmenes de almacenamiento en el sitio y se basó más en las alturas alcanzadas con respecto a la topografía original del terreno.

Por las mismas incertidumbres en las estimaciones, que también se ven afectadas por los deslizamientos y derrumbes, la Municipalidad instaló un sistema de medición de desechos sólidos que ingresa al sitio, que está operando al 100% desde junio del 2020 y que permite una certeza en los volúmenes de desechos que se reciben.

Las últimas estimaciones de la Municipalidad están basadas en los anteriores datos y ajustados con lo observado en campo. El Cuadro No. 15 resume en forma muy general el desarrollo del sitio con respecto a los volúmenes.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 15 Volúmenes estimados de desechos sólidos depositados en SDF zona 3 elaboración propia basado en (IDOM, 2008) & (Parsons Infrastructure & Technology, 1999))

Basado en diversas fuentes								
Año	Desechos Sólidos					Desechos Construcción		Total, Ton
	Toneladas	Toneladas Ajustadas *	Toneladas Acumuladas	m3	Ton/día	Ton	M3	
1966	83,693	39,076	1,496,700	3,326,000	267	24,042	14,142	63,118
1970	96,323	44,973			308	26,518	15,599	71,491
1975	114,824	53,611			367	45,002	26,472	98,613
1980	136,877	63,908			437	67,890	39,935	131,798
1985	220,225	103,663			704	104,518	61,481	208,181
1990	233,132	108,849	1,247,860	2,604,350	745	133,400	78,471	242,249
1995	301,398	140,723			963	150,931	88,783	291,654
2000	355,423	165,947	838,626	1,863,613	1,136	170,765	100,450	336,712
2001	367,344	171,508			1,174	174,578	102,693	346,086
2002	379,641	177,255			1,213	179,410	105,535	356,665
2003	392,360	183,193			1,254	183,894	108,173	367,087
2004	405,502	189,329			1,296	188,491	110,877	377,820
2005	405,492	188,149	2,016,209	4,480,464	1,296	No se continuó midiendo, los desechos de construcción fueron usados para cubrir los desechos		188,149
2012	836,015	387,911			2,672			387,911
2015	903,631	421,906	1,700,483	3,778,850	2,887			421,906
2019	917,403	428,336			2,931			428,336
2020	Inicia Medición Sistemática a partir de mediados del 2020 con básculas, después de un periodo de prueba interrumpido por la pandemia, se tienen datos a mediados de 2021							
2021	565,529	N/A	1,957,454	4,349,899	2,271	Se siguen recibiendo desechos de construcción, pero no pasan por la báscula		565,529
2022	620,478	N/A			2,368			620,478
2023	771,447	N/A			2,481			771,447

* Toneladas ajustadas en un factor de 46.4 % según Parsons por humedad de los desechos

Fuentes: hasta 2004 proviene del Estudio de Energía de 1999 de Parsons Infrastructure Technology 1999; de 2005 a 2012 de las proyecciones de IDOM basadas en JICA, de 2015 a 2019 son estimaciones de la Municipalidad de Guatemala, 2021 a 2023 son datos de la báscula del Sitio

El sitio actual no acepta desechos tóxicos o peligrosos, ni tampoco desechos líquidos. El sistema del tren de aseo y recolección es un sistema que viene funcionando desde el siglo pasado, a través de recolectores privados que cuentan con un permiso de circulación y les cobran directamente a los vecinos, el cobro es por el transporte de sus desechos al sitio de disposición. Los desechos que llegan al Sitio de Disposición Final (SDF) se caracterizan conforme a la gráfica en la Figura No. 39.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

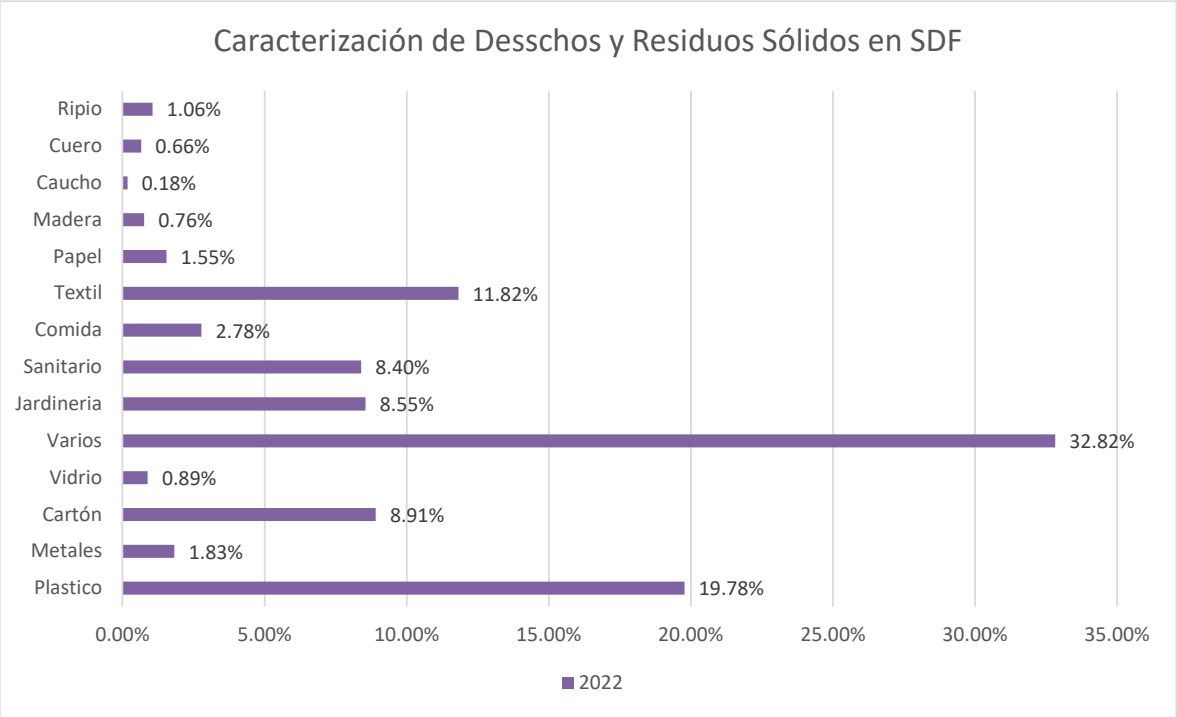
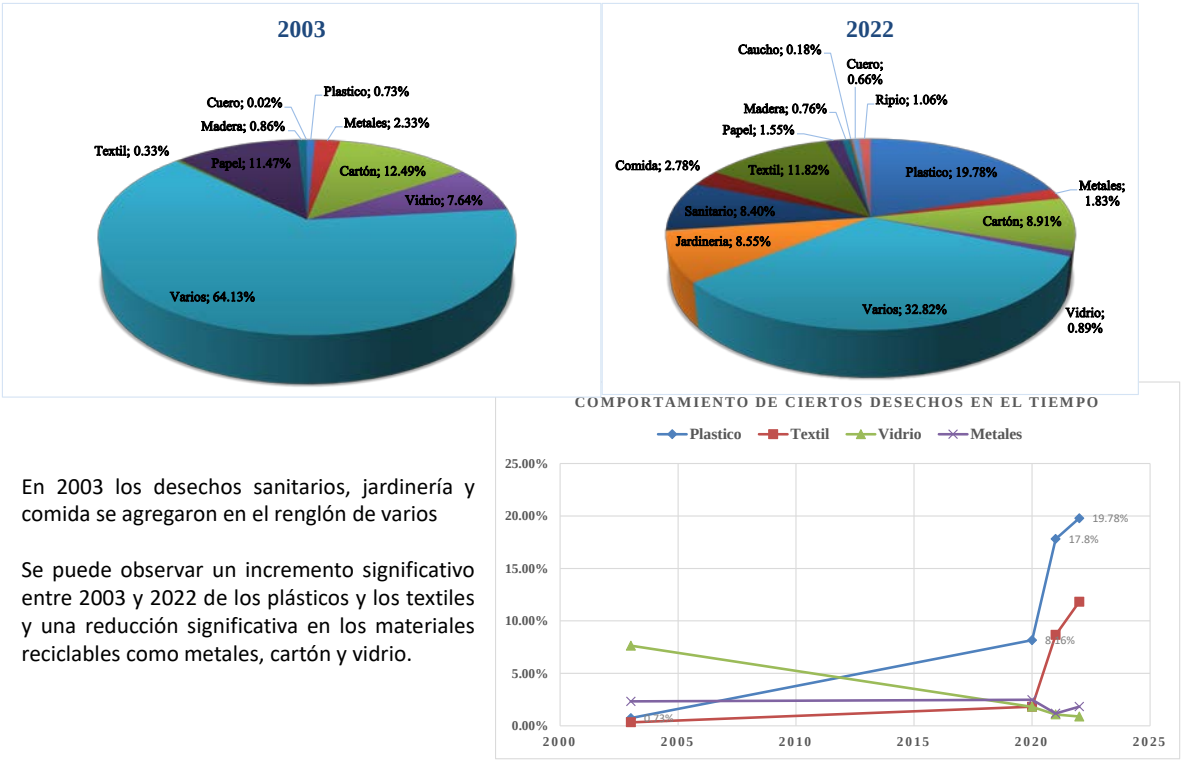


Figura No. 39 Caracterización desechos sólidos en SDF zona 3 elaboración propia basada en (Carranza, 2022)

La categoría de varios incluye materiales no reciclables (PET, cartón, poliestireno expandido, etc.) que, por su estado de humedad, suciedad, o tipo no pueden ser reciclables. En el tiempo, ha habido un cambio significativo en los hábitos de consumo de los usuarios del SDF de la zona 3. Este cambio se refleja en la contaminación del río Motagua y de las playas del Caribe, especialmente en Honduras. Haciendo un análisis de diferentes caracterizaciones a lo largo de los años se puede observar un incremento considerable en los residuos y desechos plásticos. que pasaron de un porcentaje de menos del 1% en 2003 a 19.8% en 2022, también los textiles pasaron de menos de 1% a casi 12%. Mientras que carón vidrio y metales se redujeron considerablemente, como se puede observar en la Figura No. 40.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cambios entre 2003 y 2022 del tipo de residuos y desechos sólidos



En 2003 los desechos sanitarios, jardinería y comida se agregaron en el renglón de varios

Se puede observar un incremento significativo entre 2003 y 2022 de los plásticos y los textiles y una reducción significativa en los materiales reciclables como metales, cartón y vidrio.

Figura No. 40 Cambio en la caracterización de desechos sólidos en el tiempo (Fuente: Elaboración propia).

Desde 2017 se creó la Dirección de Gestión y Manejo de Residuos y Desechos Sólidos (DGMRDS) de la Municipalidad de Guatemala para administrar el sitio y cumplir con las normas ambientales y de salud.

5.3.1 Infraestructura

Como el SDF inicio hace más de 60 años el sitio no cuenta con ninguna infraestructura de impermeabilización o drenaje de lixiviados. Actualmente las condiciones son las siguientes:

Ante la falta de otro sitio de disposición de los desechos sólidos, se preparó un proyecto para ampliar el sitio, hacia el Norte, en la misma quebrada La Barranca. Esta ampliación asegura una vida útil adicional de 10 a 12 años, si los volúmenes de desechos sólidos se mantienen. Durante este tiempo se procede a buscar otro sitio, el que deberá ser diseñando para el uso con metodologías más eficientes en el manejo de los residuos.

USC DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

La Figura No. 41 Muestra un detalle del sitio con respecto al municipio y su ubicación entre las zonas 3 y 7 y un detalle de la futura ampliación.

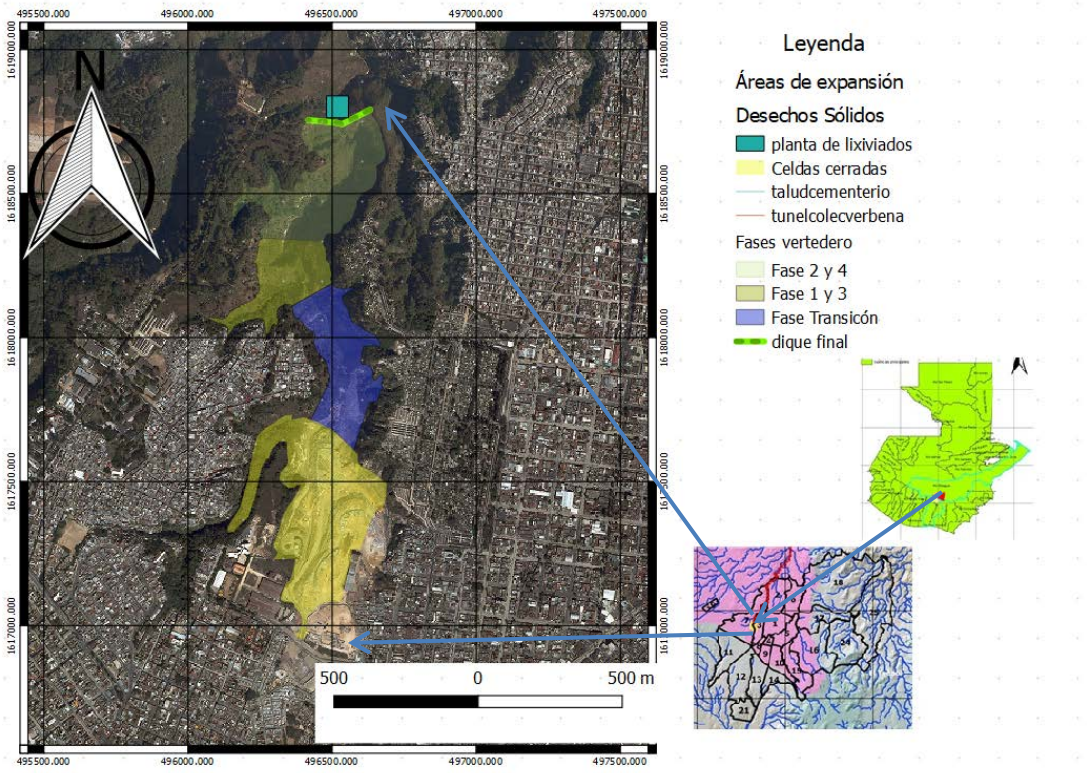


Figura No. 41 Ubicación Sitio Disposición Final de Desechos Sólidos elaboración propia basada en información DGMRDS.

Para continuar con la operación se elaboró un diagnóstico ambiental para el manejo del sitio el cual fue aprobado por las autoridades ambientales en 2020, que contempla la operación actual, el diseño de obras adicionales como colectores, diques y muros de contención, así como el diseño e impermeabilización de las nuevas celdas. Paralelamente existe un proceso de cierre técnico definitivo de 4 celdas, que ya cuenta con sus respectivas licencias ambientales.

Entre las medidas de mitigación que actualmente se ejecutan está la extracción del gas metano, por una empresa privada que constituye parte del proceso de cierre y genera 4MW de energía.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Hay dos grandes problemas a resolver a corto plazo: i) los lixiviados y su tratamiento y ii) el arrastre de los desechos por las corrientes generadas por la descarga del colector RMR y otras descargas de algunos asentamientos cercanos.

Por ello se está desarrollando todo un nuevo diseño, que incluirá una planta de tratamiento de lixiviados, la canalización de los lixiviados, chimeneas de extracción de gas, la impermeabilización y una trampa de desechos sólidos en la salida del sitio. Paralelamente mientras se construye un desvió para el colector RMR que actualmente descarga en La Barranca. El diseño se planea por fases:

i) Se planea una fase de transición, mientras se hace el diseño a detalle de la ampliación, ya que hay una presión púbica que hace necesario seguir procesando las 2,500 Ton diarias que llegan al sitio.
ii) Una primera fase es un sector impermeabilizado, con sistemas de drenaje de lixiviados y extracción de gases que llegará a la mitad de la altura disponible.
iii) Una segunda fase es el segundo sector impermeabilizado, con sistemas de drenaje de lixiviados y extracción de gases que llegara al límite de la propiedad asignada y a la mitad de la altura. Al final de esta base se construirá la planta de tratamiento de los lixiviados.
iv) La tercera fase consiste en regresar a seguir descargando desechos sobre el sector de la primera fase hasta llegar a la altura máxima de diseño.
v) La cuarta fase continuará el relleno hasta llegar la altura máxima sobre la fase 2.

El diseño preliminar prevé que, una vez alcanzada la altura máxima, se iniciará el cierre técnico de las celdas y la reforestación. Finalmente se creará un parque que unirá los dos cementerios adyacentes, creando un área verde en el centro de la ciudad.

Por otra parte, la Figura No. 42 muestra la zona de ampliación, con énfasis sobre todo las obras requeridas para dicha ampliación. De dichas obras los dos colectores ya están diseñados, uno el más grande se adjudicó a finales del 2022, el otro en búsqueda de financiamiento. La impermeabilización y el diseño de la ampliación se adjudicaron en 2023 por el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) se espera que las obras inicien en 2025 al terminar el diseño.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

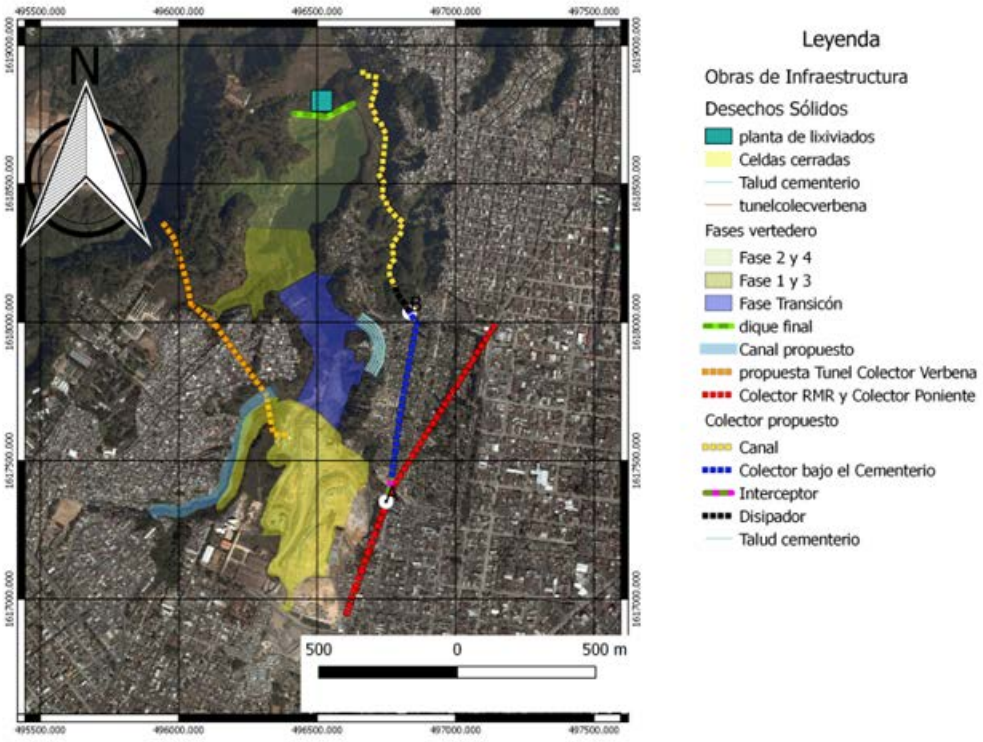


Figura No. 42 Obras de infraestructura propuestas elaboración propia con información de la DGMRDS

Sin embargo, aunque se culpa de esta contaminación, al SDF en la zona 3, los basureros clandestinos del área metropolitana, así como la generación de desechos sólidos en los otros 103 municipios (76 en Guatemala y 27 en Honduras) (Colectivo Madre Selva, 2018), ubicados en la cuenca del Motagua, generan muchos de los desperdicios que arrastra este río.

Es importante hacer énfasis, que el tema de los residuos plásticos se debe al cambio en la composición de los desechos sólidos en las últimas décadas como se mostró en la Figura No. 40.

En cualquier caso, el sitio actual permite tener cierto grado de control sobre 2500 toneladas de desechos diarios, que equivalen a llenar un estadio de futbol cada mes, que de otro modo serian depositadas en cualquier sitio y serian arrastradas eventualmente al río.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

5.3.2 Demanda y Oferta

La producción de basura doméstica la estimó la DGRMDS en base a la población de los quince municipios que utilizan el SDF, la información que se tiene de los camiones recolectores y el peso medido de cada uno. Con un sistema electrónico de pesaje que mide las toneladas que ingresan al sitio diariamente. Los camiones de miden a su ingreso y a su salida. Sin embargo, el origen exacto no se ha determinado, porque la recolección se hace con un sistema de recolectores privados, a los que solo se les da un permiso de circulación y por consiguiente no hay rutas definidas, el Cuadro No. 16 muestra la distribución por estimada por municipio. Se debe tener en cuenta que parte de esta basura es reciclada previo a la llegada al sitio, y el sistema solo toma en cuenta o que realmente ingresa al SDF.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 16 Volúmenes estimados de desechos sólidos por municipio que utilizan el SDF zona 3 basado en datos de DMGRDS

No.	Municipios	2019*	
		Ton/día	%
1	Guatemala	1285.0	51.40%
2	Mixco	494.8	19.79%
3	Chinautla	154.3	6.17%
4	Santa Catarina Pinula	121.3	4.85%
5	San José Pinula	99.3	3.97%
9	Fraijanes	87.0	3.48%
7	Palencia	60.5	2.42%
8	San Juan Sacatepequez	55.0	2.20%
10	Villa Canales	44.0	1.76%
9	Villa Nueva	33.0	1.32%
12	San Miguel Petapa	27.5	1.10%
6	San Pedro Ayampuc	13.3	0.53%
11	San Lucas Sacatepequez	11.0	0.44%
14	San Pedro Sacatepequez	8.8	0.35%
15	San Raymundo	5.5	0.22%
	Total	2500	100.00%

* Proyectado en base a la población proyectada del INE a 1 kg/hab/día para Guatemala y 0.7 kg/hab/dia para los otros municipios

Con la ampliación propuesta el sitio tendrá una vida útil de unos 10 años más, tiempo que deberá ser suficiente para encontrar un nuevo sitio que se pueda equipar con nuevas tecnologías para el tratamiento de basuras.

5.3.3 Resumen del diagnóstico de desechos sólidos

Los cambios en la operación del SDF iniciaron con la creación de la DGMRDS, para convertir el vertedero controlado que es actualmente en un relleno sanitario. En resumen, se puede indicar que:

- Falta complementar varias obras de infraestructura para lograr que el sitio opere como un Relleno Sanitario.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

- El reúso no está contabilizado y actualmente no se puede determinar.
- En los planes está contemplada la planta de lixiviados y la impermeabilización, pero será necesario buscar los recursos financieros para su implementación.
- Los lixiviados generados por los desechos sólidos depositados en el área desde la década de los 50 deberán monitorearse y buscar algunas medidas de mitigación.
- Si se cumple el desarrollo propuesto en todas las fases, la contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos se mitigará y reducirá.

5.4 PREDIAGNÓSTICO CUALITATIVO EMPLEANDO LA HERRAMIENTA DUSA

El Desarrollo Urbano Sensible al Agua surge como una iniciativa para la gestión ordenada del territorio y el agua, tanto a nivel urbano como a nivel de desarrollos urbanísticos. Los objetivos declarados de esta iniciativa incluyen: i) reducir la escorrentía a través de un urbanismo que permita recuperar al menos parcialmente la infiltración natural; ii) reducir la contaminación por el agua utilizada en el área urbana; iii) proteger la calidad de las masas de agua; iv) evitar la contaminación de las aguas pluviales, por ejemplo con aguas residuales o con aguas de zonas de tráfico (derivados de hidrocarburos y otros), para promover su uso; v) reducir el consumo de agua de suministro, ajustando las distintas calidades de agua a diferentes usos; vi) minimizar la generación de agua residual, evitando la mezcla con agua pluvial reduciendo costos de conducción y tratamiento (Suárez López y otros, 2021).

El inciso v) mencionado anteriormente es clave en la gestión integrada de aguas urbanas, pues por ejemplo para el lavado de vehículos o para uso en los sanitarios no es necesario el uso de agua de la calidad requerida para consumo humano. Por otro lado, en el ámbito urbano, donde frecuentemente las fuentes de abastecimiento dependen de la explotación de aguas subterráneas, sobre todo en escasez, el uso de fuentes alterativas y la recarga tienen mucho sentido.

El método DUSA presentado en el Curso "*Diseño Urbano Sensible al Agua*" celebrado en La Paz para el BID por parte de investigadores del GEAMA ha sido utilizado en el contexto de esta tesis doctoral para validar y ampliar la información recabada en los prediagnósticos realizados. El método utiliza una encuesta que debe ser llenada por

USC SANTIAGO DE COMPOSTELA

diferentes actores, en este caso la llenaron tres personas con conocimiento a detalle de la operación y tres personas ajenas, pero con conocimiento del recurso agua y su percepción del servicio recibido. En el anexo II se encuentra el modelo de encuesta y el resumen de los resultados.

5.4.1 Indicadores y encuesta

La encuesta se organiza en las siguientes cuatro áreas que se representan gráficamente: i) abastecimiento (ducha); ii saneamiento (sanitario); iii) Drenajes (nube) y iv) Medio natural (río). Cada una de las áreas se subdivide en seis temas (Suárez Lopez y otros, 2012).

En el abastecimiento se refiere a preguntas relacionadas con la distribución de agua y la disponibilidad, esto incluye las partes artificiales o infraestructura (redes de tuberías, acueductos conductos, tanques, depósitos; PTAP), las partes biofísicas (las fuentes y el subsistema natural); así como las personas que usan el agua y la administran para que funcione (subsistema social), que incluye los temas financieros como tarifas e inversión, así como los legales y políticos.

En el caso del saneamiento sanitario igualmente se considera la infraestructura (redes de tuberías, PTAR, las biofísicas como las características volumétricas y de calidad de las descargas y de los cuerpos de agua receptores (especialmente el efecto de los desbordes en los colectores combinados), con su respectivo componente social de disponibilidad de pago por los usuarios, tarifas e inversión y aspectos legales y políticos.

En los drenajes consideran el manejo de las aguas pluviales de las zonas urbanas con los riesgos de inundación y las complicaciones en las descargas al medio natural, para finalmente ver los efectos de los procesos antropogénicos sobre el medio natural. Los temas correspondientes a cada área se describen en el Cuadro No. 17.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 17 Áreas y temas de la Encuesta DUSA (Puertas y otros, 2018)

Área/Tema	Abastecimiento	Saneamiento	Drenajes	Medio Natural
Eficiencia	●			
Activos/Infraestructura	●	●	●	
O&M	●	●	●	
Calidad del Servicio	●	●		
Sostenibilidad Financiera	●	●	●	
Fuentes Complementarias	●			
Sostenibilidad Ambiental		●		
Desbordes		●		
Caracterización			●	
Inundaciones			●	●
TDUS			●	
Control de Vertidos				●
Control Calidad de Agua				●
Concesiones y Autorizaciones				●
Usos, Zonificación y Figuras de Protección				●
Caudales Ecológicos				●

Cada tema es evaluado con varias preguntas, donde los temas son los indicadores que permiten analizar la situación con respecto al Desarrollo Urbano Sensible al Agua. Cada pregunta se valora o pondera de acuerdo a su importancia, lo mismo que cada tema. La encuesta a detalle aparece en el Anexo II.

De acuerdo al valor que obtenga cada tema se representa con un círculo, a mejor resultado, el circulo se vuelve más grande. La Figura No. 43 muestra la representación gráfica con índices bajos y altos.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

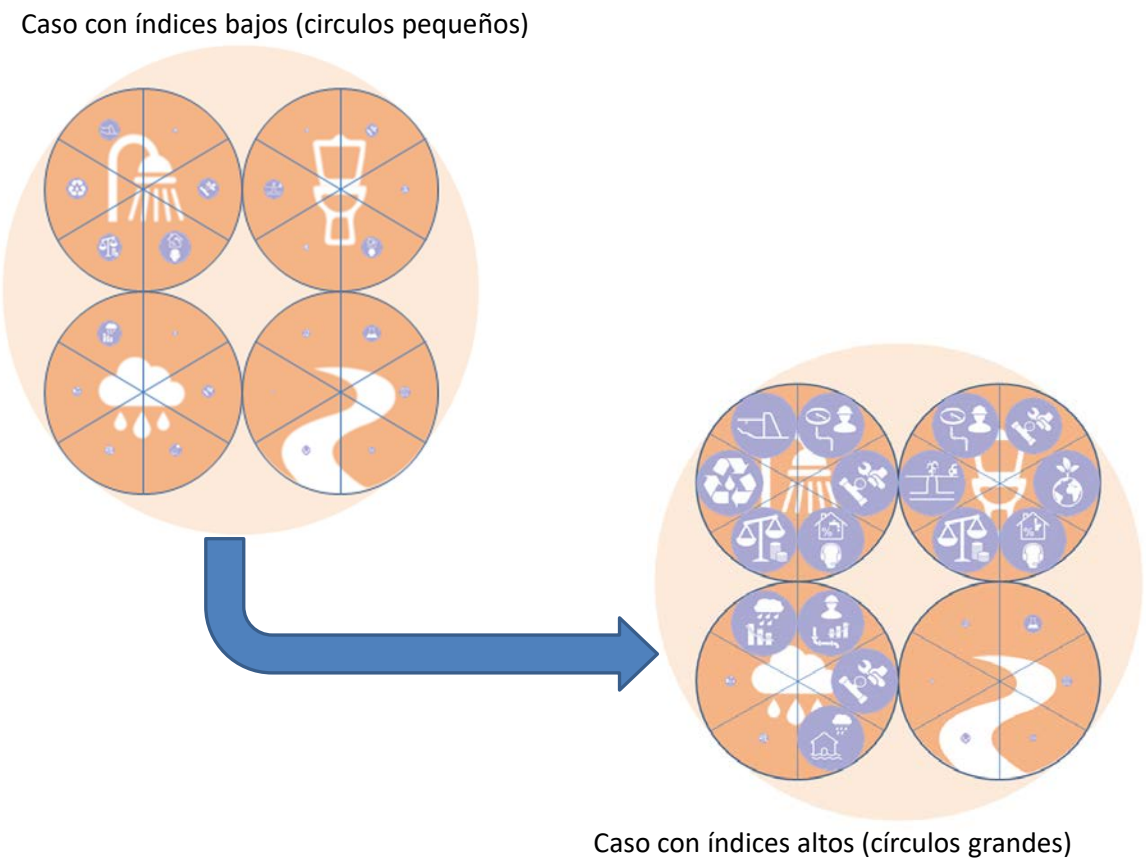


Figura No. 43 Descripción gráfica de las áreas y subtemas (Puertas y otros, 2018)

Adicionalmente se analiza el entorno o los factores que afectan todo el proceso como son el Ecosistema institucional y el Entorno urbano. El primero se representa con círculos verdes y el segundo con círculos azules. Los temas del ecosistema institucional y del sistema urbano se muestran en el Cuadro No. 18

La representación en forma gráfica se muestra en la Figura No. 44, aquí el valor del indicador se muestra en una circunferencia (roja o negra) que va abarcando todo el círculo del subtema conforme a su valor, a mayor valor su diámetro es mayor.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 18 Áreas y temas de la Encuesta DUSA para el entorno (Puertas y otros, 2018)

Área/Tema	Ecosistema Institucional y Social	Sistema Urbano
Participación Social	X	
Marco Jurídico	X	
Marco Ambiental	X	
Capacidad y limitaciones Técnicas	X	
Factibilidad Económica	X	
Robustez Institucional	X	
Salud Publica		X
Energía		X
Residuos sólidos y Reúso		X
Parques y Jardines		X
Transporte		X
Planificación y Diseño Urbano		X

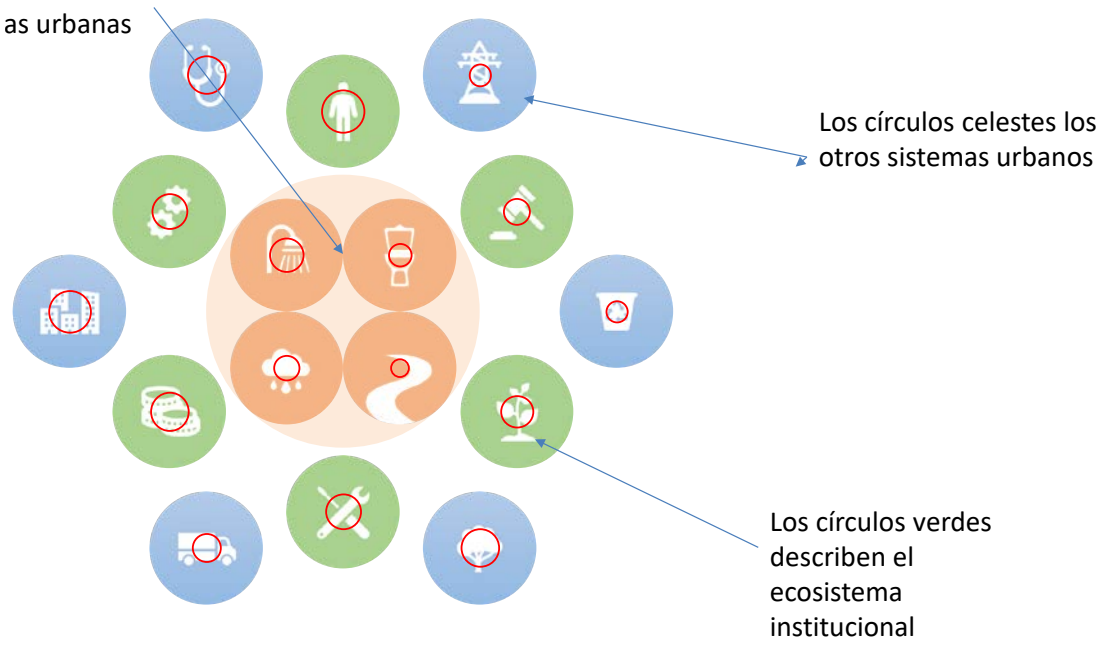


Figura No. 44 Descripción gráfica de las áreas y subtemas del entorno (Puertas y otros, 2018).

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

5.4.2 Aplicación informática

Existía una hoja electrónica para hacer las gráficas conforme a los resultados. Sin embargo, no incluía el ingreso de las encuestas, por lo que era necesario ingresarlas manualmente. Por ello la hoja electrónica fue modificada y se incluyeron los siguientes aspectos:

- Se incluyó una pestaña (Encuestas) donde se colocó la estructura de la encuesta y se dejó el campo para llenarlas. Actualmente permite el ingreso de hasta 154 encuestas. De esta manera. se pueden ingresar las encuestas y permite trasladar automáticamente los datos para su procesamiento. Las encuestas se presentan en el mismo formato que el formato original que llenan los encuestados, lo que facilita el ingreso de los datos. Si alguno de los entrevistados, deja una pregunta en blanco porque considera que no tiene suficiente información o conocimiento para responderla, mantiene el campo en blanco y no se utiliza para calcular el promedio.
- En la pestaña formulario, que originalmente se llenaba con los datos tabulados a mano de la encuesta, se modificó para que importara los datos directamente de la pestaña encuestas. En esta pestaña sigue la opción para modificar la ponderación de cada pregunta, de acuerdo a la metodología DUSA. Aquí se agregaron además dos cuadros donde resumen los resultados en forma numérica para incluir en los reportes.
- En la pestaña gráfico se introdujeron teclas de control para facilitar el uso de las macros.
- Finalmente se agregó una pestaña (Proceso) donde se explica en forma simple el proceso de uso de la hoja electrónica. Una vista de esta pestaña se muestra en las Figura No. 45 y 46.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

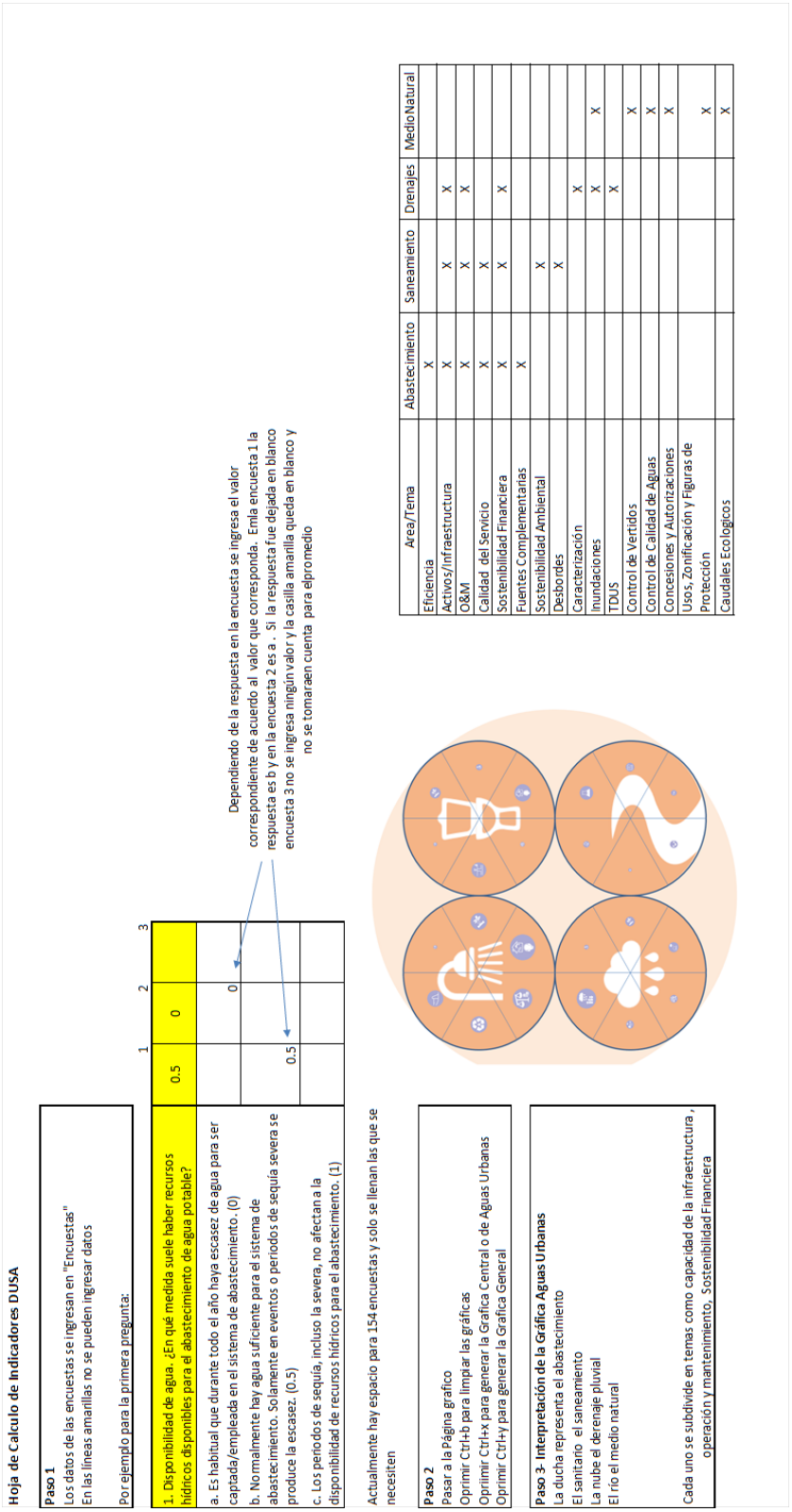


Figura No. 45 Pantalla de instrucciones del proceso 1/2 (Fuente: Elaboración propia).

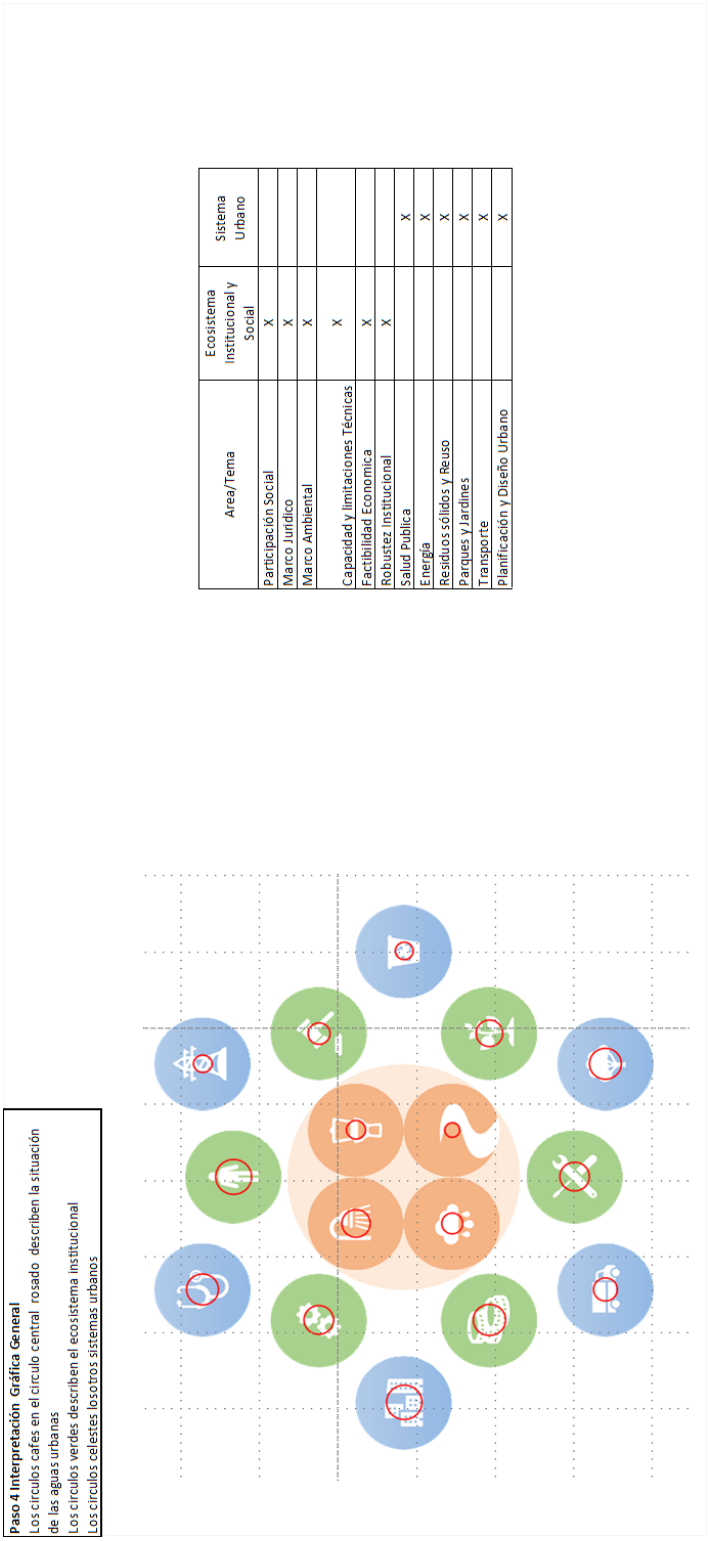


Figura No. 46 Pantalla de instrucciones del proceso 2/2 (Fuente: Elaboración propia).

5.4.3 Encuesta local y análisis de resultados

Como ya se mencionó, para el análisis, la encuesta se realizó con seis personas, tres con todo el conocimiento de los procesos de EMPAGUA y tres externos con conocimiento de recursos hídricos y con algún conocimiento del funcionamiento de EMPAGUA. Los índices no se modificaron y a todos los elementos se les dio la misma importancia. Los resultados de la encuesta se presentan en forma numérica en los Cuadro No. 19 y 20. Los colores celestes indican valores de 30% o más, los verdes entre 10 y 30 % y el color rosado menor al 10%.

Cuadro No. 19 Resultados de Áreas y temas de la Encuesta DUSA (Fuente: Elaboración propia).

Área/Tema	Abaste-cimiento	Saneamiento	Drenajes	Medio Natural
Eficiencia	32.3%			
Activos/Infraestructura	8.0%	8.0%	10.0%	
O&M	33.3%	21.6%	19.2%	
Calidad del Servicio	50.6%	33.3%		
Sostenibilidad Financiera	39.6%	9.7%	15.3%	
Fuentes Complementarias	32.7%			
Sostenibilidad Ambiental		13.0%		
Desbordes		30.0%		
Caracterización			39.5%	
Inundaciones			20.0%	15.2%
TDUS			16.0%	
Control de Vertidos				13.1%
Control Calidad de Agua				27.6%
Concesiones y Autorizaciones				17.1%
Usos, Zonificación y Figuras de Protección				11.5%
Caudales Ecológicos				6.7%
Global	32.7%	19.3%	20.0%	15.2%

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 20 Resultados de áreas y temas Encuesta DUSA para el entorno (Fuente: Elaboración propia).

Área/Tema	Ecosistema Institucional y Social	Sistema Urbano
Participación Social	33.0%	
Marco Jurídico	22.6%	
Marco Ambiental	30.2%	
Capacidad y Limitaciones Técnicas	32.7%	
Factibilidad Económica	31.1%	
Robustez Institucional	32.1%	
Salud Pública		28.6%
Energía		22.8%
Residuos Sólidos y Reúso		23.2%
Parques y Jardines		36.7%
Transporte		22.0%
Planificación y Diseño Urbano		39.0%

A continuación se muestran en forma gráfica los resultados específicos de las encuestas en las Figura No. 47 y 48. Al analizar, tanto los cuadros como los gráficos, en el esquema central de los servicios se observa que la infraestructura tanto en agua como en saneamiento y drenajes presentan serias deficiencias ya que se encuentran con valores inferiores al 10%, sin embargo, es obvio que el mayor esfuerzo se enfoca en el abastecimiento, más que en los otros aspectos, En el caso del entorno todas las variables anda alrededor del 30% lo que indica que el entorno, si bien no es del todo favorable, sí permite un rango de acción.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

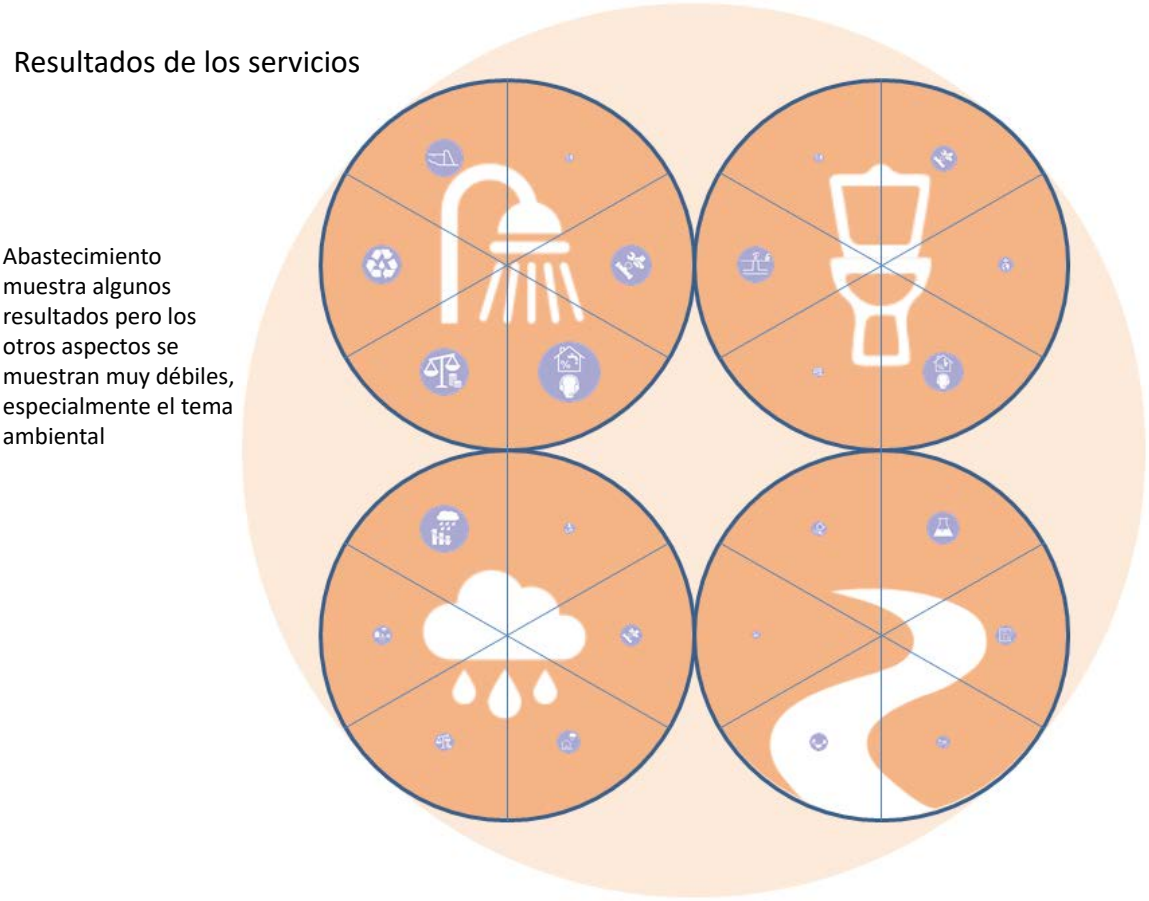


Figura No. 47 Resultados gráfico del servicio (Fuente: Elaboración propia).

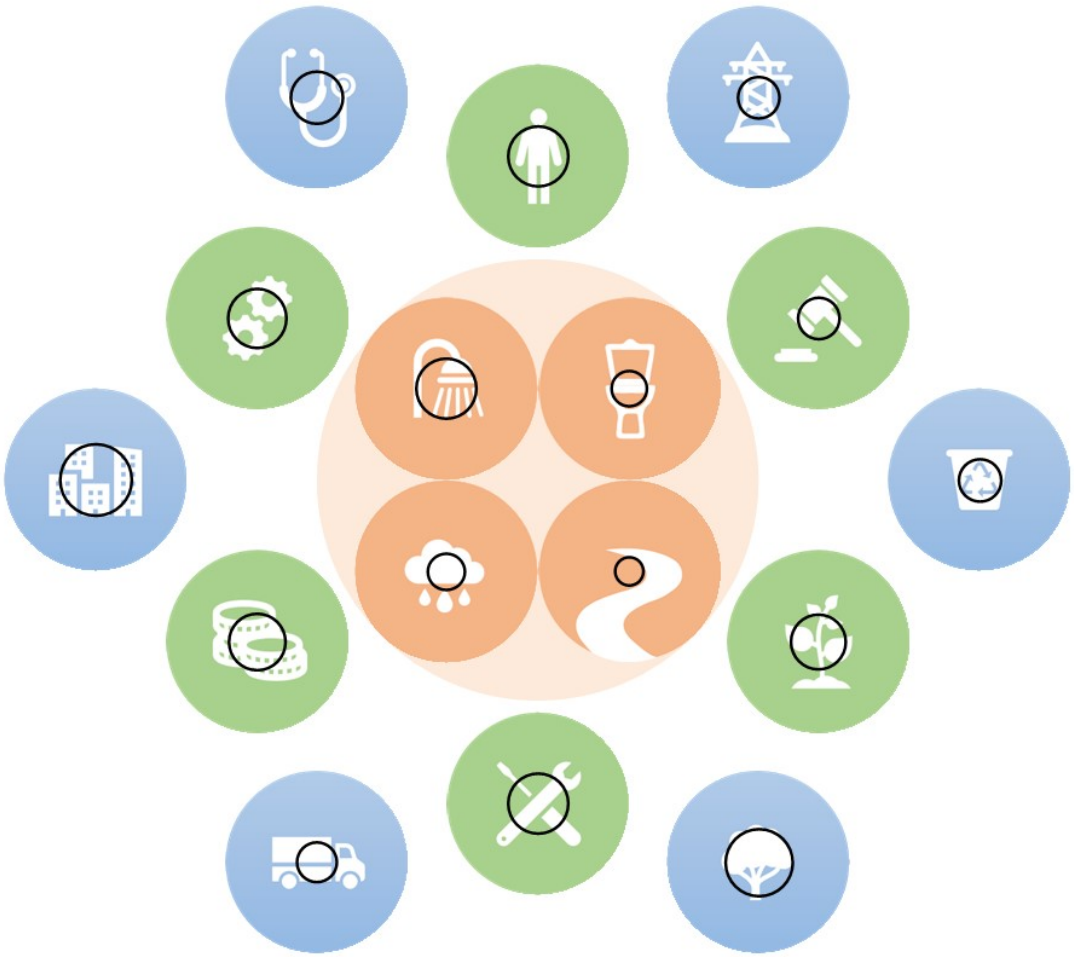


Figura No. 48 Resultados gráfico del entorno (Fuente: Elaboración propia).

Los resultados de la encuesta indican una infraestructura deficiente, lo que coincide con los resultados de los prediagnósticos en agua, saneamiento y drenajes reforzando esta situación. También se corrobora la deficiencia en las tarifas pues, en sostenibilidad financiera, en el aspecto agua es menos del 40% y menos porcentaje aún para saneamiento y drenajes. La misma relación se observa en operación y mantenimiento, donde se refleja una concentración de los recursos de O&M en agua, reduciéndose en saneamiento y drenajes. En la sostenibilidad ambiental, refleja el bajo nivel de tratamiento de aguas residuales, que también se ve reflejado en los bajos niveles de control de vertidos y calidad del agua. Otro punto relevante es la limitada información

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

hidrometeorológica de la región metropolitana. La participación poco proactiva de la academia en la resolución de los problemas resalta como un aspecto interesante.

Las inundaciones, los caudales ecológicos, los desbordes y las deficiencias en legislación y regulación no se habían visto reflejados en forma importante en los prediagnósticos. La relación con los ecosistemas, social, institucional y urbano, es un enfoque que se pierde en los prediagnósticos al tener enfoques más particulares, y que esta herramienta facilita su integración.

Desafortunadamente solo respondió un grupo pequeño de los encuestados (6), sin embargo, es un aporte valioso, ya que permite ver la percepción de los encuestados, desde diferentes puntos de vista (dentro del sistema del servicio, desde lo privado, desde los usuarios), y respondiendo al menos cualitativamente algunos aspectos donde no se cuenta con datos e información cuantitativa detallada. Es importante indicar que todos los entrevistados coincidieron al 100% en varios temas: i) la poca disponibilidad del recurso hídrico para abastecimiento; ii) que la infraestructura tiene más de 30 años; iii) la poca capacidad de tratamiento de aguas residuales; iv) que los recursos de tarifas son insuficientes para el mantenimiento, operación e inversión en todos los tipos de infraestructura; v)la falta de control de la calidad de los efluentes y lodos de las plantas de tratamiento; vi) el poco manejo de las aguas pluviales para tratamiento y su tratamiento posterior y en general que el control de vertidos es prácticamente nulo; vii) el tema de control de inundaciones y caudales ecológicos es muy bajo, pero esto está en relación con el tema legal, no se hace porque no está normado; viii) la falta de una ley general de aguas que afecta directamente varios temas del aspecto legal como concesiones y permisos; ix) que la academia tiene capacidad técnica pero no participan en los avances tecnológicos. Si bien es cierto que hay bastante coincidencia en otros temas, aquí se listaron únicamente aquellos en que todos los encuestados expresaron unánimemente la misma respuesta. En términos generales el diagnóstico DUSA confirma y refuerza las conclusiones previas de agua potable, saneamiento y drenajes.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

5.5 RESUMEN DE LOS PREDIAGNÓSTICOS

En forma concisa se describe los principales resultados de los prediagnósticos:

- En agua la demanda se incrementa rápidamente y la disponibilidad actual no podrá atenderla a corto plazo. Mientras los proyectos propuestos para hacer trasvase son inviables y los recursos financieros son insuficientes, tanto para operación y mantenimiento como para inversión en nuevos proyectos y la búsqueda de nuevas fuentes. A largo plazo la explotación del acuífero es insostenible. La capacidad de las redes, de las plantas de tratamiento de agua potable está cada día más limitada por la obsolescencia de las mismas y la falta de inversión. Las fugas en la red son de aproximadamente 40%. El sistema tarifario deficitario impide un desarrollo de nuevas inversiones y mantenimientos preventivos.
- Los sistemas de drenaje son antiguos y su diseño se ve sobrepasado por el incremento de caudales debidos al crecimiento urbano y al cambio climático. Los resultados obtenidos de la caracterización de las descargas muestran un caudal mucho mayor que el del agua producida. Esta incertidumbre puede deberse a varios factores como la producción privada de pozos no controlados, una gran cantidad de descargas ilícitas provenientes de la industria o de otros municipios y las descargas combinadas. En general el tratamiento equivale únicamente al 18% de las aguas residuales producidas, agravado por que la mayoría de los colectores (55%) son combinados dificultando el tratamiento. Previo al SIG preliminar la información estaba centralizada en personas y no había un acceso fácil a la misma, en este momento el acceso a información como las descargas es más rápido. La supervisión, el mantenimiento y su operación no tiene recursos suficientes y la recaudación de la tarifa no cubre ni siquiera los costos de operación. El monitoreo, supervisión y seguimiento de los sistemas de drenaje y la información de los mismos es todavía muy limitada.
- El manejo de desechos sólidos requiere complementar varias obras de infraestructura para lograr que el sitio opere como un Relleno Sanitario. El reúso no está contabilizado y actualmente no se puede determinar. En los planes está contemplada la planta de lixiviados y la impermeabilización, pero será necesario buscar los recursos financieros para su implementación. Los lixiviados generados

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

por los desechos sólidos depositados en el área desde la década de los 50 deberán monitorearse y buscar algunas medidas de mitigación

- El diagnóstico con la metodología DUSA permite ver la percepción de los encuestados, desde diferentes puntos de vista (dentro del sistema del servicio, desde lo privado, desde los usuarios), y respondiendo al menos cualitativamente algunos aspectos donde no se cuenta con datos e información cuantitativa detallada. Pero quizá lo más importante es que si bien es cierto en términos generales el diagnóstico DUSA confirma y refuerza las conclusiones previas de agua potable, saneamiento y drenajes; también presenta una interrelación que va más allá de los servicios de agua, como es el entorno, el servicio al usuario, los aspectos legales, la energía, el transporte y la planificación urbana. Esto permite interrelacionar los temas para encontrar los vacíos y definir las acciones a realizar.

La importancia del prediagnóstico en el proceso de desarrollar un plan, es un paso indispensable para identificar las limitaciones y oportunidades que existen. Aspectos que deben mejorarse o implementarse como el servicio al usuario y el tiempo de respuesta a los incidentes que los usuarios presenten, las deficiencias detectadas en infraestructura, las debilidades institucionales y la falta de instrumentos legales, así como las variables del entorno, tanto económicas (tarifas subsidiadas) como sociales (disponibilidad de pago y cultura del agua) son elementos indispensables para el desarrollo del GIAU.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

6 FASE III: GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA URBANA (GIAU)

En los primeros incisos 6.1 y 6.2 se hace una pequeña introducción de la visión general y como se realiza la integración de la gestión de agua urbana. Luego se desarrollan los distintos escenarios de referencia para la GIAU, para a continuación en el capítulo 7 abordar el plan específico para el municipio de Guatemala.

6.1 VISIÓN GENERAL

Hacer el cambio de un paradigma de gestión del agua de un punto donde se trabajan los elementos del agua por separado a otro donde se trabaja en forma integral no es fácil. La GIAU tiene una visión holística donde se toma en cuenta no solo los diferentes elementos de infraestructura del manejo del agua en la zona urbana, sino también la institucionalidad y enfoques e instrumentos de participación (BANCO MUNDIAL, 2012). Es importante también considerar que la GIAU es un proceso continuo, es decir que debe irse ajustando en el tiempo en forma iterativa, ajustándose a las situaciones específicas de cada ciudad resolviendo los retos de hoy, pero sin perder la vista del futuro.

Para dar ese cambio es necesario reconocer que la situación actual esta segmentada y que en una primera fase se deben determinar esos puntos de integración para desarrollarlos y lograr ciudades con diseños sensibles al agua.

La situación actual y que, en el caso específico del municipio de Guatemala, se describió en el prediagnóstico se puede resumir en la Figura No. 49, donde a pesar de la falta de manejo integrado del agua se pueden observar que los efectos como las descargas de agua negras afectan directamente a todo el sistema y que la urbanización reduce la infiltración de agua de lluvia para la recarga de acuíferos, pero al mismo tiempo contamina e incrementa los caudales superficiales causando inundaciones.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

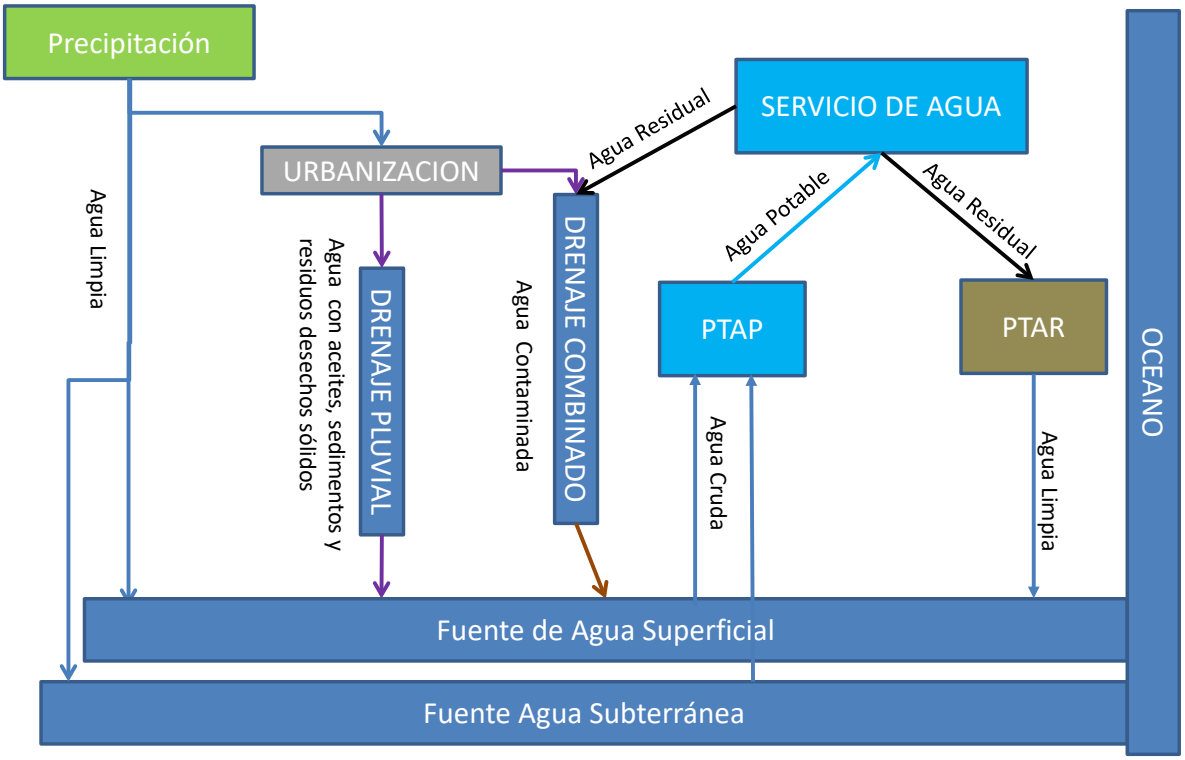


Figura No. 49 Situación sin GIAU modificado de (BANCO MUNDIAL, 2012)

Si se tratan de integrar los sistemas se pueden detectar los vacíos que permiten correlacionar los diferentes aspectos del agua. En una forma gráfica simplificada que se muestra en la Figura No. 50 se puede ver la forma de complementar estos vacíos y alcanzar una GIAU, con acciones de SBN, reúso del agua, el aprovechamiento de agua de lluvia, la desalinización (no es práctica en el caso específico de Ciudad de Guatemala pero podría ser válida en un municipio más cercano al mar), que por un lado promueven la reducción de la demanda de nuevos caudales de recurso hídrico, por otro se recargan los acuíferos y reducen las inundaciones, además que se mejora la calidad del agua en términos generales. Una gestión adecuada de los residuos y desechos sólidos reduce la contaminación especialmente en el tema de lixiviados y residuos flotantes.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

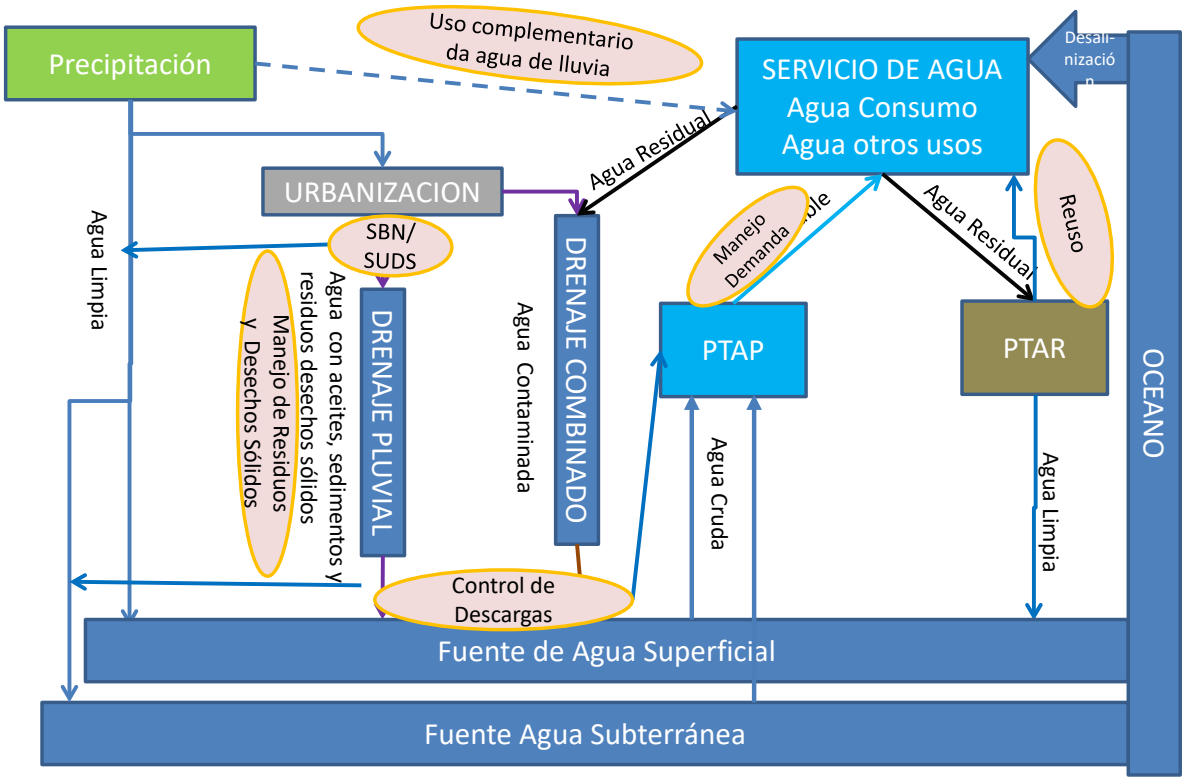


Figura No. 50 Diagrama con GIAU integrada adaptado de (BANCO MUNDIAL, 2012)

No se debe perder de vista, que también son necesarios los cambios en legislación y reglamentos, la aplicación de los planes de ordenamiento territorial y su establecimiento si no existen. La interacción entre las diferentes instituciones estatales. La educación y capacitación no solo de los ciudadanos sino de los funcionarios, donde haya una interacción para el adecuado manejo del recurso. En el caso de las áreas conurbadas los retos de coordinación entre los diferentes municipios son complicados de resolver y manejar, pero deben buscarse instancias como las mancomunidades o asociaciones de municipios. Esto es de especial importancia en los temas de agua y de desechos sólidos. El municipio de Guatemala y otras cinco municipalidades (Amatitlán. Mixco, San Miguel Petapa, Villa Canales y Villa Nueva) conforman la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur que se fundó en 2012 con el objetivo de buscar soluciones a los temas comunes que afectan a los municipios entre ellos el de agua y saneamiento.

Para el proceso de integración se utilizó la Figura No. 50 donde se identifican como complementar los diferentes aspectos e interrelacionarlos. Para cada uno de ellos se identifican las opciones existentes en términos generales para cualquier municipio. Es importante considerar diferentes escenarios y fases, los escenarios analizan condiciones

USC DE COMPOSTELA

generales, no todas ellas dependientes del municipio, para definir cuáles de las opciones especificas se deben llevar a cabo en cada uno de los escenarios.

Finalmente, específicamente para la municipalidad de Guatemala se presenta un plan, primero describiendo los diferentes escenarios, seleccionando un escenario que se considera realista bajo las condiciones actuales y que deberá ajustar conforme surjan los cambios, principalmente por situaciones externas, fuera del control del municipio, como pueden ser leyes, normativas, tasas o impuestos o incentivos a nivel nacional.

6.2 INTEGRACIÓN GENERAL

La Figura No. 50 es útil para empezar a definir hacia donde deben dirigirse las diferentes acciones para hacer la integración y lograr un plan municipal de Gestión integrada de Aguas Urbanas GIAU, En general los siguientes aspectos son los que deben considerarse para realizar la integración: i) uso complementario de agua de lluvia; ii) Soluciones Basadas en la Naturaleza o Sistemas (SBN) o Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) ; iii) manejo de residuos y desechos sólidos; iv) control de descargas, que puede incluir un direccionamiento de aguas pluviales directamente a PTAP; v) manejo de la demanda; vi) nuevas fuentes de agua; vii) tratamiento (PTAR) y reúso de aguas residuales; vii) mejoras y mantenimiento de los servicios ya existentes, incluyendo atención al cliente la integración de los sistemas y viii) aspectos legales y financieros para ejecución de los anteriores. Para ello se describe a continuación en que consiste cada uno de estos aspectos.

6.2.1 Uso complementario de agua de lluvia

El potencial de cosecha de agua de lluvia no es despreciable. Solo para ejemplificar, y para dar una magnitud del potencial del agua de lluvia, tomaremos el caso hipotético de que se pudiera almacenar toda el agua de lluvia del valle de Guatemala. La gráfica de la Figura No. 51 muestra la distribución media de la lluvia, registrada en la estación INSIVUMEH, de un periodo de 30 años del 1989 a 2018, la que sobrepasa ligeramente los 1200 mm anuales.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

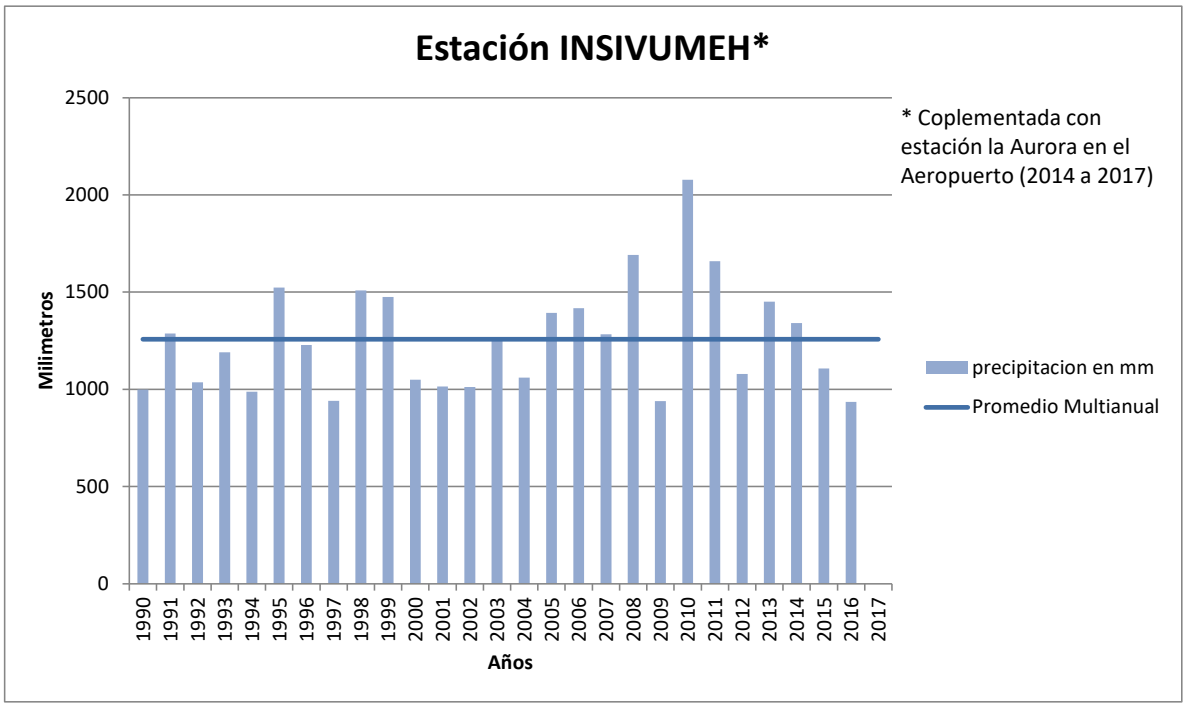


Figura No. 51 Distribución de precipitación media anual (Fuente: Elaboración propia).

Si se considera que toda el área del municipio de Guatemala que es de 215 Km^2 y se asume una tasa de impermeabilización para todo el municipio 0.40, es decir que el otro 60% se considera para tomar en cuenta las pérdidas por evaporación. Tomando en cuenta lo anterior, podemos calcular el volumen potencial de agua pluvial en 103.2 millones de m^3 usando la siguiente formula:

$$V_{potencial} = A * P * C$$

Donde:

Volumen $_{potencial}$ es el volumen potencial anual en m^3

A es el área en m^2 del municipio (215,000,000 m^2)

P es lluvia anual en m (1.2 m)

C factor de escorrentía (0.4)

Esto es equivalente a 3.27 m^3/s o 282,780 m^3/día que puede surtir a 2.2 millones de habitantes asumiendo una dotación de 125 L/Hab/día. Aunque estos números son muy atractivos como una posible solución al problema de agua urbano, en la práctica la

USC UNIVERSIDADE DE COMPOSTELA

conducción y el almacenamiento de todo este volumen no es tan fácil. Primero porque la distribución de la lluvia no es continua a lo largo del tiempo como se puede ver en la Figura No. 51 distribución anual de la lluvia en milímetros anuales (1990-2017) y en la Figura No. 52 la distribución mensual promediada para el mismo periodo de la Estación INSIVUMEH.

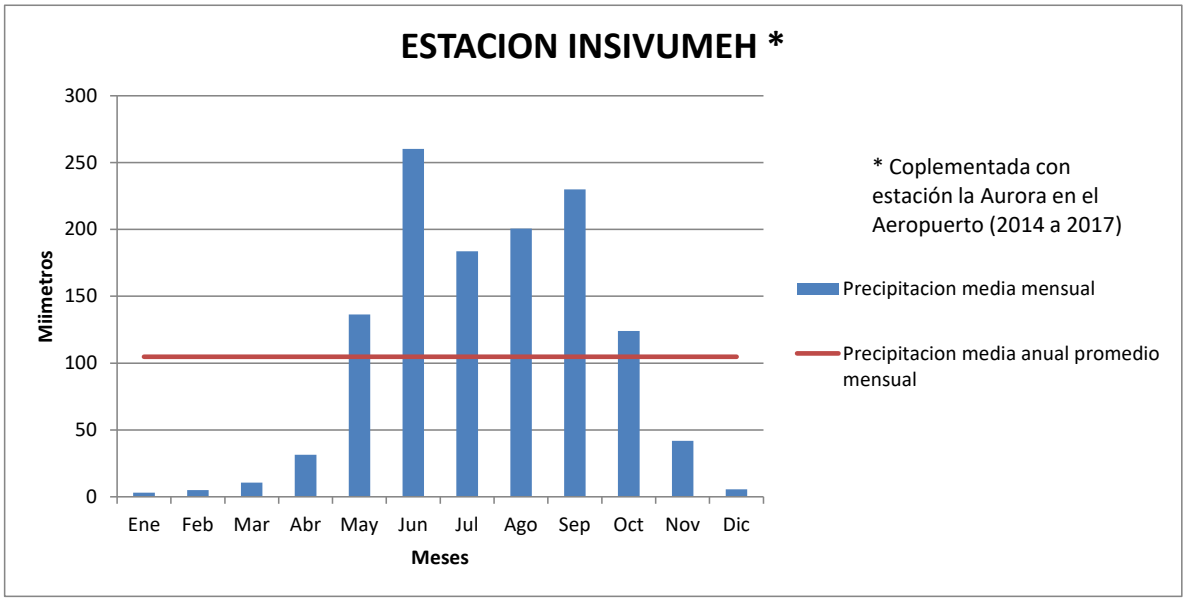


Figura No. 52 Distribución mensual de la lluvia (Fuente: Elaboración propia).

Además, el uso complementario de agua de lluvia se puede trabajar a nivel de predio, a nivel de zona o a nivel regional (Cobos y otros, 2023):

- **Nivel de predio** se debe tratar de utilizar en lo posible el agua de lluvia que se puede captar en las zonas impermeabilizadas y utilizar el agua para riego, para usos no potables del agua como limpieza o uso en los drenajes sanitarios. La dificultad más grande es el almacenamiento, no solo por el área que ocupa sino porque es el elemento más costoso en un sistema de agua de lluvia. Adicionalmente es una solución que solo resuelve parcialmente el problema pues difícilmente a nivel de predio se logra almacenar suficiente agua como para lograr

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

un suministro en todo el año, pues es muy dependiente del régimen de lluvia y del volumen de almacenamiento.

- **Nivel de zona** aquí se pueden integrar con otras opciones y permitir almacenamientos más grandes en las áreas verdes de una urbanización, y usar el agua pluvial para riego y servicios comunes.
- **Nivel regional** se considera cuando se pueden hacer reservorios de mayor magnitud y almacenar volúmenes a una escala mayor.

6.2.2 Soluciones Basadas en Naturaleza/ Sistemas Urbanos Drenaje Sostenible

En el prediagnóstico y en la encuesta DUSA las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) o los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) es algo que no se encuentra en los diseños, en la estructura de proyectos o simplemente como una opción. Aunque la encuesta DUSA solo se realizó en el municipio, se considera que la situación a nivel del país y en otros municipios será similar. Cambiar el paradigma de infraestructura gris a infraestructura verde es todo un desafío. En primer lugar, hay desconocimiento de este tipo de estructuras a nivel del país, aun a nivel de la zona metropolitana, como lo corrobora el análisis del diagnóstico DUSA, donde todo lo relacionado con el diseño de sistemas sostenibles tiene indicadores muy bajos. En segundo lugar, la forma de financiamiento y cómo llevarlos a cabo también genera muchas dudas. Es importante recordar lo que se indicaba en la Figura No.2, donde las SUDS son más aspectos técnicos al igual que las SBN, mientras que GIAU y DUSA son más conceptuales.

Muchas de las acciones directas o de infraestructura gris y verde que se pueden proponer en la GIAU incorporan gran parte de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN); entre ellas se puede mencionar los tanques de retardo, de retención, los sistemas de infiltración, las zonas de recuperación y reforestación, los humedales artificiales, techos verdes etc.; estas obras y su aplicación a diferentes niveles se muestra en el Cuadro No. 21.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 21 Escala de las intervenciones SBN modificado en base a (Cobos y otros, 2023)

Solución de infraestructura	Espacio			Escala				
	Colectivo	Privado	Público	Casa o edificio	Barrio	Ciudad	Periurbano/ suburbano	Rururbano
Caja o zanja de árbol	x	x	x		x	x	x	
Canal seco con presas de control*	x	x	x		x	x	x	x
Captación de agua*	x	x	x	x	x			
Humedales artificiales y tanques de retención	x	x	x		x	x	x	x
Espacios verdes (biorretención e infiltración)	x	x	x	x	x	x	x	x
Espacios verdes/infraestructura verde (parques públicos, privados, recreativos, jardines)	x	x	x		x	x	x	x
Pavimentos permeables*	x	x	x		x	x	x	x
Pozos de infiltración*	x	x	x	x	x	x	x	x
Reforestación	x	x	x		x	x	x	x
Restauración (incluye humedales naturales)	x	x	x			x	x	x
Protección y conservación (incluye conservación de humedales naturales)	x	x	x			x	x	x
Sistemas de reutilización*	x	x	x	x	x			
Techos verdes	x	x		x	x			
Zanjas de infiltración*	x	x	x		x	x	x	x
Zonas de amortiguación ribereñas	x	x	x			x	x	x

*Soluciones híbridas.

Sin embargo, es necesario obtener el financiamiento para estas soluciones. En un estudio realizado para el área metropolitana de Guatemala, donde se realizó un análisis técnico legal y una metodología para calcular la tasa (Cobos y otros, 2023); se sugiere establecer una tasa relacionada con el servicio de agua consumida para financiar las acciones. En ese estudio también se sugiere, en base a las experiencias de otros países, que la forma más adecuada para establecer la tasa es generar primero un plan de inversiones y en base al mismo calcular la tasa; esto permite seleccionar acciones viables dentro de los municipios. Las razones principales para hacer esto es para facilidad de monitoreo y transparencia en el uso de la tasa. Esta tasa se considera tanto para entidades privadas como públicas, ya que como se mencionó previamente en el diagnóstico, la producción de agua es también realizada por privados. Si bien el anterior es un ejercicio teórico, da los lineamientos para hacer sostenible las acciones. El mecanismo propuesto

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

en ese documento permite incluir incentivos para que a través de los nuevos proyectos de desarrollo los inversionistas apliquen estas metodologías.

A nivel de municipio el uso de pavimentos permeables, cajas de árbol o arriates para infiltración, crear áreas verdes, reforestar y proteger las zonas de recarga, así como hacer humedales artificiales para el tratamiento de aguas superficiales y la generación de zonas de biodiversidad, deben ser acciones en la planificación municipal. Es importante que los municipios incentiven con el ejemplo, así las nuevas instalaciones que construyan deben incorporar elemento como los mencionados en los incisos previos. La estrategia debe ser incluir estas medidas en los procesos de planificación.

Con respecto al financiamiento y la planificación, existe un trabajo a detalle que explica no solo como planificar el tipo de infraestructura verde que se puede aplicar, sino las estructuras tarifarias que pueden ser llevadas a cabo a nivel de Guatemala. La Figura No. 53 basada en (Cobos y otros, 2023)presenta un esquema simplificado por etapas de la planificación y el establecimiento de tarifas, tanto en el sector público como el privado.

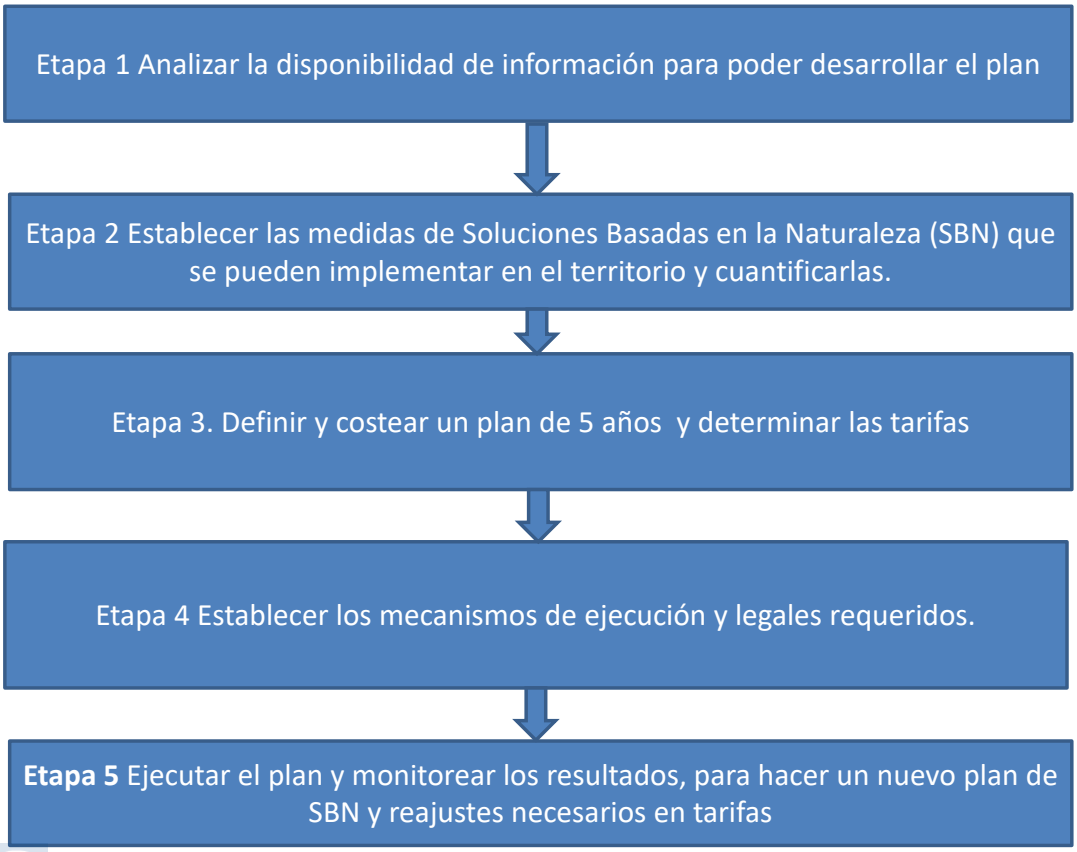


Figura No. 53 Etapas para selección de medidas verdes basada en (Cobos y otros, 2023)

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Las fases para esta panificación son: i) etapa 1 determinar si se cuenta con la información necesaria para desarrollar el proceso, en este caso el SIG es uno de los elemento clave para determinar la situación, un buen diagnóstico y una idea preliminar de la capacidad de pago de los usuarios; ii) etapa 2 desarrollo del plan de inversión de Soluciones Basadas en la naturaleza (SBN) que se pueden aplicar en el territorio, aquí el SIG es un elemento clave para determinar los espacios disponibles, las condiciones geofísicas para seleccionar las mismas y costear su implementación, sin perder de vista los objetivos que se quieran resolver dentro del plan como podría ser la seguridad hídrica, la recarga de acuíferos, etc.; iii) etapa 3 es establecer la tarifa en base a los costos de las opciones seleccionadas, la forma de ejecución del plan de inversiones, que puede ser en forma directa o a través de terceros subcontratados, y cuál sería el valor de la misma por metro cúbico o por usuario; iv) la etapa 4 será la aplicación de la tarifa con los aspectos legales y de ejecución que requiere y finalmente; v) la etapa 5 sería la ejecución del plan con un estricto plan de monitoreo. Lo más interesante de este proceso es que la tarifa se ajusta de acuerdo con los proyectos que se ejecutaran lo que permite mayor facilidad del monitoreo de las acciones y una mayor transparencia en los gastos.

6.2.3 Manejo de residuos y desechos sólidos

En general el país, y gran parte del mundo, la sociedad es consumista, con artículos de vida útil de corta duración y desechados rápidamente. El parlamento europeo define así: *"El modelo económico lineal tradicional, basado principalmente en el concepto "usar y tirar", que requiere de grandes cantidades de materiales y energía baratos y de fácil acceso. La obsolescencia programada, contra la que el Parlamento Europeo pide medidas, es también parte de este modelo."* (Parlamento Europeo, 2022). Actualmente la gestión de los residuos y desechos sólidos, no solo en el municipio de Guatemala sino en el país se hace como una economía lineal, es decir los recursos naturales se toman, se transforman y luego simplemente se descartan y se disponen en algún lugar (Figura No. 54).

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Figura No. 54 Economía linear de residuos y desechos sólidos elaboración propia basado en (Parlamento Europeo, 2022).

Es necesario cambiar el paradigma del manejo de los residuos, las nuevas tendencias mundiales son el hacer una economía circular. El reglamento para el manejo integral de residuos y desechos sólidos comunes vigente (AG 164-2021) del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) ya considera entre sus elementos, en el artículo 3, la economía circular y la define así : *"Sistemas de producción y consumos que promuevan la eficiencia en el uso de materiales, teniendo en cuenta la sostenibilidad y capacidad de recuperación de los ecosistemas, el uso circular de los flujos de materiales y la extensión de la vida útil a través de la implementación de la innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores y sectores públicos y privados, así como el impulso de modelos de negocio que responden a los fundamentos de desarrollo sustentable."*.

La economía circular se resume en la Figura No. 55, para fines prácticos, se puede definir la economía circular como el proceso que consiste en reducir los residuos al mínimo. Así cuando un producto llega al final de su vida útil, los materiales que lo constituyen se mantienen dentro de la economía, siempre que esto sea posible. En otras palabras, lo ideal es que los materiales puedan ser utilizados una y otra vez en forma productiva, creando así un valor adicional" (Parlamento Europeo, 2022).

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

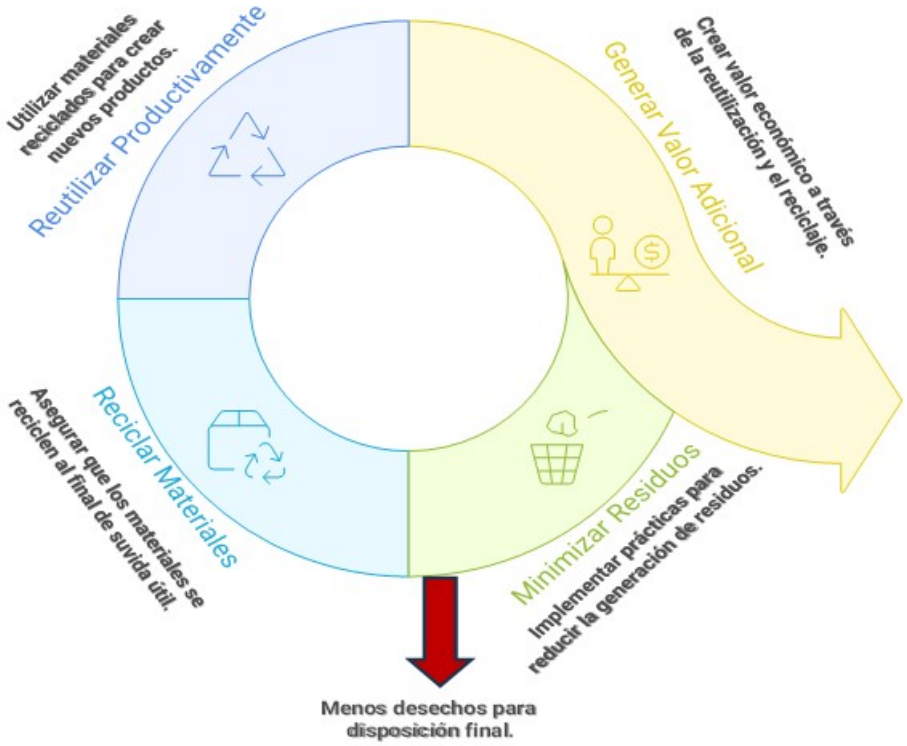


Figura No. 55 Economía Circular elaboración propia basada en (Parlamento Europeo, 2022).

Siguiendo estos conceptos es necesario resolver el problema de una forma integral. El nuevo plan de gestión de residuos y desechos deberá incluir las siguientes medidas de manejo de residuos y desechos sólidos a nivel de cada municipio en Guatemala: i) seguir las nuevas regulaciones del MARN en su reglamento (AG 164-2021); ii) hacer un control adecuado de los lixiviados, tanto con impermeabilización como con tratamiento, en los sitios de disposición final, así como monitorear adecuadamente los mismos; iii) reducir a producción de desechos sólidos a través de educación y reglamentación y iv) lograr la generación de energía con biogas, la producción de combustibles verdes u otros sub-productos como compost, aluminio, etc, para reducir el volumen de residuos y desechos a disponer en forma final. Idealmente llegar a una situación a largo plazo de lograr una producción “cero” de residuos.

6.2.4 Control de descargas

El control de descargas es un tema complejo. Aunque parece que los sistemas separativos son la solución más adecuada por una serie de ventajas, en la realidad los

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

centros históricos y partes antiguas de las ciudades solo cuentan con drenajes a través de sistemas combinados; es decir aguas pluviales y sanitarias en un mismo sistema de conducción. El manejo de este tipo de sistemas, aún en países desarrollados es complicado, por el amplio rango de caudales que se deben manejar; por ejemplo, la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos tiene una política ***Combined Sewer Overflow Control Policy*** (Política para control de los flujos excedentes de drenajes combinados) (EPA, 1994) basados en 9 puntos de control mínimos que se transcriben y traducen de dicho documento:

1. *La operación adecuada y mantenimiento periódico del sistema de drenaje y del flujo excedente combinado.*
2. *Uso máximo del almacenamiento del sistema de recolección.*
3. *Revisar y modificar los requerimientos de pretratamiento para asegurar que los impactos de los flujos excedentes son mínimos.*
4. *Maximización del flujo para tratamiento en la PTAR.*
5. *Prohibir la descarga de flujos excedentes combinados en época de estiaje.*
6. *Control de sólidos y material flotante de los flujos excedentes combinados.*
7. *Prevención de la contaminación.*
8. *Notificación pública de que el público recibe la información adecuada de la ocurrencia e impactos de los flujos excedentes combinados.*
9. *Monitoreo para caracterizar efectivamente los impactos de los flujos excedentes combinados y la eficacia de los controles.*

Un aspecto importante a resaltar es el punto cinco, pues no permite las descargas combinadas en época seca. Por otro lado en la normativa Europea los requisitos de los sistemas colectores de aguas residuales urbanas se establecen en la Directiva 91/271/CEE (Directiva TARU) en su Artículo 3, Anexo 1 (A) y en la nota (1) a pie de página del Anexo 1 (A), establece los siguiente: "*El diseño, construcción y mantenimiento de los sistemas colectores, deberá realizarse de acuerdo a los mejores conocimientos técnicos, que no redunden en costes excesivos, en especial a lo que respecta: -a la restricción de la contaminación de las aguas receptoras por el desbordamiento de las aguas de tormenta*". Y la nota al pie de página (1) que dice: "*Dado que en la práctica no es posible construir los sistemas colectores y las instalaciones de tratamiento de manera que*

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

puedan someter a tratamiento la totalidad de aguas residuales en circunstancias tales como lluvias torrenciales inusuales, los Estados miembros decidirán medidas para limitar la contaminación por desbordamiento de aguas de tormenta. Tales medidas podrán basarse en coeficientes de dilución, capacidad en relación con el caudal de época seca y o podrán especificar un determinado número aceptable de desbordamientos al año.”. El borrador de la nueva iniciativa europea para las aguas residuales “Urban Waste Water Treatment Directive” (UWWTD), en proceso de aprobación, introduce la elaboración de planes de aguas pluviales para poblaciones de más de 100 mil habitantes.

Lo anterior claramente indica que, aún en países desarrollados, los costos que implica el cambio de colectores combinados a separativos hacen inviable, en muchos casos, la construcción de estos.

Por ello, si bien es cierto que *a priori* no es la situación ideal, se deberá trabajar con estas circunstancias tratando de minimizar los impactos de los mismos. Cinco acciones se proponen para el manejo y control de las descargas combinadas, sanitaras y pluviales:

a) Los desarrollos nuevos, urbanizaciones y edificios, requieren un instrumento de impacto ambiental que normalmente exige un sistema de tratamiento de aguas residuales, que después puede descargar al colector combinado con una contaminación mínima. Por eso el caos de la gran cantidad de PTAR que se presentan en la Figura No. 32, apoyan este proceso, sin embargo, falta una supervisión a detalle para asegurar el adecuado funcionamiento de las mismas.
b) Existen zonas, especialmente en la parte sur de la ciudad (zona 14, 13, 10 y 9 principalmente), que se exigió y exige construir sistemas separativos internamente en la propiedad. Desafortunadamente, tanto la descarga sanitaria como la pluvial, se ingresan al colector combinado. Para evitar, la construcción de redes extensas de sistemas separativos, se propone construir pequeñas redes de drenaje sanitario con plantas de tratamiento operadas por grupos de vecinos, y que después la descarga de la PTAR vaya al colector combinado.
c) Mejorar la red de PTAR para que al menos en época seca todas las descargas, combinadas o no, tengan al menos un tratamiento primario. Esto puede hacerse a

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

través de una gran planta de tratamiento, que normalmente requerirá áreas de terreno muy grandes, la ampliación del sistema de colectores y probablemente su ubicación se encontrará fuera de la jurisdicción municipal. También puede hacerse a través de plantas medianas y pequeñas, con las complicaciones operativas que implicaría tener múltiples plantas, pero que permitiría su establecimiento por etapas, con terrenos e inversiones más pequeñas, y podrían construirse en su mayoría en la jurisdicción municipal. Para decidir la priorización del proceso de implementación se debe considerar inicialmente la propiedad del terreno, pues las municipalidades y las entidades gubernamentales, están limitadas a construir la obra pública en terrenos de propiedad estatal. Por ello se priorizan aquellas que se encuentren en propiedades públicas o de fácil adquisición o cesión de las mismas. La herramienta del SIG facilita encontrar puntos para ubicar las plantas de tratamiento, en base a las descargas existentes y determinar los caudales a tratar. Luego se ubican los terrenos propiedad del estado, municipal o privados. Así que con el SIG se priorizaron aquellas PTAR que pueden ser ejecutadas más rápidamente, por construirse en terrenos públicos, luego aquellas que se deben negociar con propietarios privados y que pueden tener un impacto específico. La siguiente prioridad sería aquellas que se encuentran con condiciones de propiedad no claramente definidas y finalmente aquellas que se deben construir fuera de los límites del municipio y que requerirán convenios, acuerdos con otras municipalidades. Por ejemplo, se pueden hacer acciones de control de contaminación con plantas de tratamiento que puede servir de modelo de la mejora ambiental seleccionando en sitios con alta posibilidad de tener resultados éxitos y visibles a corto plazo que permitirían promover iniciativas similares en otras cuencas urbanas.

d) Donde no sean posibles las soluciones anteriores, como una medida paliativa, se pueden construir humedales artificiales u otras soluciones para pequeños núcleos de población en las descargas para reducir, en algo, la carga contaminante de las mismas aguas abajo.
e) Cuando sean descargas netamente pluviales, redirigirlas a una zona de almacenamiento, para que puedan ser usadas ya sea para recarga de acuíferos o directamente para potabilizar.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

6.2.5 Manejo de la demanda

Tradicionalmente se estudia que los servicios de agua potable se basan en las tres C: Cantidad, Calidad y Continuidad; ya que estos tres abarcan las características fundamentales pues se requiere tanto la cantidad adecuada de agua, como la calidad y su riesgo sanitario y por supuesto la continuidad y fiabilidad del sistema (Castro & Pérez, 2009). Sin embargo, como se ha indicado en los antecedentes, en las zonas urbanas los servicios de agua potable deben abarcar otros puntos como la equidad, tarifas accesibles, la sostenibilidad, la calidad del servicio al cliente y por supuesto la seguridad hídrica que incluye no solo el abastecimiento de agua sino también la reducción de los riesgos, especialmente para adaptarse al cambio climático, reduciendo los riesgos por escasez y exceso de agua. Para poder hacer un análisis holístico se definirán algunos criterios, aunque uno de los más importantes sigue siendo la cantidad, pues muchas de las consideraciones de seguridad, de sostenibilidad y de gestión dependerán de este criterio.

Para determinar la cantidad de agua requerida por una ciudad es necesario establecer la dotación, es decir cuánta agua debe recibir cada habitante de la ciudad para satisfacer sus necesidades y vivir con cierto grado de confort. La dotación se define como la cantidad de agua al día que recibe un ciudadano en un determinado lugar. Generalmente la dotación se define en litros/habitante/día (L/h/d). Es obvio que cuando se diseña un sistema de agua este es el primer parámetro que se requiere. Por ello, en la bibliografía técnica, hay múltiples documentos con dotación en litros por habitante día para el diseño. Sin embargo, no existe un valor oficial de dotación de agua potable para zonas urbanas recomendado por ningún organismo internacional. Entre la bibliografía técnica se mencionan algunos textos y manuales en el Cuadro No. 22.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 22 Dotaciones para Diseño en diferentes Manuales y Libros de Texto (Fuente: Elaboración propia).

Libro o Manual	Autor	Consumo L/h/d		
		Doméstico		Comercial
		Máximo	Mínimo	
Abastecimiento de Agua y Alcantarillado	Ernest w. Steel	230	170	
Ingeniería Sanitaria	Hardenbergh y Rodie	400	240	60
Manual de Agua Potable y Alcantarillado	Comisión Nacional del Agua, México (Clima entre 18 y 22°C)	300	130	
Normas de Diseño de Sistemas de Abastecimiento y potabilización del Agua	INAA Managua Nicaragua	568	150	95
De acuerdo a las Zonas del POT	EMPAGUA	300	100	50

Por otra parte, las dotaciones per cápita de las zonas urbanas de Europa (ver Cuadro No. 23), donde se ha observado una reducción en el consumo per cápita a nivel general en los últimos años, indicando un mínimo de 101 L/h/d y un máximo de 528 l/h/d, aunque son 256 en promedio. También se presentan algunas dotaciones reales de ciertas ciudades sud y centroamericana las cuáles se muestran en el Cuadro No. 24.

.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 23 Dotaciones en Europa.

USO DE AGUA URBANO L/h/d

País	Año	
	1993	1999
Bulgaria	751	806
Republica Checa	296	221
Estonia	179	101
Hungría	216	190
Letonia	24	27
Lituania	151	152
Polonia	196	170
Rumania	329	338
Eslovenia	372	339
Eslovaquia	305	219
Chipre	191	295
Malta	365	351
Turquía	216	184
Austria	217	204
Bélgica	203	196
Dinamarca	271	264
Finlandia	227	214
Alemania	208	185
Irlanda	361	343
Luxemburgo	227	209
Países Bajos	225	219
Suecia	299	290
Reino Unido	286	281
Islandia	883	731
Noruega	635	528
Francia	283	275
Grecia	227	224
Portugal	208	208
España	343	375
Italia	486	481
Promedio	306	287
Máximo	883	806
Mínimo	24	27

Fuente: Extraído y convertido a L/h/d de Cuadro de la Agencia de Europea de Ambiente https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/household-water-use-1

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 24 Dotaciones en América Latina elaboración propia basado en diversas fuentes ((1) (UAPYS, 2016) (CASAM, 2002) se usó el valor para el 2002; (3) (BWS, 2016) (3) (BWS, 2016) (4) (ECLAC GTZ, 2010))

País	Dotaciones en l/h/d		
	Máxima	Mínima	Media
Argentina (1)	397	253	
Guatemala (2)	320	130	200
Belice (3)	126	100	
Ciudad de México (4)			289
Santiago de Chile (4)			230
Bogotá (4)			94
Lima (4)			118
Sao Paulo (4)			160

Por otro lado, hay varios estudios que definen cuál es el consumo mínimo requerido en las zonas urbanas, como los que se muestran en el Cuadro No. 25 por diferentes autores (Gleick, 2004) (Shaban & Sharma, 2007) y para diferentes regiones.

Cuadro No. 25 Requerimiento de agua doméstica en litros por día por persona elaboración propia en base a (Gleick, 2004) y (Shaban & Sharma, 2007)

Actividades de Uso Agua Doméstico	India	Estados Unidos	Suecia	Holanda	Mínimo
Ducha y baño	28	60	70	27	15
Inodoros	20	70	40	39	20
Consumo	4				5
Cocinar	3	45	50	17	10
Lavado de Ropa	19	45	30	17	
Limpieza casa y otros	26	75	25	4	
Total	100	295	215	104	50

El mínimo para evitar deshidratación y una higiene mínima según la Organización Mundial de la Salud es 20 l/h/d y en emergencias por desastres naturales se debe proporcionar al menos 7.5 l/h/d. Otros autores indican que el mínimo requerimiento de agua para el desarrollo social y económico es 135 l/h/d (Chenoweth, 2011).

Tener la cantidad de agua suficiente es indispensable para mantener ciertos niveles de salud, esta cantidad debe incluir no solo el tema de hidratación sino el tema de higiene y limpieza en general. Basándose en el análisis anterior se puede concluir que es razonable reducir la dotación a una que ronde entre los 100 y 150 litros por habitante día y un máximo de 200 l/h/d para las zonas residenciales, mientras que para oficinas y comercial 50 a 75 l/Hab/día. En una zona urbana en pleno desarrollo, el tipo de servicio debería ser con conexión domiciliar, idealmente 24 horas los 7 días de la semana, pero si no es posible porque la demanda supera la oferta es necesario asignar horarios, pero el servicio debe ser fiable en el sentido de que los horarios se cumplan al 100%.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Para lograr una equidad total la cobertura debe ser del 100% con el mismo nivel de servicio en calidad y continuidad para todos los habitantes de la zona urbana, sin perder de vista que las tarifas por un lado sean suficientes para mantener los costos operativos, así como el mantenimiento la inversión en infraestructura (tanto de agua potable, drenajes y aguas residuales); y segundo que sean razonables y acorde a la capacidad de pago de la población que recibe el servicio. Esto último depende también de la disposición a pagar por los usuarios que a su vez depende de calidad, cantidad y continuidad en el servicio. Esto requiere mantener un control de costos de producción y servicio, así como tarifas y otros ingresos que el servicio incluya.

En general en Guatemala las tarifas son insuficientes para la operación, mucho menos para inversión. Para lograr la seguridad hídrica es necesario un servicio que se puede ajustar rápidamente en caso de desastres naturales, tiene planes de contingencia y programas adecuados para casos de desastres. En caso de fenómenos climáticos extremos (sequías e inundaciones) podrá solventar y mantener un servicio adecuado para todos sus usuarios.

Al proyectar las demandas es muy importante tomar en cuenta no solo el crecimiento de la población, sino las posibilidades de la oferta del recurso para garantizar la seguridad hídrica. La demanda se puede reducir aplicando varias técnicas algunas son; i) uso de artefactos de menor consumo (sanitarios, mingitorios, etc.) que puede lograrse a través de incentivos y reglamentos; ii) incremento sustancial de tarifas para desincentivar consumos excesivos; iii) colocación de contadores y cobro efectivo de las tarifas; y iv) campañas de concientización en el uso adecuado del agua.

6.2.6 Nuevas fuentes de agua

Es importante considerar cuáles son las posibles nuevas fuentes de agua, se deben considerar las fuentes de agua superficial, subterránea y las no tradicionales. Las fuentes de agua superficial, son aquellas que se puedan considerar para extraer agua, ya sea en las cuencas del municipio, o trasvasando de áreas cercanas. Las fuentes de agua subterránea son las que se han estado implementando con la perforación de pozos, ya sea a través de proyectos municipales, gubernamentales o privados.

USC UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Estas fuentes a mediano y largo plazo pueden ser insostenibles, especialmente en las áreas urbanas por cuatro razones: i) la impermeabilización que reduce la recarga natural del acuífero; ii) la falta de regulación (ley de agua) en la perforación de pozos, con la consiguiente explotación del agua subterránea sin ningún límite; iii) limitado conocimiento del comportamiento real de los acuíferos y iv) la escasa sostenibilidad del recurso hídrico precisamente por las razones previas. En general el uso de agua subterránea puede ser una solución viable si se maneja técnicamente el recurso conforme a las condiciones de hidrogeológicas del acuífero. Por ejemplo, en la región metropolitana de Guatemala, el informe del Estado del Agua 2022 (FUNCAGUA, 2022) es claro al indicar que no hay suficiente información para establecer una línea base realista del estado del recurso a nivel de la región metropolitana, aunque es evidente que el acuífero está bajo una intensa presión para satisfacer la demanda generada.

Las fuentes alternativas son aquellas provenientes de la cosecha de agua de lluvia, el reúso de agua y el reciclaje. En el caso de agua de lluvia ya se mencionó en un inciso anterior. El reúso de agua se puede hacer a nivel de predio o de zona (barrio) y es reutilizar aguas grises por ejemplo para el riego de áreas verdes u otros usos que no requieran agua completamente limpia o potabilizada. A nivel de nuevos edificios o construcciones redes separativas permiten la recirculación de aguas dentro de un proyecto para que el agua se reúse en diferentes formas y se pueden ver con más detalle en https://www.nature.org/es-us/sobre-tnc/donde-trabajamos/tnc-en-latinoamerica/guatemala/ correspondiente a soluciones Basadas en la Naturaleza. El caso del reciclaje de aguas, se detalla a continuación.

6.2.7 Reúso de aguas residuales

El reúso o reciclaje de las aguas residuales, especialmente después de haber sometidas a tratamiento en una planta, es de suma importancia, especialmente en zonas urbanas, si consideramos que las aguas residuales pueden llegar a ser por lo menos un 60% o más del agua que se suministra para uso doméstico (Hardenbergh & Rodie, 1977). Este índice conservador se cuestiona en otros documentos donde se considera hasta un 80 o 85% de tasa de retorno (Canal Isabel II, 2020) (FUNCAGUA, 2022). El uso más inmediato puede ser para riego, especialmente para ciertos cultivos, donde, aunque el agua aún tenga un cierto grado de contaminación, esto puede ser de beneficio como

USC DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

nutriente para los cultivos. Otro uso de reciclaje es la producción de energía eléctrica si la altura de caída de la descarga de la planta es suficientemente fuerte, pues existen turbinas especialmente diseñadas para estos propósitos, esta generación de energía puede llegar a ser suficiente para la operación de la misma planta de tratamiento. El agua puede ser tratada para ser utilizada en procesos industriales que no requieran agua con estándares de calidad muy alta, ya sea en procesos de enfriamiento o producción. Finalmente, la calidad del agua en la salida de una planta de tratamiento de aguas residuales puede llegarse a niveles de calidad en que pueda ser introducida de nuevo a la red de agua doméstica. (Rodriguez y otros, 2020). La Figura No. 56 sintetiza estos usos.

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

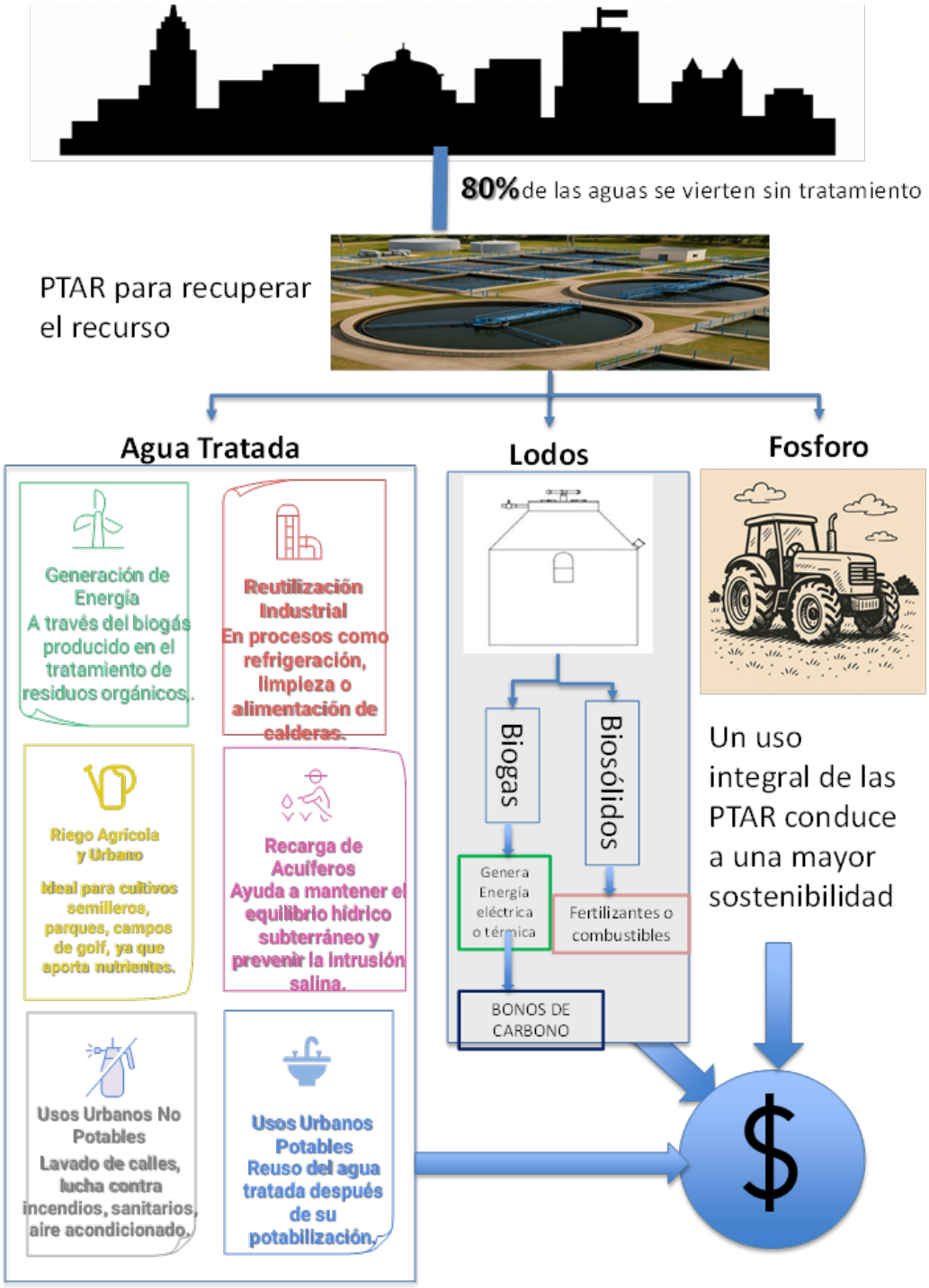


Figura No. 56 Reúsos de aguas residuales elaboración propia adaptado de (Rodriguez y otros, 2020)

En el caso de Guatemala, la falta de una ley de agua, y por consiguiente de un canon de usos de agua, hace que la implementación de algunas de estas opciones, no sean rentables como pueden ser en otros países de Europa o Latinoamérica, donde los precios de usar agua cruda “limpia” con ciertas condiciones de calidad puede hacer competitivo

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

el uso de aguas residuales. Sin embargo, en áreas donde la escasez de otras fuentes puede limitar seriamente la disponibilidad del recurso, la alterativa puede considerarse como una opción, si se asegura la calidad del agua con el respectivo tratamiento. Esto requiere mejorar la regulación tanto a nivel nacional como a nivel municipal. A nivel nacional para que se establezcan parámetros más estrictos y se cumplan, mientras que a nivel municipal establecer normativas para simplificar la supervisión de la operación de las plantas. Si se logrará utilizar el agua residual tratada para uso doméstico, se podría reducir la necesidad de incrementar la oferta hasta en 60% del total de la demanda, de acuerdo a un porcentaje de retorno conservador del agua doméstica, como ya se mencionó anteriormente (Hardenbergh & Rodie, 1977).

6.2.8 Mejoras y mantenimiento de los servicios

Es necesario tener una evaluación o prediagnóstico de los servicios que permite identificar las necesidades, el estado de la infraestructura, Aquí el SIG vuelve a ser la herramienta indispensable para tener identificada la infraestructura existente y su estado. Esto permite elaborar los planes de mantenimiento y mejora de los servicios existentes, así como las necesidades de incorporación de otros elementos e infraestructura necesaria para el mantenimiento y mejora del servicio.

Es obvio que este aspecto está íntimamente relacionado con el tema de tarifas, por lo que es necesario insistir en que las tarifas deben ser suficientes para la operación y mantenimiento de los sistemas y las inversiones en los mismos. Sin embargo, la disposición a pagar por los usuarios depende de calidad, cantidad y continuidad en el servicio, por lo que muchas veces es necesario hacer mejoras en el servicio y satisfacer a los usuarios previo a incrementar las tarifas. Es por ello que la atención al cliente es parte indispensable para proporcionar un servicio de calidad. Una rápida respuesta, mecanismos de atención que faciliten y beneficien a los usuarios son indispensable para poder tener un servicio de calidad, esto va desde un sistema de facturación y pago fácil y accesible, como un proceso fácil de solución de problemas, conflictos, reparación de daños e información pronta y oportuna.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Dentro del GIAU es pues necesario incorporar acciones que involucren la mejora de los servicios actuales, la atención al cliente, pero sobre todo mejores sistemas de información y gestión (incluyendo el SIG), así como capacitaciones al personal para cambiar el paradigma a un manejo integral del recurso agua y una reingeniería de las estructuras institucionales para logra procesos más eficientes.

6.2.9 Aspectos legales, financieros e institucionales

Para lograr llevar a cabo alguna de las acciones lo ideal sería contar con una Ley General de Aguas, que permita por ejemplo una regulación adecuada de la perforación de pozos, los trasvases y un canon por uso de agua y otro por vertidos. Pero aún ante la falta de una Ley de aguas hay varias cosas dentro de los aspectos reglamentarios, financieros e institucionales que se pueden realizar.

A nivel municipal, los planes de ordenamiento territorial, deben reforzarse con la protección de las zonas de recarga de los acuíferos, aunque esto tendrá mejores resultados si se trabaja a nivel regional y no solo de un municipio. Esto podrá reforzarse con otras normativas municipales en el tema, por ejemplo, de artefactos ahorradores de agua a nivel de nuevas construcciones y remodelaciones, que si bien es cierto existe a nivel del municipio de Guatemala, no existe en los municipios conurbados. Las licencias de construcción de los nuevos proyectos deben ir asociadas a la reducción de los impactos hidráulicos, exigiendo la reducción escorrentía (techos verdes, áreas permeables, tanques de retardo, zonas de recarga de acuíferos, etc.), reusando y reciclando agua, así como tratando adecuadamente las descargas.

En el Anexo III se incluye un borrador preliminar de un reglamento de reducción de impactos hidráulicos. El reglamento puede incluir incentivos, multas, sellos verdes para hacer más atractiva la inversión para los desarrolladores. Para obtener los recursos para los incentivos se puede establecer una tarifa ambiental asociada al servicio de agua como la propuesta en el estudio de la Alianza de Fondos de Agua (Cobos y otros, 2023).

Otra necesidad importante es el establecimiento de información y líneas base. Aunque hay algunos esfuerzos, como el Estudio de Seguridad Hídrica de UICN y Cooperación Española (AECID) cuyos resultados aún no se publican, otros esfuerzos

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

como los de FUNCAGUA con los estudios del estado del agua en la zona metropolitana y el análisis piezométrico de pozos, así como la página web desarrollada por esta ONG https://funcagua.org.gt/verdemasagua/index.html , que es un inicio de una línea base para el comportamiento del recurso hídrico en el área metropolitana. Desafortunadamente a nivel de país estos esfuerzos aún son muy limitados. La información hidrometeorológica, si bien existe, su acceso es limitado, se espera que pronto esta información esté disponible en plataforma como las que propone FUNCAGUA, Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC) y en la de INSIVUMEH.

Las tarifas de agua y de saneamiento requieren ajustes para poder hacer frente a la operación e inversión e infraestructura. Esto si bien sería ideal a través de un ente regulador de servicios básicos, ante su inexistencia, es necesario establecer tarifas realistas y si por razones políticas o sociales hay necesidad de subsidiarlas, que quede reflejado como un subsidio, pero que la tasa sea un reflejo de la operación y mantenimiento del servicio. En el estudio de tarifas ambientales se indica, que aún los proveedores de servicio privado no desarrollan sus tarifas en base a sus costos de operación e inversión (Cobos y otros, 2023). Esto implica que se requieren procesos de inducción y capacitación a todo nivel para estructurar las tarifas adecuadamente.

Aunque exista disponibilidad de fondos para inversión en proyectos de agua y saneamiento, incluidas las plantas de tratamiento, requieren procesos largos para la elaboración del proyecto y trámites engorrosos a nivel del estado que pueden implicar de 3 a 4 años para lograr iniciar un proceso de construcción (INFOM, 2017).

6.3 DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS DE REFERENCIA

Para poder establecer un plan GIAU viable se deben analizar las posibles condiciones que se pueden presentar. Esto en base de los análisis previos de la oferta y la demanda, la disponibilidad de nuevas fuentes y las posibilidades de implementar las acciones que sean necesarias para desde la situación actual lograr una GIAU que permita tener una seguridad hídrica a futuro.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Los escenarios deben construirse con diferentes niveles de alcance y una proyección mínimo de 20 años o más, se sugiere se inicie con un escenario relativamente pesimista con pocos cambios y sin hacer ajustes importantes. Este escenario servirá para ver cómo serán los déficits del servicio a futuro a corto, mediano y largo plazo. Luego se debe pasar a un escenario mínimo de cambios muy realista, pero considerando algunas de las medidas que se deben implementar. Luego un escenario más optimista donde muchas medidas se alcanzan y finalmente un escenario donde se implementen absolutamente todas las acciones. Se debe recordar que algunas de las acciones afectaran directamente la demanda, otras la oferta, por lo que es importante ver como las mismas se integran en el proceso. En términos generales lo que se tendrá son curvas de demanda diferentes con cambios en la oferta. Se recomienda iniciar sin hacer ajuste en la demanda y solo variar las acciones que mejoran la oferta. Después del primer análisis podrá observarse si es necesario afectar la demanda para lograr los mejores resultados. Es posible que en algunos casos la oferta disponible sea tan alta que no sea necesario ajustar la demanda.

Una vez hechos los escenarios se selecciona el que mejores posibilidades de éxito tenga, bajo las condiciones de cada lugar. Con el escenario seleccionado y las propuestas a implementar se inicia la integración en el Plan específico para el caso del Municipio de Guatemala como un caso más concreto. Esto se desarrollará, por su importancia, como un capítulo aparte, aunque sigue siendo la Fase III.

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

7 DEFINICION DEL PLAN GIAU PARA EL MUNICIPIO DE GUATEMALA

Para integrar la GIAU en un plan específico para el municipio de Guatemala, primero se hace un análisis, basados en el prediagnóstico para definir las acciones para incluir conforme a las nueve propuestas mencionados en el inciso 6.2: i) uso complementario de agua de lluvia; ii) Diseño de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenibles (SUDS) y Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) o infraestructura verde: iii) manejo de residuos y desechos sólidos; iv) control de descargas, que incluye un direccionamiento de aguas pluviales a PTAP; v) manejo de la demanda; vi) nuevas fuentes de agua; vii) reúso de aguas residuales; viii) mejoras y mantenimiento de los servicios y ix) temas legales y financieros para ejecución de los anteriores. Se continua con los escenarios específicos que pueden suceder a futuro, seleccionando aquel que tiene más posibilidades, dependiendo de las condiciones básicas, de resolver o mejorar la situación a futuro. Luego se procede a cuantificar y estimar costos y tiempos para su ejecución.

Es importante considerar que este es un plan de mejora continua, y que no puede excluir lo que está dentro de la operación normal y actual de EMPAGUA. Las nuevas acciones requerirán recursos financieros adicionales, como por ejemplo desarrollar a detalle el plan de infraestructura verde requiere levantamientos topográficos, planos de registro de las propiedades, así como muestreos locales en el terreno. Lo mismo sucede con la implementación de plantas de tratamiento, que requieren más información detallada de calidad de agua de la descarga para un diseño apropiado, así como también topografía a detalle.

Por ello dentro del plan se consideran recursos para diseño a detalle de las mismas, así como búsqueda de financiamiento, especialmente para la inversión. Es importante indicar que precisamente por ser un plan integrado, algunos elementos y acciones permiten alcanzar varios objetivos. Por ejemplo, la cosecha de agua de lluvia: i) reduce la escorrentía mejorando el funcionamiento del sistema de drenajes y evitando inundaciones, ii) aumenta la disponibilidad y oferta del recurso hídrico y iii) reduce la

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

cantidad de agua contaminada al no mezclarla con aguas negras. Por tanto, al hacer la integración se indicarán las acciones que logran varias funciones, aunque se incorporen en una sola parte del plan.

En base a la información del prediagnóstico se analiza en forma general las posibilidades de desarrollo de acciones sobre todo en el tema de nuevas fuentes de agua y otras posibles acciones que se pueden llevar a cabo, para poder elaborar y analizar los escenarios y desarrollar, en base al escenario elegido, el Plan a detalle.

7.1 ANÁLISIS GENERAL DE ACCIONES

Primero se hará un análisis de las posibles acciones que se pueden llevar a cabo en el Plan GIAU del municipio de Guatemala de acuerdo a lo que se debe complementar para hacer la gestión integrada.

7.1.1 Uso complementario de agua de lluvia

Cuando se analiza el área del municipio de Guatemala las opciones a nivel de predio y de zona son válidas, de hecho, la construcción de sistemas de recolección de agua de lluvia en centros escolares y mercados ya se ha realizado por la propia municipalidad, por lo que se considera dentro del plan ampliar este desarrollo. A nivel de predio el impacto es muy localizado, pero se considera que es una medida complementaria al GIAU y que, al ir incrementando el uso de agua de lluvia en los predios, permite aliviar la presión en la disponibilidad del recurso, y sobre todo reduce la explotación de agua subterránea al menos en la época de lluvia. A nivel de predio es difícil determinar la viabilidad del uso de agua de lluvia, donde dos factores son determinantes: el área tributaria y el volumen de almacenamiento. Este último, no solo implica el mayor costo, sino que muchas veces el limitado espacio existente, hace poco viable un sistema de recolección de agua de lluvia.

A nivel de zona se han identificado algunos sitios para posibles embalses para recolectar agua de lluvia y que puedan servir como una fuente alternativa, también la opción a nivel de áreas verdes es factible. Se proponen cuatro posibles embalses de

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

almacenaje de agua de lluvia, que fueron priorizados basados en un análisis de varios sitios que se identificaron en base al volumen de agua que pueden captar, su situación geográfica para colocar una presa, su accesibilidad y la calidad de agua, este último parámetro permitió seleccionar los cuatro puntos que tenían menor contaminación. El SIG fue utilizado no solo para encontrar los puntos más adecuados para las presas, sino estimar el tamaño de las mismas y los volúmenes y áreas de los embalses, para luego estimar su costo en base al volumen de la presa (se asumió presas de tierra y un valor unitario por m^3). En la Figura No. 57 se muestra la ubicación de los mismos mientras el Cuadro No. 26 presenta los detalles de los embalses propuestos tal y como aparecen en la base de datos del SIG.

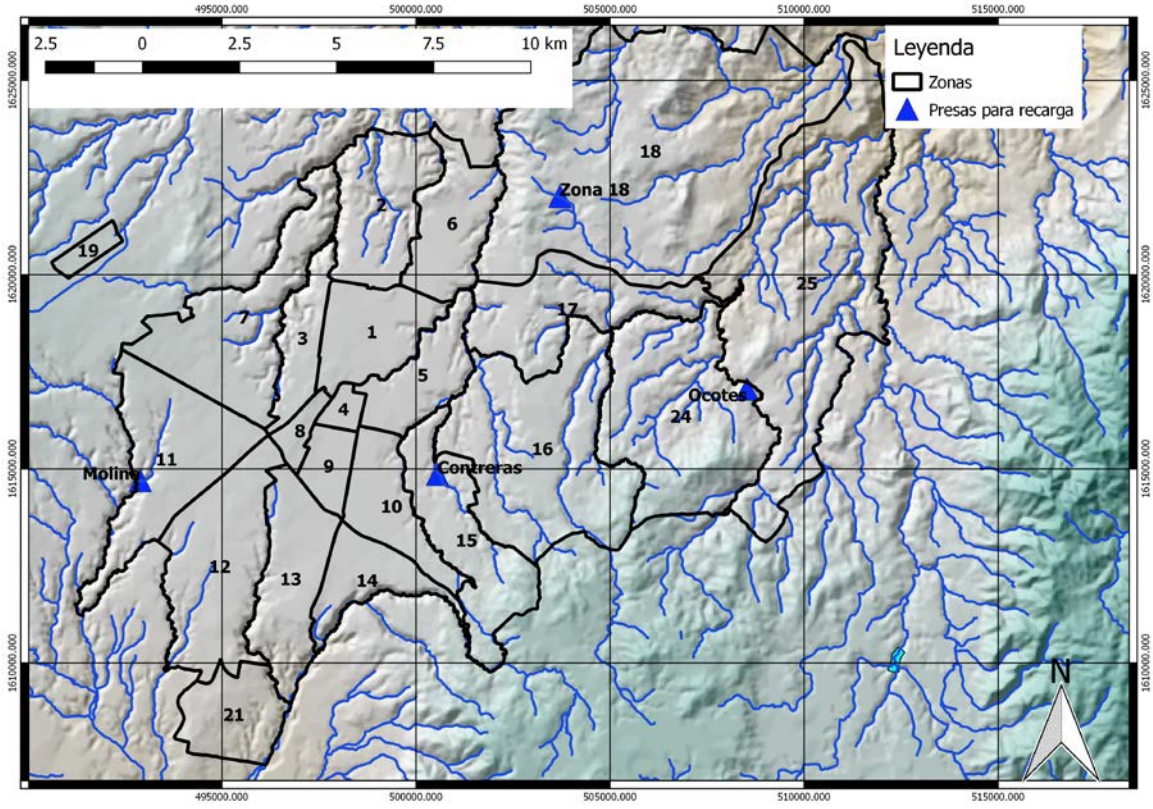


Figura No. 57 Presas de Almacenamiento de agua pluvial en SIG preliminar (Fuente: Elaboración propia).

Cuadro No. 26 Embalses propuestos ((Fuente: Elaboración propia en base de datos del SIG).

Embalse	Capacidad de almacenamiento en m^3	Producción en L/s	Costo estimado millones US$	Usos previstos
Los Ocotes	2,394,020	100	4.36	Agua potable y control de inundaciones
Contreras	420,177	N/A	2.0	Control de inundaciones y recarga hídrica
Zona 18	135,801	20	1.5	Agua potable
Molino	1,513,578	40	3.0	Control de inundaciones y agua potable

Pero para que estos proyectos puedan llevarse a cabo es necesario hacer algunas PTAR y requieren estudios más detallados de geotecnia y geología, así como analizar si pueden funcionar para la recarga hídrica con un estudio específico del área de estudio. Sin embargo, se considera difícil, a nivel solamente del municipio, resolver el problema a nivel regional, aunque con una coordinación a nivel de área metropolitana se podrían resolver algunos de los problemas, usando por ejemplo el lago de Amatitlán como un área de almacenamiento regional que podría surtir de agua a varios municipios. En el desarrollo del plan se incluye algunas acciones regionales en el inciso 7.3.5.2

7.1.2 SUDS, SBN e Infraestructura Verde

Como se definió en el prediagnóstico y en la encuesta DUSA, el diseño de sistemas de drenaje urbano sostenibles o la incorporación de soluciones basadas en la naturaleza e infraestructura verde no es algo que se encuentra en los diseños, en la estructura de proyectos o simplemente como una opción. El diagnóstico determinó que el nivel de DUSA en el municipio es bajo, tanto en el tema de acciones directas como de reglamentos e instituciones.

Cambiar el paradigma de infraestructura gris a infraestructura verde es todo un desafío como ya se mencionó. Es pues necesario dar a conocer más la infraestructura verde; en qué consiste, cómo se puede aplicar y cómo se puede incentivar, lo que requiere capacitación no solo del personal de EMPAGUA y del municipio, sino de los desarrolladores de proyectos, así como guías de diseño y reglamentos que incentiven las prácticas.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Entre las acciones se detallan algunas someramente, con las estrategias a aplicar. Las prácticas y métodos se explican en más detalle en https://www.nature.org/es-us/sobre-tnc/donde-trabajamos/tnc-en-latinoamerica/guatemala/, así como su nivel de aplicación:

a) Techos verdes que permiten no solo reducir las crecidas, sino mejoran condiciones de temperatura, estética y ambiental. Aunque hay una incipiente idea en los desarrolladores, esta no ha sido implementada ni institucionalizada. No hay normas claras ni tampoco incentivos. Como estrategia se deben establecer normas e incentivos.
b) Recirculación, cosecha de agua de lluvia y reúso: aprovechar, ya sea agua de lluvia, aguas grises, agua no potable, o agua residual tratada para otros usos como riego, limpieza y lavado de vehículos o áreas comunes, etc. Esto si bien es aplicable a construcciones nuevas, pues requiere redes separativas, y debe ser incentivado de alguna manera, no lo es para construcciones existentes. Una de las razones de que esta práctica sea poco atractiva es el bajo costo de la tarifa de agua o las facilidades para extracción de agua por pozo. Aquí la estrategia debe ir encaminada a establecer tarifas reales del agua, regulaciones más estrictas, así como incentivos.
c) Recarga de acuíferos, existen metodologías desde zanjas y pozos de infiltración, pavimentos permeables, protección de zonas de recarga, tanques de retardo y retención, estanques de biofiltración, que permiten hacer recarga al acuífero, reducir escorrentía y crecidas, aprovechando la capacidad de infiltración del suelo para la recarga e incluso para filtrar un poco de la contaminación superficial si son diseñados adecuadamente. Igual que en los casos anteriores la estrategia debe ser incentivar estas acciones, pues la mayoría son fácilmente adoptadas en los nuevos desarrollos.
d) A nivel de municipio el uso de pavimentos permeables diseñados para reducir colmatación, cajas de árbol o arriates para infiltración, crear áreas verdes, reforestar y proteger las zonas de recarga, así como hacer humedales artificiales para el tratamiento de aguas superficiales y la generación de zonas de biodiversidad, se incluyen en el plan.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Es importante incentivar con el ejemplo, así todas las nuevas instalaciones que se construyan por parte del municipio, deben incorporar elemento como los mencionados en los incisos previos. La estrategia para que las acciones anteriores se lleven a cabo, es que su uso debe implementarse en todos los proyectos municipales, incluyendo estas medidas en los procesos de planificación.

Para el caso específico del Municipio de Guatemala, es necesario identificar donde se pueden realizar proyectos de infiltración. Primero se realizó un análisis en el SIG de las condiciones geológicas, las características del suelo, la cobertura y las pendientes del terreno considerando las posibilidades de infiltración en diferentes áreas del municipio. Esto se realizó, basado en un análisis previo de la subcuenca de Amatitlán (Cobos, 2018), este estudio comparó seis metodologías diferentes y finalmente se seleccionó la metodología desarrollada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) que se detalla en **Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica** (Matus y otros, 2009), para definir zonas de recarga, además que se adaptaba mejor a los datos disponibles en el país y por su simplicidad de uso, que permitiría hacer ajustes cuando fuese necesario. Este método define zonas de recarga y que incluye el factor geológico, pero no define el volumen de infiltración.

$$ZR = 0.27\ Pend + 0.23\ T_s + 0.25\ C_{ve} + 0.12\ Tr + 0.13 U_s$$

Donde:

ZR = Zona de Recarga Potencial

Pend = Pendiente

T_s = Tipo de suelo

C_{ve} = Cobertura vegetal permanente de suelo

T_r = Tipo de Roca

U_s = Uso del suelo

En este modelo del CATIE las capas a utilizar son las siguientes:

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

a) Mapa de pendientes (generado del modelo de elevación digital).
b) Tipo de suelo (proveniente del mapa de caracterización semidetallada del mapa de suelos).
c) Geología para definir tipo de roca.
d) Mapa de cobertura vegetal.
e) Mapa de uso del suelo (generado del mapa de uso del suelo).

El método hace una ponderación de la importancia de cada uno de los elementos, dándole mayor preponderancia a la pendiente. Los valores que se utilizan en cada caso vienen dados por diferentes criterios, pero finalmente la ponderación final es la siguiente de acuerdo al Cuadro No. 27:

Cuadro No. 27 Posibilidad de recarga por rango en base a (Cobos, 2018).

Posibilidad de recarga	Rango
Muy alta	4.1 – 5.00
Alta	3.5 – 4.09
Moderada	2.6 – 3.49
Baja	2.0 – 2.59
Muy baja	1.0 – 1.99

Este modelo se incorporó al SIG preliminar y se ajustó a toda la zona del municipio. Una vez definido este primer análisis, que se muestra en la Figura No. 58, se definen las áreas susceptibles a infiltración, al sobreponer el mapa de usos de suelo, se determinó qué debido a la impermeabilización por la urbanización, las áreas susceptibles a infiltración eran bastante limitadas.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

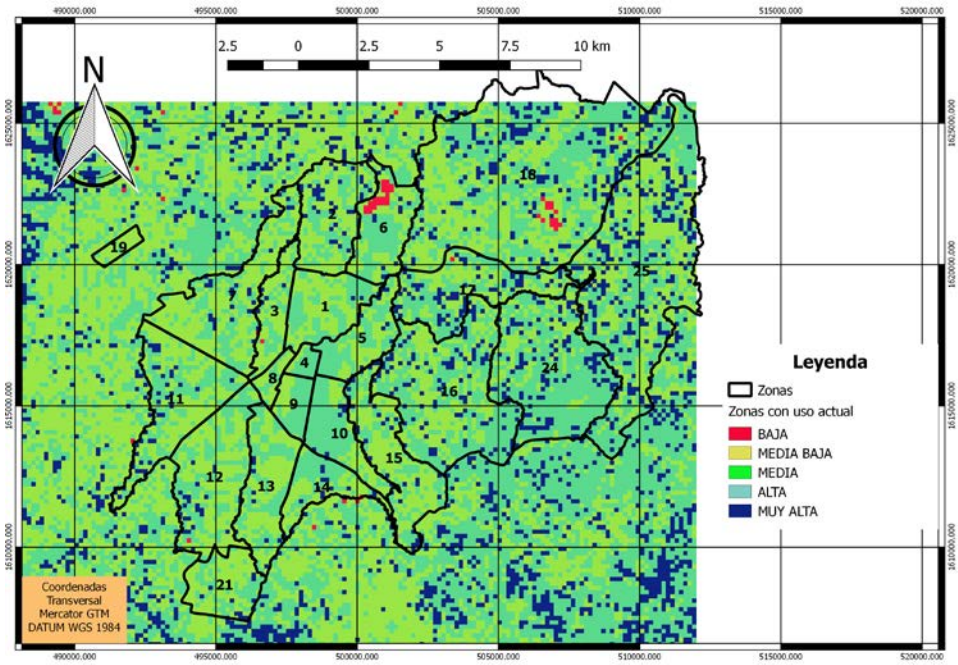


Figura No. 58 Recarga actual (Fuente: Elaboración propia).

La mayor parte del municipio, se encontraba como zonas de recarga media baja. Sin embargo, cuando se observaba el uso del suelo, gran parte de la zona considerada media baja, estaba en el área urbanizada, es decir era la variable de uso del suelo la que parecía estar afectando la zona. Al revisar los tipos del suelo, en base a sus características hidrológicas según la clasificación del Servicio de Caracterización de Suelos de Estados Unidos (USSCS por sus siglas en inglés), esta clasificación se basa en las características granulométricas del suelo, donde los suelos con menos escorrentía son el tipo A (arenas y Gravas) y los de mayor escorrentía son los D (por lo general arcillosos), por lo que los suelos tipo A tienen mayor infiltración y los D los que menos infiltración tienen. La Figura No. 59 presenta el mapa del municipio de acuerdo a esta clasificación para el municipio de Guatemala.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

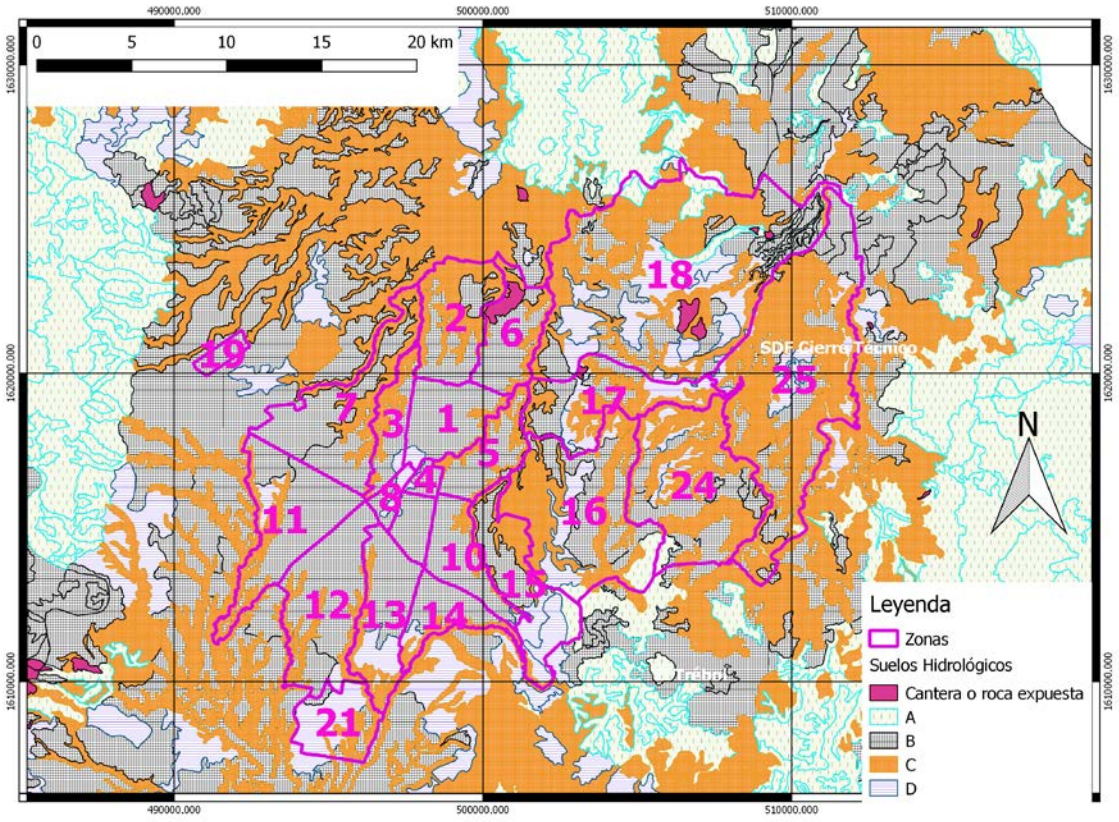


Figura No. 59 Caracterización de Suelos acorde USCCS (Fuente: Elaboración propia).

Al observar la Figura No. 59 se puede notar que la mayor parte del municipio tiene tipo de suelo B que es un suelo con buena capacidad de infiltración, esto implica que aunque en su superficie el suelo este impermeabilizado es posible considerar otras áreas, donde proyectos como pozos de infiltración, pavimentos permeables, establecimiento de estanques de recarga, etc., pudieran aplicarse con éxito, se realizó un segundo análisis que consideró la situación de eliminar las áreas impermeabilizadas o urbanizada, esto con el objetivo de ver en que zonas se podría realizar este tipo de medidas con éxito, en otras palabras, donde serían más efectivos los pavimentos permeables o las medidas de infiltración, pues el suelo por debajo de la superficie impermeable de la urbanización actual, es apto para los procesos de recarga. Esto permitió desarrollar un nuevo mapa que mejoro considerablemente las áreas factibles de recarga que se muestra en la Figura No. 60.

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

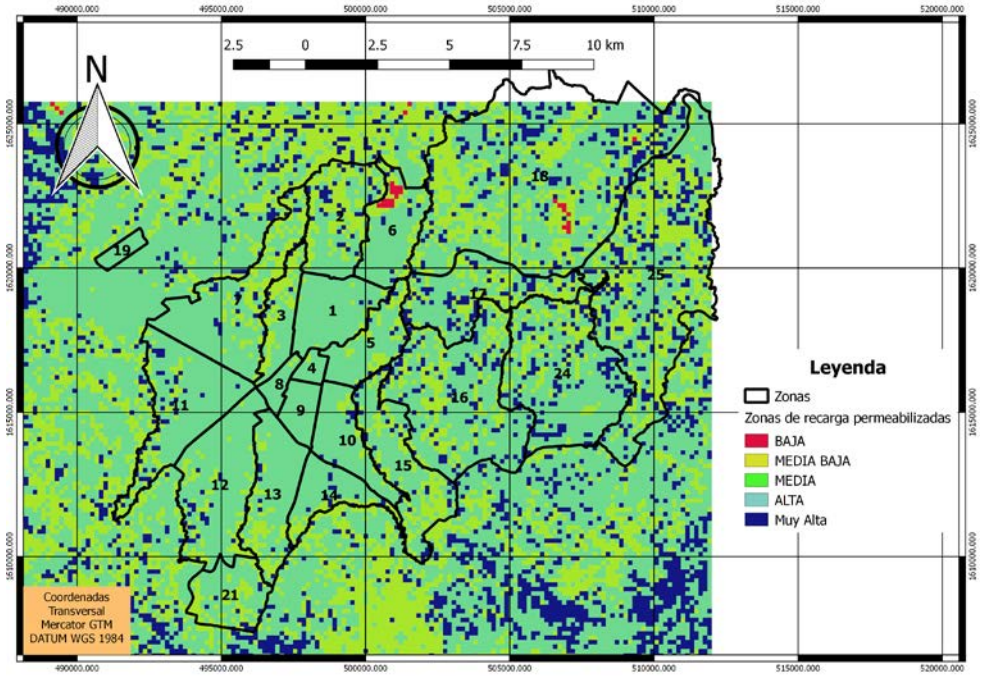


Figura No. 60 Zonas de recarga al aumentar la permeabilización (Fuente: Elaboración propia).

El mapa de la Figura No. 60 permitió identificar varios sitios potenciales de recarga especialmente en zona 7, 2, 6 y 16, lo que facilitara el desarrollo en los proyectos de desarrollo privado. Por ejemplo, con este mapa se determinó que una de las grandes acciones es promover el uso de pavimentos permeables en los nuevos desarrollos, aumentar el uso de pozos y zanjas de infiltración, esto último estableciendo un protocolo de análisis a más detalle con estudios focalizados en cada sitio y un reglamento detallado para realizar estas acciones. La Figura No. 61 muestra cómo cambia e incrementan las áreas susceptibles a desarrollo de proyectos de recarga a nivel de municipio, pues se incrementa el área de una recarga media en casi un 20%, mientras se reduce la recarga media baja, cuando se considera la capacidad natural del suelo sin la impermeabilización. Esto implica que se pueden desarrollar proyectos de infiltración en zonas actualmente impermeables, cambiando por ejemplo a pavimentos permeables o con pozos y zanjas de infiltración.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

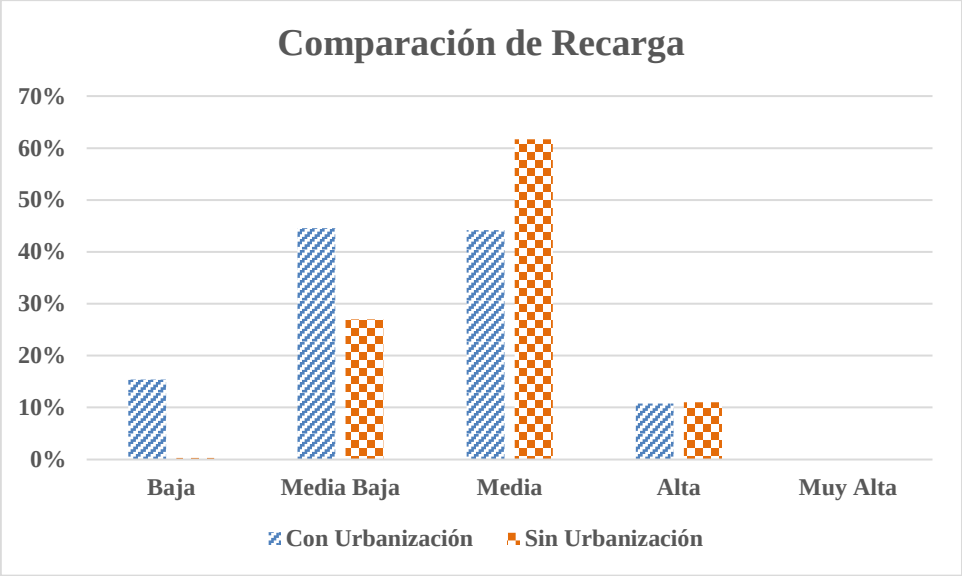


Figura No. 61 Incremento de área permeable (Fuente: Elaboración propia).

Es importante tener en cuenta que el problema de hacer pozos de infiltración indiscriminadamente, especialmente sin un adecuado diseño (velocidades y profundidades adecuadas al tipo de suelo del sitio exacto) puede tener consecuencias negativas, ya que en su mayoría el valle tiene un tipo de suelo arenoso, en el que se puede produce la "tubificación", que no es más que se arrastre material al incrementar el flujo de agua en el subsuelo, que puede crear cavernas y otros daños, que pueden afectar la infraestructura como se mostró en la Figura No. 37. No se debe olvidar, que la calidad de agua a infiltrar es también muy importante, por lo que se debe considerar el efecto de los hidrocarburos que se derraman, por ejemplo, en los asfaltos permeables, deberán manejarse y retenerse adecuadamente, así como la calidad de aguas que se infiltran con cualquier otro sistema. Esto no quiere decir, que haciendo los análisis adecuados y tomando en cuenta la capacidad de infiltración no se pueda hacer la infiltración en el valle. Para desarrollar acciones, se seleccionaron predios que son propiedad municipal y de acuerdo a la capacidad de infiltración obtenida en el mapa, para ubicar proyectos pilotos que pueden ser desarrollados directamente por el municipio y que se incluyen en la Figura No. 62. Este mapa facilitará que los nuevos proyectos de infraestructura que se desarrollen en estos terrenos municipales sirvan como ejemplo en la infraestructura verde.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

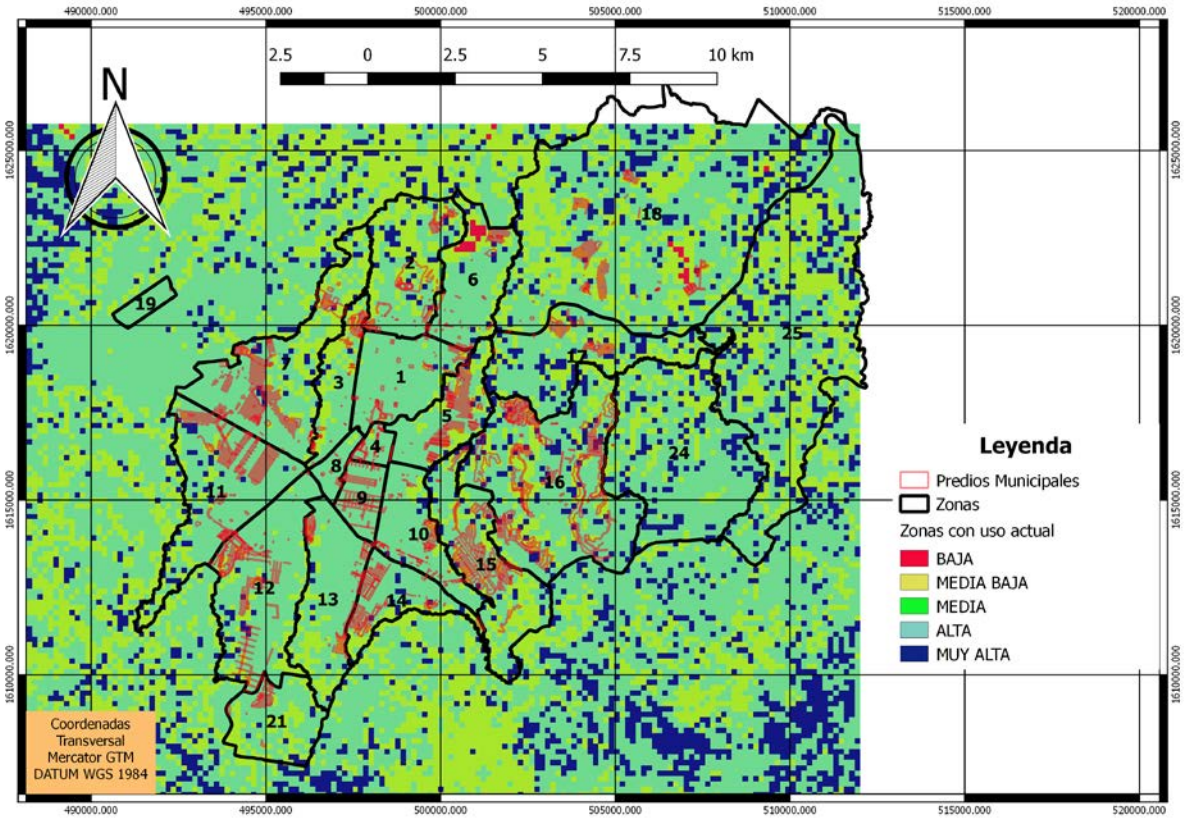


Figura No. 62 Áreas de recarga permeables que coinciden con sitios municipales (Fuente: Elaboración propia).

El área potencial para recarga en predios municipales, es de más de 700 Ha. Siendo la zona 16 donde más potencial hay. El Cuadro No. 28 presenta la distribución por m^2 por cada zona de la capital y volúmenes anuales estimados de recarga y fue obtenido sobreponiendo la capa de SIG de predios municipales con la de potencial de recarga, que se muestra en la Figura No. 63. Para los volúmenes se hizo un cálculo muy conservador de solo captar el 20% (para recarga media) y 40% (para recarga alta) de la lluvia media en la ciudad de 1200 mm anuales, y multiplicada por el área respectiva. Obviamente esto requerirá de estudios específicos en cada lugar, para determinar la infiltración específica y siguiendo un protocolo para seleccionar el sistema más adecuado.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 28 Áreas potenciales de recarga en predios municipales por zona (Fuente: Elaboración propia).

ZONA	AREA DE RECARGA (m^2)		VOLUMEN (m^3)	
	MEDIA	ALTA	MEDIA	ALTA
1	207,500	20,000	49,800	9,600
2	362,500	72,500	87,000	34,800
3	77,500	-	18,600	-
4	155,000	-	37,200	-
5	342,500	30,000	82,200	14,400
6	132,500	10,000	31,800	4,800
7	765,000	105,000	183,600	50,400
8	15,000	-	3,600	-
9	252,500	-	60,600	-
10	132,500	5,000	31,800	2,400
11	695,000	12,500	166,800	6,000
12	465,000	25,000	111,600	12,000
13	270,000	-	64,800	-
14	275,000	12,500	66,000	6,000
15	545,000	30,000	130,800	14,400
16	1,235,000	267,500	296,400	128,400
17	95,000	25,000	22,800	12,000
18	225,000	25,000	54,000	12,000
19	2,500	-	600	-
21	127,500	-	30,600	-
Total	6,377,500	640,000	1,530,600	307,200
Ha	637.75	64		

7.1.3 Manejo de residuos y desechos sólidos

En este sentido el municipio de Guatemala se encuentra en proceso de: i) elaboración del plan municipal de gestión de residuos sólidos de acuerdo a los nuevos lineamientos del MARN; ii) un nuevo reglamento de residuos y desechos sólidos listo para su aprobación en Concejo Municipal; iii), un diseño de la nueva ampliación del sitio de

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

disposición de la zona 3, incluyendo impermeabilización, evacuación de aguas pluviales, planta de tratamiento de lixiviados y sistemas de monitoreo; iv) análisis de sistemas tarifarios y v) desarrollo de campañas y procesos educativos para evitar botaderos clandestinos, reducir la producción, reciclaje y separación de basura.

Todos los incisos anteriores mejoraran la calidad de los cuepos de agua, al reducir los desechos y residuos arrastrados y la contaminación por lixiviados. Por razones administrativas y operativas, estas acciones en el caso del municipio de Guatemala, no son realizadas por la Empresa encargada del agua (EMPAGUA); lo único que pasará a ser parte del plan y aunque si deben considerarse, las accones quedan a realizarse por otras entidades en la municipalidad por lo que no se incluyen en el Plan de GIAU.

7.1.4 Control de Descargas

El control de las descargas puede hacerse de dos maneras: i) a través de una estrategia centralizada con grandes PTAR o MEGAPLANTAS, o ii) a través de varias plantas de tratamiento medianas o pequeñas. En el caso de la estrategia centralizada, que ha sido la estrategia convencional desde el siglo pasado, ha probado ser muy eficiente, sin embargo, estos sistemas convencionales, requieren tecnología de tratamiento intensivas y grandes sistemas convencionales de recolección (colectores); con la consiguiente mano de obra altamente calificada, grandes inversiones y condiciones socio-económicas estables para su mantenimiento. En muchos casos se analiza con detalle las diferentes posibilidades de las plantas de tratamiento, pero los costos del sistema de recolección superan con creces el costo de la planta. En el caso de las grandes plantas, para el caso del municipio y área metropolitana de Guatemala, los volúmenes a tratar normalmente requerirán áreas de terreno muy grandes, la ampliación del sistema de colectores, su ubicación se encontrará probablemente fuera de la jurisdicción municipal y requiere una inversión multimillonaria. Por otro lado, el control también puede ser descentralizado y realizarse a través de plantas medianas y pequeñas, con las complicaciones operativas que implicaría tener múltiples plantas, pero que permitiría su establecimiento por etapas, con terrenos e inversiones más pequeñas, y podrían construirse en su mayoría en la jurisdicción municipal (Hophmayer Tokich, 2006). El Cuadro No. 29, presenta las ventajas y desventajas en sistema descentralizado mientras el Cuadro No. 30 presenta ventajas y desventajas de los sistemas centralizados.

USC DE COMPOSTELA

Cuadro No. 29 Ventajas y Desventajas de los Sistemas Descentralizados elaboración propia basado en (Hophmayer Tokich, 2006) (Arora y otros, 2015)

DESCENTRALIZADO					
VENTAJAS			DESVENTAJAS		
#	Tipo	Descripción	#	Tipo	Descripción
1	Bajos costos de inversión	El mayor beneficio es la reducción en costo de las grandes obras para la recolección (colectores) de gran diámetro y longitud comparada con las obras pequeñas que serán diámetros y longitudes menores. También los terrenos requeridos son de menores dimensiones y por consiguiente más fáciles de adquirir. Menos estaciones de bombeo o de grandes obras de intercepción. Se diseñan para la capacidad requerida, por lo que requieren sumas de inversión menores, mientras las grandes plantas se diseñan para capacidad futuras, con costo de inversión a corto plazo, castigando la economía local. El sistema descentralizado es modular así que sus diferentes componentes pueden ser implementados paso a paso reduciendo la inversión instantánea requerida por un sistema centralizado.	1	Baja eficiencia	Este argumento es obvio, cuando se toma en cuenta que los niveles alcanzados por la mayoría de sistemas de tecnología descentralizada comúnmente usada como fosas sépticas y la pobre y poco profesional atención que esta infraestructura recibe en el sitio. Usualmente los propietarios de casas y personal encargado de pequeñas empresas son los encargados de dar mantenimiento a etas instalaciones. Usualmente no tienen ni el conocimiento ni están suficientemente motivadas para mantener eficientemente el sistema.
2	Ventaja ambiental	Los caudales son menores y por tanto en caso de falla, los impactos son menores. Además, las fallas se reparan más rápidamente porque son sistemas menos complejos. La probabilidad de falla simultanea de todas las plantas es muy baja. El diseño puede ser más especializado acorde al tipo de descarga, pensando en el posible reúso del agua, puede haber buenas soluciones sanitarias en lugares donde la situación no es homogénea, permitiendo coexistan variedad de sistemas en una misma municipalidad, desde poco tratamiento hasta sistemas altamente sofisticados, en diferentes partes de la ciudad.	2	Altos costos y complejo sistemas de operación	El total de un gran número de pequeños sistemas se asume será más caro que un gran sistema central. También los requerimientos para la operación y mantenimiento de múltiples sistemas pequeños serán más altos que el costo de un sistema centralizado. Las partes y repuestos pueden ser muy variados en las diferentes instalaciones lo que puede generar costos más altos.
3	Mayor oportunidad de reúso de aguas residuales y solidos	La descentralización permite un uso más eficiente al estar más cerca de los puntos potenciales de uso, bajando costos al sistema de distribución del agua a reusar. En el caso de los sólidos, la remoción de los sólidos tóxicos puede ser más fácil controlada en la fuente y ser más fácilmente separada. Además, los tiempos de remoción de sólidos de los tanques no son tan críticos y pueden ser bombeados cuando es necesario, eliminando la necesidad de infraestructura de almacenamiento intermedio.	3	Diseños múltiples y sistema de operación menos controlado	Múltiples diseños generan más equipo de diferentes características y requiere mantener más personal entrenado. El control y estandarización de procesos es más complicado.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 30 Ventajas y desventajas de sistemas centralizados elaboración propia basado en (Hophmayer Tokich, 2006) (Arora y otros, 2015)

CENTRALIZADO					
VENTAJAS			DESVENTAJAS		
#	Tipo	Descripción	#	Tipo	Descripción
1	Gran caudal y mayor control	Puede manejar grandes caudales de aguas residuales provenientes de diversas fuentes, domésticas e industriales etc. Ha sido desarrollado y remueve un rango muy amplio de turbidez. patógenos, incluyendo bacterias y protozoos. Por otro lado, hay mayor control con una supervisión más efectiva de las operaciones de drenaje. Las decisiones se toman desde una única entidad, lo que facilita la coordinación y la implementación de políticas.	1	Gran Costo de Inversión	Requiere fuerte inversión en corto plazo. La inversión incluye infraestructura que no funcionara a su máxima capacidad en varios años. Usualmente requiere grandes estructuras para el transporte de las aguas residuales al punto de tratamiento, así como grandes extensiones de tierra. Pueden incluir sistemas de bombeos y otros equipos de alto costo
2	Sistema alejado de las áreas urbanas	Solo hay un punto donde se centraliza todas las descargas y es allí donde se concentra la contaminación. Usualmente se basa en alejar lo más posible el proceso de las zonas urbanas, llevando las aguas a través de grandes colectores a puntos alejados del área urbana donde se encuentra la planta de tratamiento.	2	Poca Flexibilidad	Los sistemas son complicados para adaptarse a situaciones cambiantes, como cambio climático o nuevas condiciones de calidad de las descargas. Si la administración y recursos son limitados, las ventajas de operación se anulan. Requieren personal altamente calificado.
3	Eficiente y costo efectivo	Ha probado a lo largo de los años ser un sistema eficiente para reducir la contaminación en general. Al concentrar la autoridad en una sola instancia, se agiliza la toma de decisiones relacionadas con el mantenimiento, reparación y expansión del sistema de drenaje. Tradicionalmente los diseñadores y financistas se sienten cómodos con la centralización puse es una sola obra en vez de múltiples. Mayor fiscalización de los recursos y menores costos por la economía de escala.	3	Baja Sostenibilidad ambiental	No es muy adaptable a la gestión integrada de aguas urbanas y es difícil el reúso de los productos generados, por temas de transporte y de ubicación de los posibles usuarios. Si falla o colapsa no hay ningún tratamiento.

En general, se considera que estos sistemas descentralizados son para municipios o centros urbanos pequeños, pero cuando se considera que las descargas, como en el caso de Guatemala, son múltiples y que se encuentran dispersas en todo el municipio, el concepto de pequeñas y medianas plantas pareciera que presenta varias ventajas.

Para decidir la priorización del proceso de implementación de las PTAR, se consideró inicialmente la propiedad del terreno, que es una limitante que el sistema legal limita a las entidades gubernamentales para la ejecución de proyectos. La herramienta del SIG facilitó encontrar puntos para ubicar las plantas de tratamiento, en base a las descargas existentes y determinar los caudales a tratar. Luego se ubicaron los terrenos propiedad del estado o municipal. Así se priorizaron aquellas PTAR que pueden ser

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ejecutadas más rápidamente, por construirse en terrenos públicos, luego aquellas que se deben negociar con propietarios privados.

Por ejemplo, se considera que se pueden hacer acciones de control de contaminación con plantas de tratamiento en la subcuenca del río Contreras, que puede servir de modelo de la mejora ambiental por tener un grado de contaminación que aún es manejable y con alta posibilidad de tener resultados exitosos y visibles a corto plazo que permitirían promover iniciativas similares en otras subcuencas urbanas. La siguiente prioridad serán aquellas PTAR que se encuentran con condiciones de propiedad no claramente definidas (propiedades sin registro catastral); luego aquellas que se deben construir fuera de los límites del municipio y que requerirán convenios, acuerdos con otras municipalidades, así como el tratamiento de aguas residuales de otros municipios. Finalmente, las que se pueden posponer por más tiempo.

Bajo este contexto se presenta el Cuadro No. 31 presenta una propuesta preliminar de las plantas que debe ser verificada con las futuras caracterizaciones de las descargas, las condiciones topográficas para redefinir el tipo de planta. Se proponen como plantas tradicionales las aérobicas y anaeróbicas (INFOM, 2017); se propone dos del tipo "*Doyoo Yookasoo*" cuyo diseño japonés se aplica a dos puntos conforme lo que detalla el documento elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Comisión Nacional de agua de México (SEMARNAT & CNA, 2013); así como algunos humedales artificiales. Las MEGAPLANTAS son las propuestas por BID (BID, 2021), La selección de la ubicación está basada en las descargas y los caudales son estimados de la caracterización de descargas, y los datos de BID y AMSA (AMSA, 2014). La Figura No. 63 presenta la ubicación de las plantas propuesta especialmente las plantas pequeñas, medianas y grandes ya priorizadas. Los datos son parte del SIG preliminar.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 31 Características de las PTAR propuestas elaboración propia basado en (BID, 2021) (AMSA, 2014) (Cobos, 2020)

ID	Tipo propuesto	Q estimado l/s	Propiedad Terreno	Estado	Descargas puntuales	Prioridad
31	Tradicional	20	Finca 900	Publico	N18 114,115,116	1
23	Tradicional	10	Municipal	Publico	N02 170,171,172	1
21	Tradicional	0.5	Finca 900	Publico	N07 187,186 N03 179	1
9	Tradicional	0.6	Finca 900	Publico	S13 089 s14 088	1
8	Tradicional	0	Municipal	Publico	S 14 092	1
7	Tradicional	11	Finca 900	Publico	s 12 99,98	1
6	Tradicional	0.5	Finca 900	Publico	S12 53	1
4	Tradicional	25	Finca 900	Publico	S14 087,085	1
5	Tradicional	1	Finca 900	Publico	S12 40,41 22	1
3	Tradicional	1310	Municipal	publico	S12 29	1
26	Tradicional	24	Finca 900	Publico	N16 034,035,036,037	1
29	Tradicional	15	Finca 900	Publico	N17 067,068	1
25	Tradicional	147	Finca 900	Publico	N06 94,106 N18 138	1
15	Tradicional	1	Finca 900	Publico	N15 017 016	1
19	Tradicional	14	Finca del Estado	Publico	N15 041 042 N10 195 038	1
30	Doyoo Yookasoo	0.5	Municipal	Publico	N16 062	1
27	Tradicional	520	"Finca 900"	Publico	N06 090 091	1
11	Tradicional	82	Finca 900	Publico	N15 018 N16201	1
24	Tradicional	30	Municipal y Finca Estatal	Publico	N01 104,102,103,101 N05 105	1
51	Tradicional	495	Finca Estatal 900	Publico	N18 130 132	1
57	Tradicional	0.5	Canalitos	Publico	N16 208	1
32	Tradicional	500	Privado	Privado	N18 112,205	2
28	Tradicional	10	Privado o Finca 900	Privado	N06 156,158,160	2
22	Tradicional	10	Privado	Privado	N,07 188	2
20	Tradicional	0.11	Privado	Privado	N07 189	2
16	Tradicional	18	Privado	Privado	N15 008 009 010 012 013 N10 001 193,194,196	2
10	Tradicional	1	Privada	Privado	N15 019	2
12	Humedal Artificial	10	Privado	Privado	N15 021,0122,023,197	2
14	Tradicional o Humedal	4	Privado	privado	N 15 024,030, 029	2
13	Tradicional	4	Privada	Privado	N15 020 198	2
36	Tradicional	1	sin catastro Fuera del municipio	Fuera del Municipio	N.19	2
38	Tradicional	10	Fuera del Municipio	Fuera del Municipio		2
39	Tradicional	50	Fuera del Municipio	Fuera del Municipio		2
40	Mega	2	Gran Planta El Frutal	Fuera del Municipio		2
41	Mega	2	Gran Planta Pinula	Fuera del Municipio		2

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ID	Tipo propuesto	Q estimado l/s	Propiedad Terreno	Estado	Descargas puntuales	Prioridad
42	Grande	802	Planta Los Ocotes	Privado		2
43	Mega	2100	Mega Planta Las Vacas (Fuera Municipio)	Fuera del Municipio		2
48	Tradicional	32	Predio Municipal	Publico	N16 056 N 17207 n05 048	2
52	Doyoo Yookasoo	0.5	Finca estatal 900	Publico	N 18 117	2
53	Tradicional	0.5	Predio del estado	Publico	N06 209	2
55	Tradicional	4	Finca 900	Publico	N02 162	2
56	Tradicional	60	Finca 900	Publico	N02 169	2
2	Tradicional	32.6	Sin catastro	No definido	S11 15	3
1	Tradicional	1	Sin catastro	No definido	S 11 04	3
37	Tradicional	0	Fuera del Municipio	Fuera del Municipio		3
33	Humedal Artificial	0	Sin catastro	No definido	Descargas puntuales	3
35	Humedal Artificial	0	Sin Catastro	No definido	Descargas puntuales	3
34	Humedal Artificial	0	Sin Catastro	No definido	Descargas puntuales	3
17	Tradicional	15	Privado	Privado	N15 007 006 N10 002	3
18	Tradicional	8	Privado	Privado	N10 003	3
45	Tradicional	20	Privado	Privado	N05 105 075 079	3
46	Tradicional	6	Privado	Privado	N17 071 070 072 069	3
47	Tradicional	10	Privado	Privado	N16 060 061	3
49	Mega a revisar	3530	Privado	Privado	N05 095 096	3
50	Tradicional	86	Privado	Privado	N18 202 203 204	3
44	Tradicional	120	Descarga futura del RMR	Publico	N03 183	4
54	Tradicional	4	Privado	Privado	N06 159 157	4
58	Tradicional	12	Privado	Privado	N16 045	4
59	Tradicional	0	Fuera del Municipio	Privado		4

Nota: Cuando no hay caudales es porque aún no se han definido, pues usualmente están fuera del municipio.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

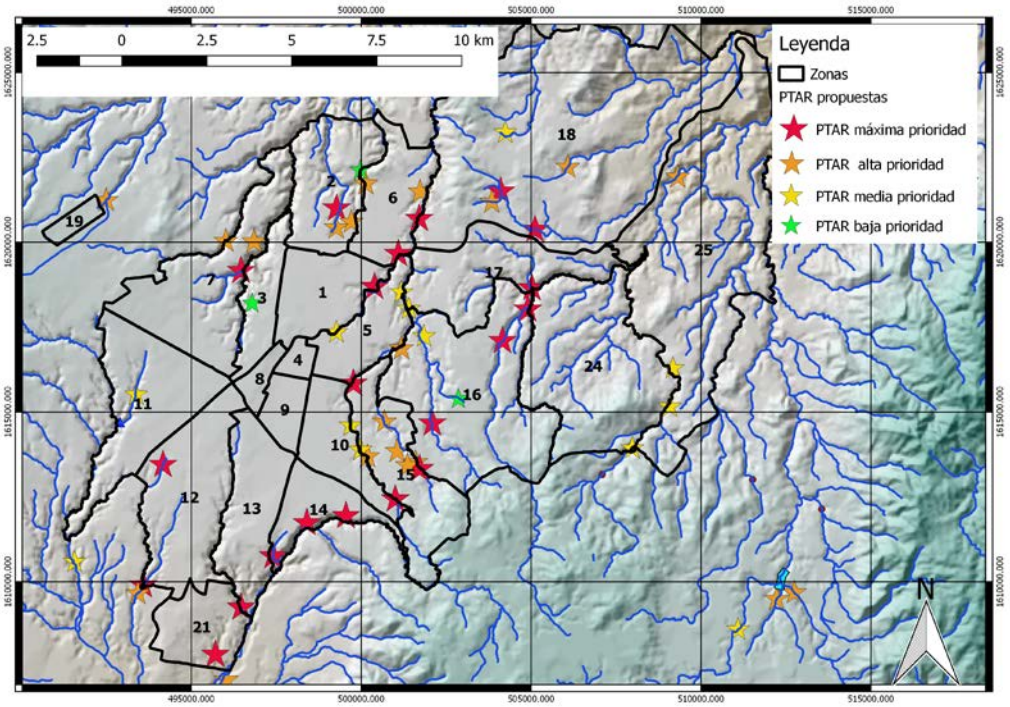


Figura No. 63 PTAR propuestas en SIG preliminar (Fuente: Elaboración propia).

Todas la PTAR propuestas en el cuadro anterior requieren diseños detallados. Las MEGAPLANTAS que aparecen en el listado, pueden convertirse en plantas más pequeñas, sin embargo, por ser una propuesta vigente se dejan como una opción. Como se puede ver en el Cuadro No. 32 el volumen a tratar con las megaplantas y las otras PTAR propuestas excede la actual descarga caracterizada en un 40%. Se utilizó un costo promedio de construcción de US$350.00 por m^3/día, que se obtuvo haciendo un promedio de los costos presentados en el estudio del programa de saneamiento del área metropolitana de Guatemala (BID, 2021).

Cuadro No. 32 Plantas propuestas, volúmenes y costos en base a prioridades (Fuente: Elaboración propia).

Prioridad	No. de plantas	Volumen a tratar (l/s)	m^3/dia	Costo US$
Prioridad 1	21	2,707.60	233,937	81,877,824.00
Prioridad 2	18	1,467.11	126,758	44,365,406.40
Prioridad 3	12	178.60	15,431	5,400,864.00
Prioridad 4	4	136.00	11,750	4,112,640.00
Total, sin Megaplantas	55	4,489.31	387,876	135,756,734.40
Megaplantas	4	9,630.00	832,032	291,211,200.00
Total	59	14,169.31	1,224,228	428,479,934.40

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Por ser necesario, hacer diseños detallados, se propone construir las plantas de la prioridad uno, fijando un monto anual, que conforme se mejoren tarifas y oros aspectos podrá ir incrementándose.

7.1.5 Manejo de la demanda

Actualmente la demanda que EMPAGUA considera de acuerdo a sus niveles de producción, número de clientes estudios previos y parámetros de diseño la dotación es entre 200 y 250 litros por habitante día (CASAM, 2002). Para otras instalaciones especiales EMPAGUA ha establecido dotaciones específicas. En el caso de las industrias están son muy variables y dependen de cada industria por lo que deben analizarse individualmente, actualmente la mayoría de las industrias dentro del perímetro urbano se autoabastecen con pozos, sin embargo, la mayoría descargan al sistema de drenaje municipal. Esto puede afectar negativamente la calidad del agua tanto superficial como subterránea y por ello debe controlarse adecuadamente. Al proyectar las demandas es muy importante tomar en cuenta no solo el crecimiento de la población, sino las posibilidades de la oferta del recurso para garantizar la seguridad hídrica. La demanda se puede reducir aplicando varias técnicas i) uso de artefactos de menor consumo (sanitarios, mingitorios, etc.) que puede lograrse a través de incentivos y reglamentos; ii) incremento sustancial de tarifas a consumos excesivos; iii) colocación de contadores y cobro efectivo de las tarifas y iv) campañas de concientización en el uso adecuado del agua.

Para el caso del municipio de Guatemala ya cuenta con una normativa que es el acuerdo No. COM-24-2020 el cual indica que la instalación de artefactos ahorradores de agua dentro de la Ciudad de Guatemala a todo nuevo proyecto será obligatoria. Con respecto a las tarifas, como ya se indicó anteriormente en el diagnóstico estas de por si son insuficientes, por lo que se requiere una revisión e indexación de dichas tarifas. EMPAGUA si presta sus servicios con contador, sin embargo, este no es el caso en muchos municipios, aún en el área metropolitana. Las campañas de concienciación aún son insuficientes, lo que requerirá mejorar las tarifas y hacer más conciencia, no solo en el uso de contadores sino en el pago de las tarifas por todos los ciudadanos y las instituciones.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

7.1.6 Nuevas fuentes de agua

La posibilidad de nuevas fuentes de agua superficial en el caso del municipio de Guatemala, dentro del municipio es prácticamente inexistente. De hecho, ya hay trasvases importantes como el del acueducto Xaya-Pixcaya y Teocinte, y por muchos años se ha considerado la construcción del proyecto Noroccidental como un proyecto técnicamente viable del PLAMABAG (TAHAL, 1982) , pero que en las condiciones actuales y ante la falta de una ley general de aguas, política, legal y socialmente es muy poco viable. Adicionalmente existe la posibilidad de utilizar como almacenamiento el lago de Amatitlán, existe una propuesta a nivel de perfil de un proyecto que se podría establecer para surtir de agua no solo al municipio de Guatemala sino al área Metropolitana y cuya inversión sería muy similar a los recursos actuales que se requerirían para la construcción del proyecto Noroccidental. Este proyecto, por estar fuera de los límites del municipio, y por ser un proyecto que debería realizarse a nivel metropolitano no se considera como parte del GIAU para el municipio de Guatemala. Hay una nueva propuesta en análisis de una modificación al proyecto Noroccidental aprovechando parcialmente la infraestructura del proyecto Xaya-Pixcaya, sin embargo, está aún requiere validación.

Las fuentes de agua subterránea son las que se han estado implementando, ya sea a través de proyectos municipales, en el caso del municipio de Guatemala con el proyecto de agua en bloque, y con la construcción de pozos privados. Estas fuentes a mediano y largo plazo son insostenibles, especialmente en las áreas urbanas por cuatro razones; i) la impermeabilización que reduce la recarga natural del acuífero; ii) la falta de regulación (Ley de agua) en la perforación de pozos, con la consiguiente explotación del agua subterránea sin ningún límite; iii) limitado conocimiento del comportamiento real de los acuíferos y iv) la escasa sostenibilidad del recurso hídrico precisamente por las razones previas. En general el uso de agua subterránea puede ser una solución viable si se maneja técnicamente el recurso conforme a las condiciones de hidrogeológicas del acuífero. Para el caso de la región metropolitana, incluido el municipio de Guatemala, el informe del Estado del Agua 2022 (FUNCAGUA, 2022) es claro al indicar que no hay suficiente información para establecer una línea base realista del estado del recurso a nivel de la

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

región metropolitana, aunque es evidente que el acuífero está bajo una intensa presión para satisfacer la demanda generada.

Las fuentes alternativas son aquellas provenientes de la cosecha de agua de lluvia, el reúso de agua y el reciclaje. Ya se mencionó que se pueden hacer algunos proyectos de agua de lluvia. El reúso de agua se considera se debe aplicar a nivel de nuevos edificios o construcciones, haciendo las redes separativas que permitan la recirculación de aguas dentro de un proyecto para que el agua se reúse en diferentes formas, esto se implementara a través de un reglamento amarrado al reglamento de construcción, por lo que todos los nuevos proyectos consideren tanto agua de lluvia como reúso de agua en sus instalaciones.

A futuro se debe trabajar en mayores esfuerzos para hacer un trabajo coordinado a nivel de la región metropolitana, pues los temas de agua, saneamiento, transporte y movilidad no pueden seguir tratándose aisladamente, pues hay una interacción entre todos los municipios. El ejemplo más palpable es el acuífero, donde todos están extrayendo agua del mismo acuífero y la incidencia, impactos y efectos se reflejan para todos los involucrados.

7.1.7 Reciclaje de aguas Residuales

Previo a llegar a esta etapa, será necesario tener más PTAR, como se mencionó en el inciso de control de descargas, por lo que, aunque se debe tomar en cuenta en el diseño de estas, no se considera viable en la fase inicial del Plan.

7.1.8 Mejoras y mantenimiento de los servicios

No se puede pretender desarrollar al futuro, sin dar mantenimiento y manejar adecuadamente la infraestructura y servicio actual. Así el plan de mejora continua del servicio debe incluir acciones como rehabilitaciones de infraestructura existente, la reducción de fugas a través de un manejo dinámico de la red, la automatización incorporando el SIG como un elemento de control y por supuesto aspectos de atención al usuario, incrementando calidad, cantidad y continuidad. De los documentos utilizados para el prediagnóstico se definen las siguientes actividades.

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Un servicio al usuario con cantidad, calidad y continuidad adecuados es uno de los objetivos principales de cualquier sistema de agua y saneamiento, por lo que no solo es importante impulsar avances y cambios al sistema sino mantener y mejorar la infraestructura y los servicios existentes.

7.1.8.1 Control automatizado de redes

Dentro del control automatizado de redes entran tres aspectos primordiales: i) el conocimiento de la infraestructura existente y su actualización permanente; ii) su control y iii) la modelación. Las acciones específicas en este aspecto son:

Sistema de información Geográfica: Mantener el Sistema actualizado y accesible tiene un rol de gran importancia como herramienta de integración de las diferentes acciones, como herramienta de control del comportamiento del agua en todo el sistema. La consolidación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) como una herramienta para mejorar la administración de la infraestructura y con ello mejorar la distribución del agua. Se inicia con la digitalización a detalle de los 31,700 km de la red de agua potable, las instalaciones como plantas de tratamiento de agua potable y residual, los sistemas de drenaje pluvial y sanitario. Este proceso se realizará con tecnología de punta que ya se ha desarrollado, que permite en cada mantenimiento y reparación recabar datos para verificar y ajustar la información en el SIG. Incorpora imágenes y videos que permiten conocer el estado de la infraestructura. Este desarrollo permitirá a futuro modelar la operación a detalle y prestar un servicio más eficiente.

Automatización de puntos de control: es necesario establecer puntos de monitoreo automáticos (SCADA) para hacer un manejo eficiente de la red, esto incorporado dentro del SIG para tener una cobertura espacial de los efectos. Estableciendo inicialmente dos puntos de control en cada uno de los sistemas de agua potable y uno en cada uno de los colectores principales se requerirán al menos 15 equipos.

Modelación del sistema: al integrar los datos de automatización en el SIG, se puede usar como una herramienta efectiva de modelación de escenarios, pronósticos y toma de decisiones oportunas. Aquí se asume la contratación de modeladores

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

especializados, modelando inicialmente para establecer un modelo hidrológico de la zona urbana, una red de agua doméstica, una red de drenaje y una PTAR.

7.1.8.2 Aumento del Almacenamiento

Una de las limitaciones importantes detectadas en el prediagnóstico era el limitado almacenamiento y que fue corroborado en la evaluación DUSA. El almacenamiento se puede mejorar mejorando los tanques existentes, y construyendo nuevos tanques colocados en forma estratégica. Adicionalmente buscando sitios de almacenamiento aprovechando los barrancos en los alrededores de la ciudad. Esta última opción, sin embargo, solo se puede llevar a cabo si primero se tratan las descargas de aguas residuales. Esta limitante hace que en este plan GIAU solo sea considerada la construcción de algunos tanques y la reparación y mejora de los existentes.

7.1.9 Temas Legales, financieros e institucionales

Los reglamentos referentes a agua potable, saneamiento, desechos sólidos y tarifas deben ser actualizados y aprobados por el concejo municipal, pues son necesarios e indispensables para lograr los avances requeridos. Adicionalmente es necesario crear un reglamento para que se tomen medidas de diseño sensible al agua en los nuevos desarrollos y proyectos de construcción.

Una serie de normativas de diseño, acompañadas de sus guías metodológicas, de las SBN, así como un procedimiento normativo para el diseño, construcción y operación de PTAR, esto permitirá licitar con mayor facilidad las PTAR e incluso que sean operadas por un tercero. Este proceso debe incluir que el diseñador sea el constructor y el operador de la PTAR para asegurar su debida operación por un periodo de 5 a 10 años como mínimo.

Apoyar el proceso de creación de: una ley general de aguas y de una ley para crear un ente regulador de agua potable y saneamiento.

En la parte institucional es necesario:

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

- Definir los costos de producción y operación administrativa para determinar las tarifas reales y que estas se reflejen en el Reglamento de Tarifas de agua potable y saneamiento.
- Hacer los estudios necesarios de reorganización, reingeniería etc.,

7.2 ESCENARIOS

Para lograr una propuesta coherente es necesario analizar varios escenarios. Aquí se propone analizar al menos cinco escenarios, el primero prácticamente sin ninguna intervención, el segundo una intervención mínima con bajos niveles de inversión y manteniendo condiciones operativas, una tercera con una intervención media con algunos incrementos de caudal y alguna inversión, la cuarta una intervención más positiva con proyectos de inversión para obtener caudales importantes para el suministro y finalmente una intervención alterna utilizando caudales alternos para mejorar el abastecimiento. Los escenarios de producción se contrastan contra una demanda creciente sin ninguna intervención en la misma y luego contra una manejando la demanda. Los escenarios se describen a detalle y específicamente para el municipio de Guatemala en el Cuadro No. 33.

Las Figura No. 64 y 65 describen gráficamente la situación. Al comparar en el tiempo los diferentes escenarios asumiendo una demanda creciente (Cuadro No. 33) se puede observar que aún con los escenarios de oferta más optimista no se podrá cubrir la demanda de ninguna manera. Por otro lado, al hacer una modificación en la demanda se logrará que varios escenarios logren cumplir con la misma.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 33 Escenarios de oferta de producción de EMPAGUA elaboración propia en base a (EMPAGUA, 2019)

Escenario	Incremento-decremento oferta (m^3/s)	Infraestructura y acciones requeridas	Oferta Total en 2037 (m^3/s)	Déficit en 2037 (m^3/s)	Viabilidad de Ejecución
Negativo	-1.40	No hacer nada	3.00	-7.00	Alta
Mínimo	1.00	Xaya-Pixcaya complementario y se mantiene capacidad de pozos y plantas actuales	5.94	-4.00	Alta
Medio	2.50	Se obtiene más agua en bloque, Xaya-Pixcaya Complementario, 1.5 m^3/s de algún proyecto extraído del PLAMABAG	7.64	-2.54 sin modificar demanda + 1.02 modificando demanda	Media Baja
Optimista	6.50	Todos los anteriores y se logra la construcción del Noroccidental	11.64	+1.14 sin modificar demanda + 4.12 modificando demanda	Baja
Optimista alterno	5.00	Xaya-Pixcaya complementario y se mantiene capacidad de pozos y plantas actuales. Se potencia la recarga de acuíferos y se da tratamiento a aguas residuales, rebombeando en sitios aguas abajo para retroalimentar la red recuperando el 30% de las aguas residuales	9.20	-0.98 sin modificar demanda + 1.67 modificando demanda	Media Alta

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

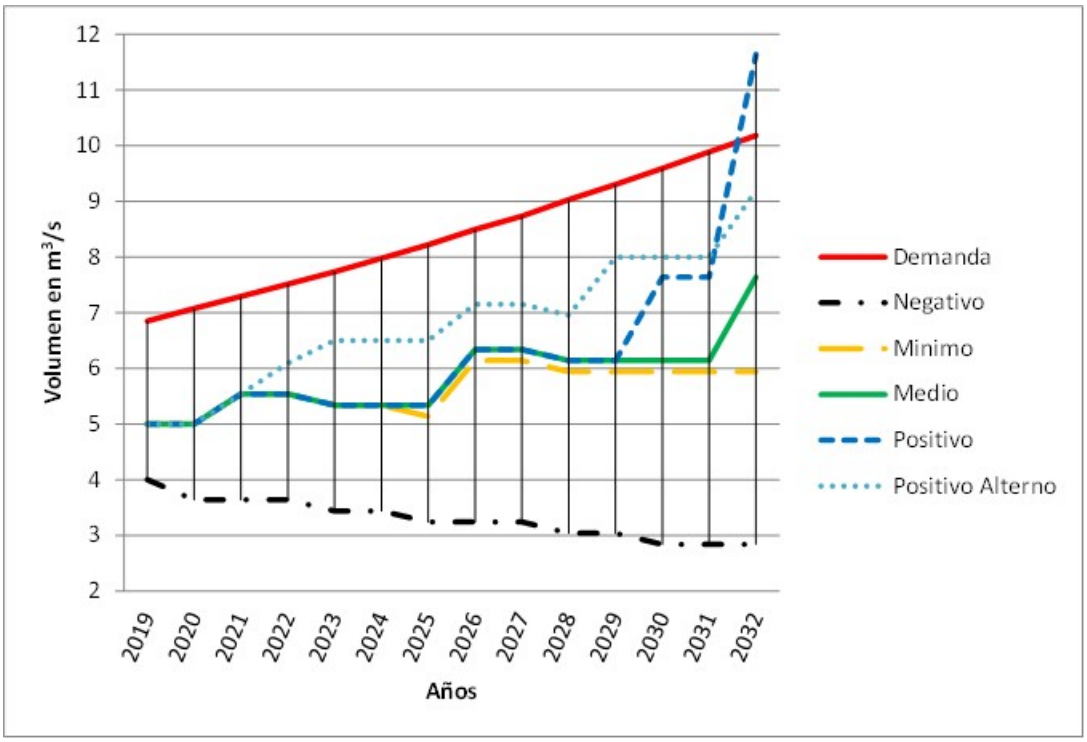


Figura No. 64 Escenarios con demanda constante elaboración propia en base a (EMPAGUA, 2019).

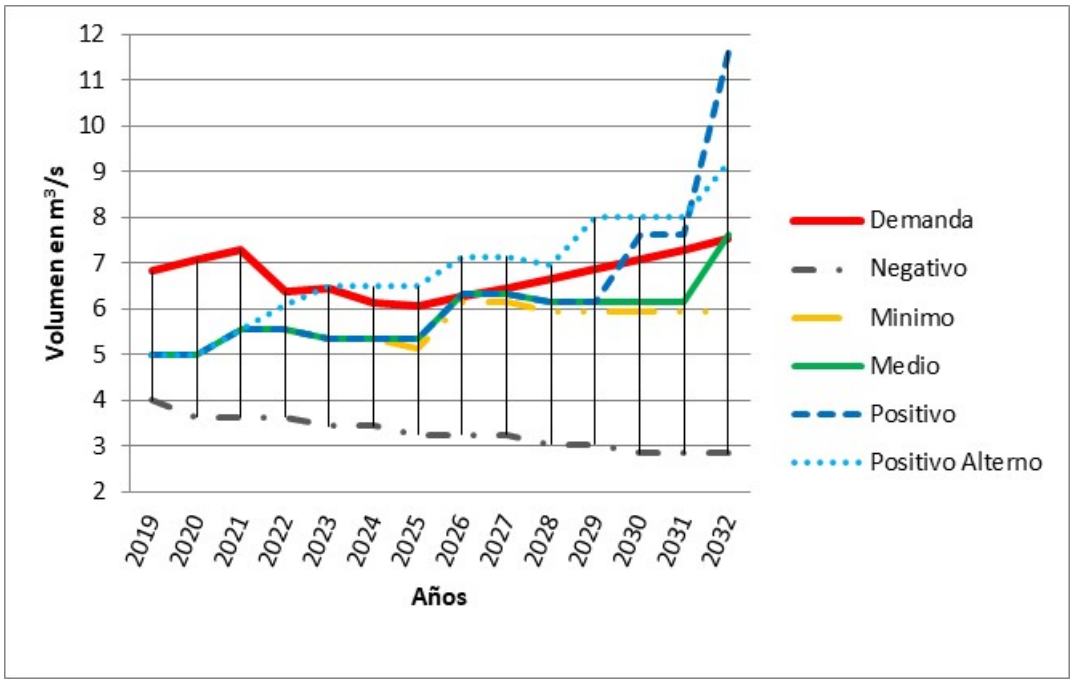


Figura No. 65 Escenarios con demanda ajustada elaboración propia en base a (EMPAGUA, 2019).

En cualquier caso, es obvio que es necesario hacer un manejo de la demanda para asegurar que la oferta pueda cumplir con la demanda proyectada. Como ya se mencionó el manejo de la demanda debe realizarse a través de incremento de tarifas después del umbral esperado de 150 l/Hab/día para residentes y 50 l/Hab/día para la población flotante, así como por el uso de artefactos de bajo consumo.

La aplicación de otras medidas como el reúso, reciclaje y recolección de agua de lluvia también contribuirá a la reducción de la demanda. Para preparar el plan se utilizará el escenario positivo alterno, que se considera más viable, que solo buscar fuentes tradicionales, que si bien logran volúmenes de mayor magnitud su ejecución es más complicada y con poco control de parte del municipio.

7.3 PLAN GESTIÓN INTEGRADA DE AGUAS URBANAS (GIAU) DEL MUNICIPIO

El Plan de Gestión Integrada de Aguas Urbanas para el Municipio de Guatemala se estructura de una forma más operativa tomando como base a los objetivos para alcanzar una gestión integrada de aguas urbanas que logre un alto grado de seguridad hídrica en el municipio y con un horizonte de cinco años para su actualización. El plan se realiza tomando en cuenta el escenario de reducción de la demanda denominado como positivo alterno, e incluyendo los proyectos verdes que realizaran los privados en los nuevos desarrollos, así como los proyectos pilotos.

El plan se construye en función de los objetivos principales a alcanzar. E incluye algunas acciones ya identificadas en los talleres con EMPAGUA (EMPAGUA, 2018). El costeo es aproximado con precios unitarios o totales en US$, para su fácil comparación y sin tomar en cuenta los costos adicionales que se puedan derivar de costos de contratación, licitaciones o impuestos especiales. Como algunas de las acciones son para aplicarse a múltiples propósitos, por ejemplo, los proyectos de cosecha de agua de lluvia, incrementa la oferta, pero a su vez disminuyen la escorrentía, hace necesario que la organización se haga en base a los objetivos a alcanzar en el plan, aunque la interrelaciones se mezclen.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

El Cuadro No. 34 muestra las acciones y objetivos directos del plan, pero además muestra las interacciones para lograr la gestión integrada. Por ejemplo, cosecha de agua de lluvia en color celeste interactúa i) con el aumento de almacenamiento y ii) con fuentes no tradicionales, mientras que los temas legales, financieros e institucionales lo hacen con: i) Control automatizado de redes pues permitirá controlar las pérdidas y operación del sistema mejorando los tiempos de respuesta y la recaudación; ii) la capacitación y la planificación futura, con reglamentos y recursos; iii) las fuentes no tradicionales a través de normativas e institucionalizando los conceptos DUSA; iv) en administración de la demanda definiendo reglamentación y tarifas y v) apoyando indirectamente a mejora del entorno y el ambiente con mejores prácticas institucionales.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 34 Interrelaciones del plan GIAU (Fuente: Elaboración propia).

Objetivos del Plan	Acciones de Integración								
	Cosecha Agua lluvia		SUDS/SBN	Manejo desechos y residuos sólidos	Manejo de la Demanda	Nuevas Fuentes	Reciclaje Aguas Residuales	Mejoras y mantenimiento de los Servicios	Temas legales, Financieros e institucionales
Acciones específicas	Predial	Zona							
a) **Mejora del Servicio al Usuario**									
a. Control automatizado de las redes									
b. Aumento del almacenamiento									
c. Atención al usuario									
d. Continuidad del Servicio									
e. Capacitación y fortalecimiento institucional									
f. Planificación a futuro									
b) Incremento de la Oferta									
a. Fuentes tradicionales									
Proyecto Xaya-Pixcaya complementario									
Pozos complementarios para zonas específicas									
Proyecto Noroccidental Modificado									
b. Manejo dinámico de la red y disminución de fugas									
c. Fuentes no tradicionales									
Marco conceptual de DUSA									
Cosecha Agua de lluvia									
Normativas de diseño y Guías de Soluciones Basadas en la Naturaleza									
Normativas y Guías de diseño, contratación y operación para PTAR									
Promoción y acciones de SUDS y SBN en proyectos privados									
Reúso de Caudales									
c) Administración de la Demanda									
a. Reglamentos									

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Objetivos del Plan	Acciones de Integración								
	Cosecha Agua lluvia		SUDS/SBN	Manejo desechos y residuos sólidos	Manejo de la Demanda	Nuevas Fuentes	Reciclaje Aguas Residuales	Mejoras y mantenimiento de los Servicios	Temas legales, Financieros e institucionales
Acciones específicas	Predial	Zona							
Actualización del Reglamento de agua potable									
Actualización del Reglamento de Saneamiento									
Actualización del reglamento de Desechos Sólidos									
Actualización del Reglamento de Tarifas de Agua y Saneamiento									
Creación de Reglamento de Tarifas de tratamiento de Desechos sólidos									
Creación de Reglamento de Impactos Hidráulicos o Hídricos									
b. Campañas de difusión									
c. Tarifas									
d) Mejora del Medio									
a. Control de Descargas									
b. Recarga de acuíferos									
c. Monitoreo y Control Ambiental									
e) Mejoras al entorno									
a. Manejo de descargas de lixiviados									
b. Proyectos regionales (área metropolitana) de agua y saneamiento									
c. Apoyo en generación de leyes y reglamentos regionales y nacionales									
d. Incorporación de SUDS y SBN en proyectos de los sistemas urbanos municipales									

A continuación, se detallan cada una de las acciones específicas y su costo aproximado en la estructura que quedarían en el plan.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

7.3.1 Mejora de Servicio al usuario

La mejora en el servicio al usuario es un concepto que se debe arraigar en todo el personal, la razón de la empresa es que el usuario se encuentre satisfecho con el servicio, y que tanto el personal como las instalaciones están debidamente equipados para prestar el mismo.

7.3.1.1 Control Automatizado de redes

- **Sistema de información Geográfica**: Este proceso como ya se mencionó, se realizará con tecnología de punta que permite aprovechar el mantenimiento y reparaciones diaria para recabar datos que permiten verificar la información en el SIG. La modelación futura de los sistemas facilitará un servicio más eficiente. Costo estimado en base a días hombre de programación y mantenimiento (10 personas dedicadas, 261 días anuales a US$100 por día), verificación en campo (las cuadrillas de mantenimiento parcialmente dedican su tiempo a recopilar información por lo que su costo se considera dentro del mantenimiento), y el hardware adicional (3 computadoras, almacenamiento adicional, impresoras y plotter una suma global estimada de US$100,000 en cinco años).
- **Automatización de puntos de control:** El establecimiento de 15 puntos de control de monitoreo automáticos (SCADA) requerirá al menos 15 equipos con un costo estimado promedio cada uno de US$ 25,000 basado en un precio promedio de diferentes proveedores.
- **Modelación del sistema:** para complementar es necesario para desarrollar los modelos. Aquí se asume, que la forma más eficiente de hacerlo es a través de la contratación de modeladores especializados, modelando inicialmente para establecer un modelo hidrológico de la zona urbana, una red de agua doméstica, una red de drenaje y una PTAR. Es decir, cuatro modelos a un precio promedio de US$ 50,000.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

7.3.1.2 Aumento del almacenamiento

El limitado almacenamiento es un tema que se debe abordar. Esto se puede hacer de dos maneras construyendo tanques elevados en puntos estratégicos y haciendo embalses para almacenamiento. El costo promedio estimado de cinco tanques nuevos de almacenamiento es de US$ 200,000.00.

Los embalses, solo se consideraron los que pueden construirse dentro del municipio, y se definieron preliminarmente usando la información en el SIG. Algunos de ellos tienen múltiples propósitos. El del río Los Ocotes puede proporcionar agua potable y controlar crecidas aguas abajo, el grado de contaminación es aún bajo y no requeriría una inversión muy alta en PTAR, pero es una zona con baja densidad de drenaje, además la presa puede integrarse al tema vial, pues se encuentra en un punto donde se requiere mejorar la interconexión entre la zona 24. La contaminación de la quebrada en zona 18 es relativamente baja, sin embargo, el estudio geotécnico y geológico en esta parte es muy importante porque es una zona kárstica. En el caso del embalse en río Contreras, el mismo se pretende sirva para recarga hídrica pues es una zona con bastantes pozos tanto públicos como privados. Finalmente, en el caso del río Molino es un área donde un embalse podría proporcionar bastante agua, sin embargo, la contaminación si es alta y parte de la misma proviene de otros municipios por lo que requiere hacer un análisis más detallado de las descargas y necesidades de PTAR provenientes de otros municipios. Con un costo aproximado de US$10,800,000.00 como se describen en el Cuadro No. 32.

Los embalses propuestos, requieren estudios más detallados de geología, geotecnia, hidrología y calidad de agua, además solo se puede llevar a cabo si primero se tratan las descargas de aguas residuales. Esta limitante hace que en este plan GIAU solo sea considerada la construcción de algunos tanques. la reparación y mejora de los existentes, y los recursos para los estudios a detalle de prefactibilidad y factibilidad y diseño de estos embalses estimado como un 10% del valor estimado para los mismos (US$ 1,000,000).

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

7.3.1.3 Atención al Usuario

Satisfacción del cliente/usuario del servicio de tal manera que sea parte da la cultura empresarial la atención al usuario, a todo nivel de la empresa y que la institución que lo presta sea bien calificada por los propios usuarios. Esto se debe hacer con recursos operativos. Deberán considerarse al menos US$100,000 anuales

7.3.1.4 Continuidad del Servicio

Se requieren varias acciones para mantener la infraestructura y no perder la capacidad de producción existente. No se han rehabilitado las plantas y la pandemia en 2020 paralizo el proceso de ejecución e inversión en los sistemas en base a los planes previos se debe:

- **Rehabilitación y modernización de Plantas de Tratamiento de Agua Potable.** Se hace un análisis situacional de cada planta y se priorizan las medidas a tomar, Con esto se mantendrán 1.97 m^3/s de la producción, y tendrá un costo de US$ 4,000,000 por cada una de las 5 plantas (EMPAGUA, 2019).
- **Rehabilitación de pozos existentes.** Es necesario rehabilitar 25 pozos para mantener un caudal de 0.7 m^3/s. El costo promedio de rehabilitación de pozos es de US$110,000 por pozo (EMPAGUA, 2019).
- **Sistemas de Remoción de elementos fuera de norma en pozos.** Algunos pozos han alcanzado profundidades donde aparecen parámetros en la calidad de agua que requieren procesos de tratamiento para su remoción (arsénico, boro). Aunque no es en todos los pozos se estima que al menos 13 pozos en un periodo de 5 años tendrán problemas similares y un costo por pozo de US$ 125,000 para mantener un caudal de 0.3 m^3/s (EMPAGUA, 2018).
- **Sistemas de pretratamiento.** Las aguas superficiales están muy contaminadas, debido a descargas principalmente sanitarias a los cauces, muchas veces provenientes de otros municipios, esto implica implementar procesos, que permita mejorar la calidad de las aguas previo a su ingreso en la planta de tratamiento de agua potable. Esta infraestructura de pre tratamiento debe incorporarse en las siguientes plantas Hincapié 100 l/s, Atlántico 200 l/s, San Antonio 60 l/s, Xayá-

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Pixcayá 400 l/s, La Brigada 40 l/s, Pinula 60 l/s a razón de US$ 196,000 por litro (EMPAGUA, 2019).

- **Reemplazo de redes de distribución obsoletas.** Se propone cambiar 12 sectores prioritarios especialmente en zona 1, 2, 5, 7, 11, 18 y 21 donde están los tramos más antiguos de la red. Cada tramo requiere una inversión media de US 250,000. Esto permitirá reducir las pérdidas existentes en un 25%, incrementando los caudales disponibles en cada zona en por lo menos un 10%, al recuperar una cuarta parte de la perdida (EMPAGUA, 2018).

7.3.1.5 Capacitación y fortalecimiento Institucional

Aquí se incluyen mejoras para capacitación del personal en temas de atención al cliente, conocimiento de diseño sensible al agua, procesos de actualización en tecnologías y procesos. Mejorar los procesos de comunicación interna, reducir al mínimo uso de papel y generar procesos automatizados de trabajo con un costo de US$ 400,000.

7.3.1.6 Planificación a Futuro

En la línea de una gestión integral, EMPAGUA maneja una cartera de proyectos que pretende llevar a la empresa a un desarrollo constante y de esa manera ofrecer calidad en el servicio, tomando en consideración la importancia del mantenimiento del sistema general y la sostenibilidad del recurso hídrico, se buscará la introducción de nuevas fuentes de producción de agua superficial. Aquí el SIG es una herramienta fundamental para la elaboración de proyectos y planes a largo plazo. Esto debe ser parte de la Unidad de Planificación Municipal y de EMPAGUA. Estimado US$ 100,000 anuales.

7.3.2 Incremento de la Oferta

Para incrementar la oferta se incluirá algunos procesos tradicionales de acciones ya existentes, aprovechando al máximo lo que ya existe y buscando nuevas opciones.

7.3.2.1 Fuentes tradicionales

- **Proyecto Xayá-Pixcayá complementario** el proyecto fue construido para transportar el doble de agua de la que realmente se captó. La idea de este proyecto es comprar agua en bloque a empresas privadas, para que perforen pozos a lo largo

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

de la línea de conducción del proyecto e incrementen el caudal. La inversión corre por cuenta del privado, pero se debe prever la compra del agua, para lo que se estiman un costo anual de US$ 10,000,000, esto permitirá incrementar caudal en 1.5 m^3/s.

- **Proyecto de perforación de pozos.** Se definió la construcción de cinco nuevos pozos en zonas las zonas 7 y 18, que por la densidad de población y baja disponibilidad requieren urgentemente proporcionar servicio. El costo estimado es de US$ 3 millones.
- **Modificado Noroccidental**. El estudio de Seguridad Hídrica para la región metropolitana (AECID-TRAGSA, 2023). desarrollo una propuesta modificando el proyecto Noroccidental con una serie de trasvases y el uso parcial del acueducto Xaya-Pixcaya, para reducir la longitud del acueducto. Caudal incrementado de 3.5 a 4 m^3/s dependiendo de la alternativa que se seleccione. El costo estimado de este proyecto según el estudio es de US$ 62,700,000,000.

La construcción de cuatro embalses para almacenar agua de lluvia: Río Molino, Río Los Ocotes, Quebrada en Zona 18 y el Río Contreras ya se detallaron en el tema de aumento de almacenamiento en Mejora de Servicio al Usuario, sin embargo, son parte de las fuentes que pueden incrementar la oferta.

7.3.2.2 Manejo dinámico de la red y disminución de fugas

En este componente se incluye un programa de reducción de agua no contabilizada y uno de manejo y control de la red de distribución. Consiste en la recuperación del agua no contabilizada por pérdidas de carácter físico y comercial que contribuyan a mejorar la calidad del servicio de agua potable y a mejorar los ingresos por venta del servicio de agua potable, esto incluye macro medición, sectorización de la red, equipos de detección de fugas no visibles, sistema de alerta temprano, sistema de información geográfica junto con modelo hidráulico, catastro de la red y micro medición.

Se inicia con el establecimiento de macro medidores y controles automatizados en diferentes puntos de la red. Esto ayudara en la elaboración de diagnóstico de la red de

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

distribución y la identificación de sectores prioritarios (deterioro de tuberías, cantidad y calidad del agua). Asignando presupuesto para el remplazo de la red de distribución.

Este proyecto se relaciona con el SIG para manejar toda a modelación y ayudar a la disminución de agua no contabilizada. El costo estimado para el manejo dinámico de la red es US$ 1,000,000.

7.3.2.3 Fuentes no tradicionales

Es necesario describir las fuentes no tradicionales y los marcos generales de diseño sostenibles. Se proponen las acciones siguientes.

- **Marco general DUSA:** es necesario establecer un documento guía del marco general del diseño urbano sensible al agua (DUSA) que sirva para desarrollar las normativas y guías de SUDS y SBN. Se estima un costo de una consultoría de US$150,000.
- **Cosecha Agua de lluvia** A nivel de predio y urbanizaciones se debe promover el uso de agua de lluvia en todos los proyectos nuevos, a través de bonos verdes o incentivos en reducción de impuestos. Se debe beneficiar de acuerdo al volumen almacenado y el reúso del agua en riego u otros servicios no potables. Para hacer más atractiva esta opción las tarifas de agua potable debe ser con valores realistas, lo que hará más atractivo económicamente implementarlas, por el ahorro en el costo del servicio. La municipalidad debe continuar con la implementación de estos sistemas en escuelas y mercados, aunque siempre estarán limitados por el tema espacio. A nivel de urbanizaciones y proyectos grandes se pueden integrar con otras opciones y permitir almacenamientos más grandes en las áreas verdes de una urbanización, y usar el agua pluvial para riego y servicios comunes. Esto dentro del plan solo requiere: i) **Estudio para el establecimiento de incentivos**: Es necesario hacer un estudio que analice como se deben establecer los incentivos, desde el punto de vista legal, cuál debe ser su monto, su figura financiera y su aplicación, se estima un costo de consultoría de US$25,000; ii) **Modificación en los reglamentos de construcción** para hacer estas prácticas parte del diseño para reducir el impacto hidráulico en la infraestructura municipal, esto se debe combinar con el diseño urbano sensible al agua (Anexo III de borrador de

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

reglamento). Esto requiere la contratación de una consultoría US$50,000 y iii) **Proyectos de agua de lluvia en escuelas y mercados** construir al menos tres proyectos de cosecha de agua de lluvia por año, aproximadamente US$150,000 anuales.

- **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN):** Alguna de las acciones a implementar van relacionadas con el reglamento propuesto en el inciso anterior y el reglamento de construcción y los incentivos. Pero adicionalmente se requiere i) hacer fichas para el diseño de los diferentes elementos (especialmente para las 10 acciones que requieren diseño dentro de las instalaciones a nivel privado que se muestran en el Cuadro No. 21 anterior). Se estima un costo de consultoría de US$200,000; ii) Capacitar personal municipal y profesionales privados en el diseño urbano sostenible, y darles alguna certificación para asegurar diseños adecuados de las obras, con un costo para la capacitación de US$150,000; iii) Proyectos pilotos de recarga (al menos uno en cada una de las zonas 7, 16 y 6) con un costo de consultoría de US$100,000; y iv) Diseñar los nuevos proyectos municipales con criterios SUDS/SBN. Estas acciones, con excepción de las zonas de recarga que se detallan en recarga de acuíferos en la sección 7.3.4.2 siguiente, son costos que asumirán los privados o dentro de los costos operativos normales.
- **Normativas de PTAR** Para que las PTAR funcionen adecuadamente y se puedan reusar sus caudales es necesario que operen eficientemente, se propone que se use el método llave en mano, es decir que las plantas sean diseñadas, construidas y operadas al menos por 3 años por el mismo contratista. Esto asegura que la planta cumplirá con lo solicitado en el diseño. Ante la falta de legislación nacional es necesario elaborar Términos de Referencia para este proceso. Se asume un costo de US$250,000.
- **Promoción de acciones SUDS y SBN con el sector privado**: las normas, guías deben ser difundidas con el sector privado a través de documentación, talleres con las cámaras de construcción, proveedores y diseñadores. Se asume un costo de US$250,000.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

- **Reúso de caudales:** por un lado, la construcción correcta de PTAR permitirá construir los embalses propuestos para mejorar la disponibilidad, e incluso reusar el agua tratada directamente para otros usos incluyendo agua potable si se cumple el estándar. Por otro lado, el reúso dentro del predio en los proyectos. En este sentido se deben establecer proyectos pilotos, para establecer 3 plantas pequeñas o medianas con al menos tratamiento terciario, para analizar la factibilidad de potabilizar el agua y reciclarla. Estos proyectos se incluyen en la sección siguiente 7.3.4.1.

7.3.3 Administración de la demanda

La demanda se puede reducir aplicando varias técnicas

7.3.3.1 Reglamentos

Establecer mandatario el uso de artefactos de menor consumo (sanitarios, mingitorios, etc.) a través de incentivos y reglamentos (actualmente se emitió esta normativa a nivel municipal No. COM-24-2020 pero se debe trabajar en reforzarla y aplicarla). Se deben incluir estos temas en los reglamentos de agua de lluvia, reúso, etc. ya mencionados en la oferta. Otros reglamentos que deben actualizarse o crearse son:

- **Actualización del Reglamento de agua potable:** para incluir acciones importantes para la gestión integrada, penalizar conexiones ilegales, etc. El costo estimado es de US$ 50,000.
- **Actualización del Reglamento de Saneamiento:** para incluir aspectos de drenajes combinados, PTAR privadas, conexiones y sus características y condiciones, considerando las condiciones actuales y futuras, así como la GIAU. Costo estimado es US$ 50,000.
- **Actualización del reglamento de Desechos Sólidos:** específicamente en el tema de recursos hídricos, debe incrementar sanciones por usar cauces y tragantes para depositar desechos sólidos, así como temas de reciclaje y reúso de los desechos. Costo estimado es US$ 50,000.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

- **Actualización del Reglamento de Tarifas de Agua y Saneamiento:** es hacer el análisis tarifario y determinar la tarifa correcta para hacer sostenibles los servicios de agua y saneamiento. Costo estimado es US$ 50,000.
- **Creación de Reglamento de Tarifas de tratamiento de Desechos sólidos:** es hacer el análisis para determinar las tarifas o tasas para el mantenimiento del servicio. Costo estimado es US$ 50,000.
- **Creación de Reglamento de Impactos Hidráulicos o Hídricos;** este reglamento es básico para que los desarrolladores privados puedan hacer las inversiones necesarias con conceptos de SBN y SUDS. Se debe analizar la viabilidad legal para su implementación, así como el impacto económico, y la aplicación de incentivos. Costo estimado es US$ 250,000.

Los reglamentos deben considerar establecer tarifas adecuadas para agua potable, saneamiento (desechos sólidos y aguas residuales y pluviales). Esto permitirá obtener los recursos para incentivos e infraestructura necesaria. A nivel municipal, lo que se puede trabajar, algunos de estos reglamentos deben estar estrechamente ligados al reglamento de construcción:

- **Reforzar los planes de ordenamiento territorial**, protegiendo de las zonas de recarga de los acuíferos, Esto se debe desarrollar en conjunto con el plan maestro de recarga de acuíferos que se detalla más adelante en el numeral 7.3.4.2 .
- **Reglamento de construcción** las licencias de construcción de los nuevos proyectos deben ir asociadas a la reducción de los impactos hidráulicos, exigiendo la reducción escorrentía (techos verdes, áreas permeables, tanques de retardo, zonas de recarga de acuíferos, etc.), reusando y reciclando agua, así como tratando adecuadamente las descargas. Esto ya se costeó en el inciso 7.3.2.3 y en los párrafos anteriores.

7.3.3.2 Campañas de difusión

Las campañas de concientización en el uso adecuado del agua son importantes para administrar la demanda. Requiera la elaboración de una estrategia de comunicación que se debe contratar con expertos, y luego implementar la estrategia ya en los diferentes medios de comunicación. Se deben hacer alianzas y uso de los medios de comunicación

USC UNIVERSIDADE DE COMPOSTELA

social, Los temas que debe incluir son desde campañas de reforestación, eliminación de basureros clandestinos, de donde viene el agua, lo que cuesta procesar el agua y tratarla tanto antes como después de usarla, cambio climático y lo que significa en el suministro, seguridad hídrica, la importancia de medir el consumo, divulgación de las normativas, etc.

La efectividad de la campaña se debe monitorear con encuestas a grupos focales para determinar su efectividad y hacer los ajustes necesarios en forma continua. Se estiman US$ 2.5 millones anuales

7.3.3.3 Tarifas

El mejor disuasivo para reducir la demanda son las tarifas, la colocación de contadores y el cobro efectivo de las mismas. Se debe considerar iniciar y hacer mejoras en el servicio previa a incrementar tarifas, para evitar conflictividad social. Las acciones específicas son:

- **Estudio Tarifario** que permita establecer una tarifa escalonada de acuerdo al consumo, estableciendo una tarifa que incentive la reducción de la demanda a través de incrementos sustanciales a los consumos excesivos y que permita cubrir los costos de operación y mantenimiento, así como los costos de inversión. El proceso debe concluir con una estrategia para la presentación a la Junta Directiva.
- **Aprobación de las tarifas** por la Junta Directiva y el Concejo Municipal.
- **Contadores eficientes** mejorar la recolección de los datos de los contadores, iniciar a contadores automáticos electrónicos para recabar información instantánea del comportamiento de la red.

Realización de los estudios para la tarifa de cobro se estiman en US$ 200,000.

7.3.4 Mejora del Medio

Se incluyen acciones generales cuyo objetivo es mejorar la calidad del medio natural

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

7.3.4.1 Control de descargas

En el control de descargas se cumple con la normativa, se reduce la contaminación de las aguas residuales, pero también aumenta la disponibilidad de agua reutilizable, Si el agua cumple con tratamientos exigentes incluso puede ser reutilizada como fuente de agua para potabilizar. Las acciones a seguir son:

- **Establecer un sistema de monitoreo de PTAR privadas** adecuado para las PTAR privadas exigidas por los EIA dentro del municipio. Se estiman US$60,000 anuales.
- **Red de PTAR municipal** Mejorar la red de PTAR para que, al menos en época seca, todas las descargas combinadas tengan al menos un tratamiento primario. Aquí se considera en forma de un sistema descentralizado, que puede hacerse a través de plantas medianas y pequeñas, iniciando con dos anuales en función de la priorización que se muestra en la Figura No. 66. A pesar de las complicaciones operativas, facilitaría su establecimiento por etapas, pues se requieren terrenos de menor área, inversiones más manejables y dentro del municipio. Se estima un costo medio por cada planta de tratamiento de US$ 0.7 millones es decir US$ 1.4 millones al año. Los costos están basados en estudio de FCAS/BID (AECID/FCAS/BID, 2021).

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

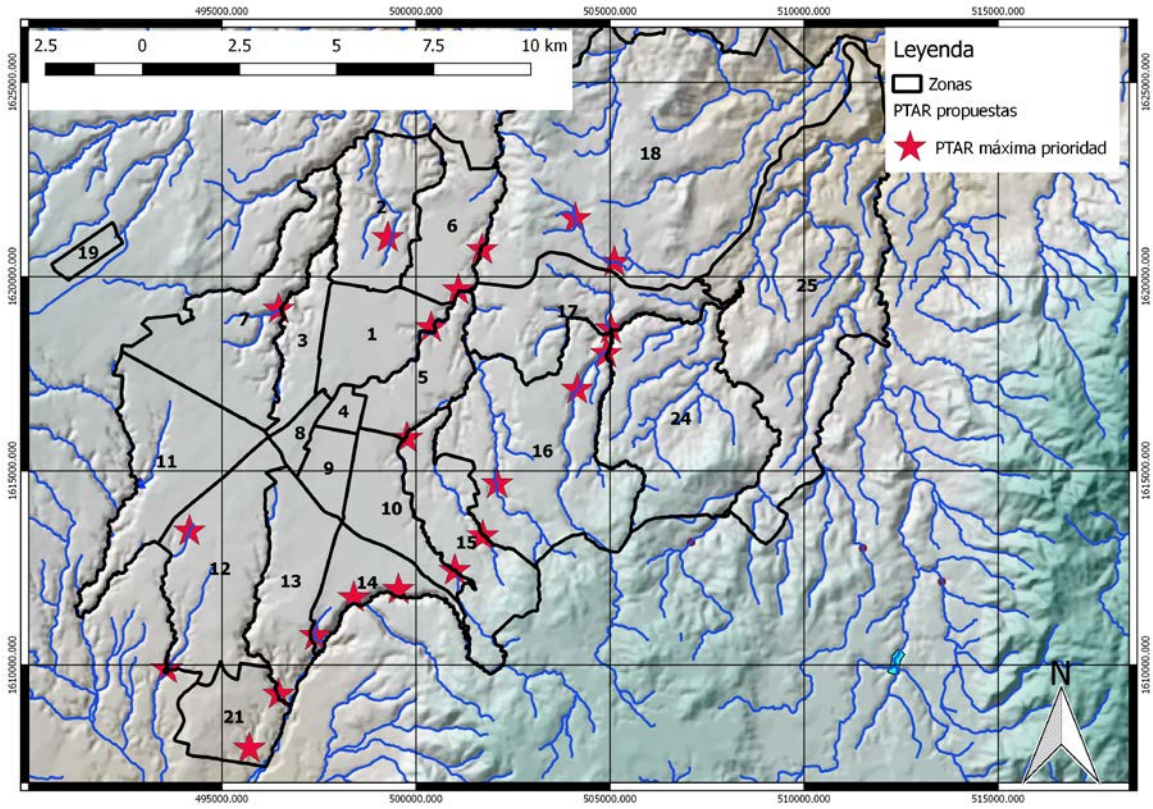


Figura No. 66 Plantas de Tratamiento priorizada en terrenos estatales (Fuente: Elaboración propia).

- **Proyectos Pilotos** de al menos 3 proyectos pilotos en zonas donde a las construcciones se solicitaron internamente sistemas separativos y hacer PTAR por sectores para descargar posteriormente al colector combinado. Esto debe incluir sistemas de monitoreo a detalle para establecer su conveniencia a implementar posteriormente. Se asumen proyectos que comprendan 250 casas lo que implica una inversión media de US 1 millón por proyecto es decir el triple para tres proyectos.
- **Humedales artificiales** Construir al menos dos humedales artificiales en las descargas, uno en la cuenca sur y otro en la cuenca norte para reducir la carga contaminante de los mismas, también bien monitoreados para establecer su viabilidad posterior. Se estima un costo de US$400,000 por proyecto.
- **Descargas pluviales** Asegurar reducción de la escorrentía incluyendo los sistemas de retardo, retención y biorretención. Las descargas netamente pluviales, redirigirlas a una zona de almacenamiento, para que puedan ser usadas ya sea para

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

recarga de acuíferos o directamente para potabilizar, se propone trabajar esto en el río Contreras inicialmente, por lo que entraría dentro de este proyecto.

7.3.4.2 Recarga de acuíferos

Se propone la elaboración de plan maestro de recarga de acuíferos para identificar en mayor detalle las zonas de recarga y el tipo de recarga que conviene. Ese programa ira a poyado con un programa de incentivos, con su respectivo reglamento. Adicionalmente se propone la implementación de 8 proyectos de recarga municipales que se identifiquen en el plan maestro de recarga hídrica. Se estima que el costo del plan maestro el desarrollo de los reglamentos requiere US$500,000 mientras que las inversiones en los 8 proyectos de recarga implicaran aproximadamente US$8,000,000. Una vez elaborado el plan maestro y diseñados los proyectos se gestionará el financiamiento para su implementación en una fase posterior.

7.3.4.3 Monitoreo y control ambiental

En base a las redes establecidas por diferentes proyectos e instituciones, como FUNCAGUA, INSIVUMEH, la red de pozos de EMPAGUA y la red hidrometeorológica de INSIVUMEH se establecerá un plan de monitoreo de los recursos hídricos superficiales y subterráneas, estableciendo una línea base, para medir la efectividad de todas las acciones de control de descargas. Esto debe ser parte de los componentes del SIG y sus costos están considerados dentro del mismo.

7.3.5 Mejoras al entorno

7.3.5.1 Manejo de descargas de lixiviados

Probablemente se requiera tomar algunas acciones a mediano y largo plazo para manejar regionalmente los desechos sólidos pues ya existen algunas propuestas ((BID/MARN, 2022). Pero hay acciones que se deben hacer en forma más inmediata:

- **Convertir el sitio de disposición final de la zona 3 en un relleno sanitario**, con su sistema de impermeabilización, planta de manejo de lixiviados y control de

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

gases, para ello se necesita un diseño (US$650,000) y la implementación del diseño estimado de US$12,000,000.

- **Reducir los volúmenes de basura en los sistemas de drenaje y basureros clandestinos**, con campañas de educación, establecimiento de multas onerosas para el incumplimiento, y sistemas de monitoreo y vigilancia. Esto se hará con fondos municipales dentro del plan de comunicación.
- **Campaña para la reducción de la generación de basuras** por los usuarios siguiendo los nuevos lineamientos del MARN, así como establecer tarifas adecuadas que motiven a los usuarios a generar menos desechos sólidos
- **Búsqueda de un nuevo sitio de disposición** que use tecnología moderna para convertir los desechos sólidos en energía, combustible u otro subproducto utilizable y no generar lixiviados. El estudio está en proceso por una cooperación con BCIE.

7.3.5.2 Proyectos regionales (área metropolitana) de agua y saneamiento

En este tema se tendrán que buscar fuentes de agua externas al municipio, por lo que la opción del lago de Amatitlán se deberá considerar, pues la propuesta del Noroccidental mejorado, por su alto costo y sin una ley de aguas sigue siendo poco factible, aunque debe seguir siendo considerada como una solución técnica para la disponibilidad a futuro. El proyecto del lago de Amatitlán, aunque queda como una sección en el plan, su ejecución requiere un proceso también de coordinación con otros municipios, AMSA y Gobierno central, que si bien es cierto debe iniciarse, su diseño e implementación a detalle llevara varios años y se puede considerar para un mediano plazo.

7.3.5.3 Apoyo en generación de leyes y reglamentos regionales y nacionales

En esta línea se propone apoyar iniciativas y colaborar con otras instituciones y municipios en:

1. Trabajar con otras instituciones para el establecimiento de la ley general de aguas y la de la institución reguladora de servicios básicos.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

2. Establecer entidades regionales para los temas de agua y saneamiento.
3. Trabajar con las autoridades correspondientes en reducir algunos desechos desde la producción como el poliestireno expandido (duroport), los empaques excesivos y los plásticos de un solo uso.

7.3.5.4 Incorporación de SUDS y SBN en proyectos de los sistemas urbanos municipales

La idea es que todos los nuevos proyectos municipales incluyan los conceptos de diseño urbano sensible al agua en todos los proyectos municipales, desde la construcción de aceras, remodelación de calles y espacios públicos, hasta en los edificios y otras obras que ejecute el municipio. Requiere capacitación, manuales de diseño, las cuales ya fueron incorporadas en 7.3.3.1 y 7.3.2.3

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

7.4 RESUMEN DE LAS ACCIONES DEL PLAN DE GESTIÓN

A continuación, se presenta un resumen de las acciones y una propuesta de cronograma para la ejecución del Plan. Sin embargo, es importante hacer notar, que como el monto total que se calculó, es considerable, este deberá revisarse y ajustarse de acuerdo a las líneas de financiamiento disponibles. También, se deben considerar algunos aspectos metodológicos o estratégicos que deben definirse previo a los ajustes del plan:

1. Definir si en el tema de saneamiento si se quiere considerar un sistema centralizado o descentralizado, pues esto definirá la necesidad de las Mega plantas de tratamiento de aguas residuales.
2. La decisión del Concejo Municipal de ajustar tarifas de acuerdo a las necesidades de los servicios y no a consideraciones electorales.
3. Considerar las estrategias y coordinación regional, que requiere para una solución a largo plazo del problema, pues los acuíferos, las cuencas y las fuentes de agua van más allá de los límites del municipio.
4. Adoptar un compromiso con la Gestión Integrada de Aguas Urbanas y promoverlo a nivel de proyectos privados y público, tanto en el municipio como en la región metropolitana.

El Cuadro No. 35 presenta un cronograma resumido a nivel anual de las diferentes actividades y sus costos. Se decidió establecer un periodo de 10 años, para distribuir en la inversión anual requerida. Se propone iniciar con las actividades relacionadas con reglamentos y tarifas por su relativo bajo costo, y algunas que se consideran necesarias para continuar prestando el servicio como los nuevos pozos y tanques para más almacenamiento, continuar con la implementación del SIG. Luego, se empiezan con las otras actividades, no solo para programarlas en los presupuestos y planes operativos anuales (POAS) sino para establecer las fuentes exactas de financiamiento.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 35 Resumen de Acciones del GIAU (Fuente: Elaboración propia).

Plan	Años										Costo Total en Miles de US$	Comentarios
Acciones específicas	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**		
a) Mejora del Servicio al Usuario											**197,710.00**	
a. Control automatizado											975.00	
Actualización de SIG											100.00	en cinco años quedará establecido y se convertirá en operación
Puntos de control automatizados											675.00	15 equipos de control en tres años a razón de $25,000 c/u
Modelación de sistemas											200.00	4 modelos a US$ 50,000 c/u
b. Aumento almacenamiento											11,060.00	
Tanques elevados											200.00	
Embalses											10,860.00	Aproximadamente inversión de US$ 67,725 por litro
c. Atención al usuario											100.00	

Plan	Años										Costo Total en Miles de US$	Comentarios
Acciones específicas	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**		
d. Continuidad Servicio											184,175.00	
Rehabilitación PAP											20,000.00	US$ 4 millones por cada planta
Rehabilitación 25 pozos											2,750.00	Rehabilitación de cada pozo US$ 110,000
rehabilitación13 pozos con parámetros fuera de norma											1,625.00	Cada pozo US$125,000
800 litros pretratados en a PAP											156,800.00	Cada litro recuperado estima EMPAGUA cuesta US$196,000 (Valor a revisar bajo esos montos no suena rentable comparado a nuevas represas)
!2 sectores de red rehabilitados											3,000.00	Cada sector aprox. US$ 250,000
e. Capacitación y fortalecimiento institucional											400.00	Cursos de Capacitación
f. Planificación a futuro											1,000.00	Se estima un equipo de personal que cuesta US$100,000 anuales

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Plan	Años										Costo Total en Miles de US$	Comentarios
Acciones específicas	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**		
b) Incremento de la Oferta											**158,725.00**	
a. Fuentes tradicionales											155,750.00	
Proyecto Xaya-Pixcaya complementario 1.5 m^3/s											90,000.00	Compra anual de agua en bloque US10 millones
Pozos complementarios para zonas específicas											3,000.00	Cada pozo estimado a US$600,000 cinco pozos
Proyecto Noroccidental Modificado agrega de 3.5 a 4 m^3/s											62,750.00	
b. Manejo dinámico red											1,000.00	
c. Fuentes no tradicionales											1,975.00	
Marco conceptual de DUSA											150.00	
Cosecha Agua de lluvia											975.00	US$75,000 el primer año para estudios y definición de incentivos luego US$ 150,000 anuales para

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Plan	Años										Costo Total en Miles de US$	Comentarios
Acciones específicas	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**		
												proyectos en escuelas y mercados
Normativas de diseño y Guías de Soluciones Basadas en la Naturaleza											350.00	
Normativas y Guías de diseño, contratación y operación para PTAR											250.00	
Promoción y acciones de SUDS y SBN en proyectos privados											250.00	
reúso de Caudales												Considerado en los proyectos pilotos de PTAR
c) Administración de la Demanda											**23,300.00**	
a. Reglamentos											600.00	
Actualización del Reglamento de agua potable											50.00	

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Plan	Años										Costo Total en Miles de US$	Comentarios
Acciones específicas	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**		
Actualización del Reglamento de Saneamiento											50.00	
Actualización del reglamento de Desechos Sólidos											50.00	
Actualización del Reglamento de Tarifas de Agua y Saneamiento											150.00	
Creación de Reglamento de Tarifas de tratamiento de Desechos sólidos											50.00	
Creación de Reglamento de Impactos Hidráulicos o Hídricos											250.00	
b. Campañas de difusión											22,500.00	US$ 2. 5 millones anuales
c. Tarifas											200	
d) Mejora del Medio											**26,300.00**	
a. Control de Descargas											17,800.00	

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Plan	Años										Costo Total en Miles de US$	Comentarios
Acciones específicas	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**		
Sistema de Monitoreo de PTAR privadas											600.00	US$ 60,000 anuales
Red de PTAR municipal											14,000.00	2 plantas por año a razón US$ 700,000
Proyectos pilotos de reúso											3,000.00	Tres proyectos pilotos a US$ 1,000,000 cada uno
Dos humedales artificiales											800.00	Dos Humedales artificiales para mejorar caudal en los cauces una vez haya PTAR. Estimado US$400,000
Descargas Pluviales												Ya se costeó en el tema de embalses previo
b. Recarga de acuíferos											8,500.00	
Plan Maestro											500.00	
8 proyectos de recarga											8,000.00	Estimado US$ 1,000,000 por proyecto
c. Monitoreo y Control												Ya se costeó dentro SIG

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Plan	Años										Costo Total en Miles de US$	Comentarios
Acciones específicas	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**		
e) Mejoras al entorno											**1,186,650.00**	
a. Manejo de lixiviados											12,650.00	Estudio US$ 650,000 inversión estimada US$12 millones
b. Proyectos regionales											1,174,000.00	Valor estimado del proyecto Amatitlán
c. Apoyo leyes												Estos son procesos donde deberá participar personal Municipal y de EMPAGUA como parte de sus funciones normales
d. Incorporación de SUDS												Estos son procesos donde deberá participar personal Municipal y de EMPAGUA como parte de sus funciones normales
										Gran Total	**1,592,685.00**	

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

8 FASE IV MONITOREO Y EVALUACION

Como ya se mencionó anteriormente el monitoreo y evaluación es clave para la ejecución efectiva de un plan, no solo por transparencia en la ejecución física y financiera del mismo sino para detectar resultados indeseables o contraproducentes, así como acciones que deban potenciarse para obtener mejores resultados.

El SIG es una herramienta que facilita los procesos de monitoreo y seguimiento, pues no solo permite tener una metodología sistemática para identificar la infraestructura, su estado y los cambios en la misma, así como estandarizar la información, sino apoya en las evaluaciones de impacto sociales, temáticas, climáticas y ambientales; además apoyándose en imágenes satelitales se pueden observar cambios externos que pueden afectar el avance de los indicadores (IFAD, 2022). Un SIG permite lleva un mejor control de los cambios y así poder tomar acciones ajustes más rápidamente, además que permite con un mapa o figura explicar procesos de una forma más integral, al poder observar múltiples capas en una sola área, facilitando ver las interacciones entre ellas. Idealmente el SIG debe ser una parte integral de los procesos de la gestión.

Otro tema importante es definir el flujo de datos, debe existir una recolección de datos como en cualquier sistema de monitoreo, pero la unidad que maneje el SIG puede incorporar algunos elementos para llevar a cabo esta función. No se debe perder de vista que la información debe estar georeferenciada al sistema de coordenadas usado para el SIG, que debe ser lo suficientemente exacta (en la mayoría de casos +/- 5 a 10 m es usualmente suficiente y se puede obtener usando un Global Position System (GPS) estándar) y finalmente definir la frecuencia de recolección adecuada. Se necesita personal entrenado, hardware y software (por ello se recomienda que este inmerso en el SIG), la recolección de los datos y os procedimientos y protocolos para el manejo y flujo de la información.

Es pues indispensable tener un monitoreo de los avances del plan, no solo en su ejecución, cumpliendo todas las acciones que se proponen, pero también evaluando los efectos y avances. Así se proponen dos tipos de indicadores, i) los de ejecución, que servirán para

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

medir el cumplimiento físico del plan, por ejemplo, reglamentos realizados, plantas de tratamiento construidas y operando, etc. y ii) indicadores que muestren el avance hacia la Gestión Integrada de las Aguas Urbanas. Para estos segundos indicadores, se proponen los indicadores del cuestionario de la metodología DUSA. Aunque en la primera encuesta que se realizó en este estudio, algunas de las respuestas que se proporcionaron son cualitativas, se debe mejorar esto logrando resultados más cuantitativos conforme avancen las evaluaciones, así que lo que se propone es que algunas de estos indicadores se conviertan en indicadores cuantitativos. Para ello se propone establecer una línea base cuantitativa basado en algunos indicadores DUSA, especialmente los relacionados a la infraestructura. Por ejemplo, determinar los volúmenes exactos de almacenamiento, el número exacto de contadores de descargas privadas y sus caudales, la revisión de descargas, etc. para ello es necesario volver a pasar la encuesta DUSA al inicio de la ejecución del Plan GIAU, estableciendo ya estos indicadores cuantitativos. Se considera que la encuesta debe repetirse bianualmente, pero ya con estos aspectos cuantitativos. Por ejemplo, actualmente el SIG preliminar permite establecer algunos de los volúmenes de almacenamiento, pero estos aún están en proceso de verificación real, afortunadamente el SIG permite incluir la fecha de la nueva infraestructura por lo que se podrá medir cuanto se incrementaron los indicadores. Los indicadores propuestos se separaron en tres grandes grupos: i) estado; ii) riesgo y iii) GIAU. La mayoría de indicadores son directos excepto tres de vulnerabilidad, que deben ser calculados como se indica cada uno.

Aunque se hubiese querido que los indicadores propuestos incluyeran la línea base, la encuesta DUSA que se realizó era más cualitativa que cuantitativa, y en el momento de preparación del documento, algunos datos del SIG preliminar, aún están en revisión y procesándolos. Por ello, en este momento no se incluye, ni la línea base, ni las metas propuestas dentro de los indicadores, que dependerán en gran parte de las decisiones estratégicas que se indicaron en el inciso 7.4. Esta es una tarea pendiente en el desarrollo del GIAU, conforme se realicé la siguiente encuesta y se hayan verificado más datos, para lograr una línea base más representativa.

En el caso del GIAU, donde es importantes considerar las condiciones de lluvia, la ubicación de las descargas, las tomas de agua, la infraestructura de tratamiento y

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

conducción de las aguas, así como su estado de calidad y funcionamiento, los puntos de inundación, las zonas de demanda y las zonas de oferta. Esto no solo facilita una forma rápida de informar y explicar a los tomadores de decisiones las interacciones entre los distintos elementos, sino facilita la planificación futura, y los ajustes necesarios para mejorar las acciones propuestas. Los indicadores propuestos y su unidad de medida se presentan a cuatro niveles, como muestra en la Figura No. 67.

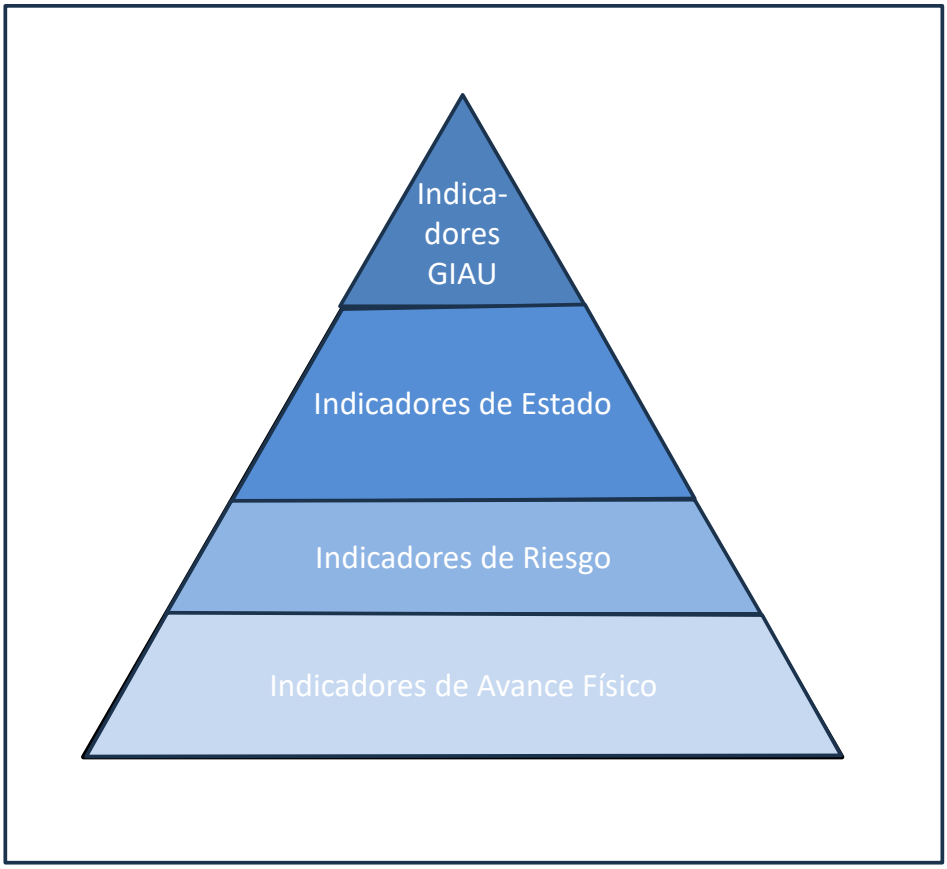


Figura No. 67 Niveles de Indicadores propuestos (Fuente: Elaboración propia).

Los indicadores específicos se detallan a continuación: i) para GIAU en el Cuadro No. 36; ii) para el Estado de la infraestructura y el servicio en el Cuadro No. 37 y iii) para el Riesgo en el Cuadro No. 38 y los indicadores de avance físico o de ejecución que correspondería al número de proyectos, reglamentos, capacitaciones, etc. que se programen. Esto se deberá realizar anualmente conforme a disponibilidad de recursos.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

Cuadro No. 36 Indicadores de GIAU (Fuente: Elaboración propia).

INDICADORES DE GESTION INTEGRADA DE AGUAS URBANAS		
Tema	**Indicadores**	**Unidad**
GIAU		
	Nuevas fuentes de agua tradicionales	Cantidad
	Nuevas fuentes no tradicionales	Cantidad
	Nuevos reglamentos promoviendo GIAU	Cantidad
	Reducción de pérdidas	%
	Reducción de demanda per-cápita	L/Hab/día
	Mejora indicadores de estado	%
	Mejora en indicadores de Riesgo	%
	Proyectos de Reúso Reciclaje de agua	Cantidad
	Proyectos con SBN o SUDS realizados en el año (incluye cosecha de agua de lluvia)	Cantidad
	Incremento en el almacenamiento	%
	Proyectos específicos de Recarga de Acuíferos	Cantidad
	Estudios de análisis y adecuación de tarifas	Cantidad
	Control de las descargas combinadas en época de lluvia	Cantidad
	Tarifas adecuadas a los costos de operación y mantenimiento en agua de agua	Si/no
	Tarifas adecuadas a los costos de inversión de agua	Si/no
	Tarifas adecuadas a los costos de operación y mantenimiento en Saneamiento	Si/no
	Tarifas adecuadas a los costos de inversión en saneamiento	Si/no
	Tarifas adecuadas a los costos de operación y mantenimiento en Drenajes Pluviales	Si/no
	Tarifas adecuadas a los costos de inversión en Drenajes Pluviales	Si/no
	Control de Torrentes	Cantidad
	Reducción de Inundaciones anuales	Cantidad
	Capas de SIG verificadas en campo	Cantidad

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 37 Indicadores de Estado (Fuente: Elaboración propia).

INDICADORES DE ESTADO		
Tema	**Indicadores**	**Unidad**
Agua General		
	Cobertura por redes	%
	Caudal Oferta	m^3/s
	Caudal Demanda	m^3/s
	PTAP	Cantidad
	Costo Producción m^3	Quetzales
	Costo venta m^3	Quetzales
	Costo Producción + administración por m^3	Quetzales
Calidad Servicio de Agua		
	Cantidad caudal promedio por conexión	m^3/s
	Calidad Agua (quejas sobre calidad)	Cantidad
	Continuidad horas promedio de servicio	promedio horas servicio de todos los clientes
	No. conexión/No. de empleados	Clientes por empleado
	Km red/No. de empleados	km/empleado
Fuentes existentes		
	Caudal Superficial	m^3/s
	No. tomas superficiales	Cantidad
	Caudal Subterráneo	m^3/s
	No. de tomas subterráneas	Cantidad
Generales Saneamiento		
	Número de Hogares	Cantidad
	No. Conexiones de Redes Pluviales/No. de Hogares	Cobertura
	No. Conexiones de Redes Sanitarias/No. de Hogares	Cobertura
	No. Conexiones de Redes Combinadas/No. de Hogares	Cobertura
	No. de descargas sanitarias	Cantidad
	No. de descargas combinadas	Cantidad
	No. de descargas sanitarias y combinadas sin PTAR	Cantidad
	Caudal Aguas Residuales Generadas	m^3/s
	Caudal Aguas Residuales Tratadas	m^3/s
	PTAR	Cantidad
	No. conexión/No. de empleados	Clientes por empleado
Aguas Pluviales		
	No. de tragantes	Cantidad
	No. descargas pluviales	Cantidad
	no. de descargas y tragantes pluviales/no. de empleados	Puntos pluviales por empleado
	Volumen Pluvial Anual	m^3
	Volumen Almacenado y Aprovechado	m^3
	Volumen no Aprovechado	m^3

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 38 Indicadores de Riesgo (Fuente: Elaboración propia).

INDICADORES DE RIESGO Resiliencia/Flexibilidad y Vulnerabilidad		
Tema	**Indicadores**	**Unidad**
Agua Riesgo		
	Indicador	Unidad
	Fugas reportadas	Cantidad
	Fugas reparadas	Cantidad
	Tiempo promedio de reparación	Horas
	Variabilidad Climática (probabilidad de sequía)	%
	Reducción de caudales por sequia prevista	%
	Paros de plantas por contaminación	horas por año
	Vulnerabilidad de las Plantas AP *	%
	Vulnerabilidad fuentes subterráneas en base a la reducción promedio anual de los niveles dinámicos de los pozos	M
	Horas de servicio con almacenamiento existente en caso de fallas	Horas
* Vulnerabilidad de plantas será igual al porcentaje de probabilidad de sequía por el porcentaje de reducción de caudales por la duración en horas del periodo seco más las horas fuera de servicio por contaminación, esto dividido por las horas totales del año.		
Saneamiento Riesgo		
	Daños reportados anualmente	Cantidad
	Daños reparados anualmente	Cantidad
	Colapsos anuales	Cantidad
	Tiempo de reparación	horas por año
	Paros de PTAR por cualquier causa	horas por año
	Eficiencia Tratamiento	%
	Vulnerabilidad de las PTAR **	%
Riesgos Pluviales		
	Variabilidad Climática (probabilidad de intensidades sobre el promedio)	%
	Contaminación aguas pluviales (aceites, combustibles y patógenos)	Definir la forma de medición
	Inundaciones por colapso de redes	Cantidad anual
	Incremento impermeabilización anual	%
	Volumen de Desechos extraídos de tragantes anualmente	m^3
	Vulnerabilidad del Sistema pluvial ***	
** Vulnerabilidad de las PTAR será igual al porcentaje de eficiencia más las horas de falla sobre el número de horas anuales.		
*** Vulnerabilidad del Sistema Pluvial será igual al porcentaje de incremento de impermeabilización por el porcentaje de la probabilidad de incremento de la intensidad de lluvia por el porcentaje del número de inundaciones al año entre el número de días del año.		

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

9 CONCLUSIONES

La propuesta presentada en esta investigación requiere la toma de decisiones en aspectos estratégicos, y no solo analiza la situación, observa las carencias y limitaciones existentes en diferentes aspectos, sino también las soluciones a corto, media no y largo plazo que nos permite tener las siguientes conclusiones:

1. La metodología permite generar información y desarrollas un plan de Gestión Integrada de Aguas Urbanas (GIAU) que eventualmente apoyara la gestión eficiente del recurso hídrico y mejorar la seguridad hídrica.
2. Esta investigación presenta una metodología para integrar todos los aspectos de agua, especialmente en condiciones donde: i) la infraestructura es insuficiente para cubrir las demandas, ya sea por antigüedad o por capacidad; ii) la información es limitada, y iii) la institucionalidad es débil y poco respaldada por marcos legales adecuados, lo que implica sistemas tarifarios deficientes y regulaciones poco efectivas. El SIG como fase inicial permite generar suficiente información, para hacer prediagnósticos fiables y poder integrar las diferentes condiciones para una gestión integrada de las aguas urbanas (GIAU).
3. La tendencia a nivel mundial es un incremento de las zonas urbanas, por lo que la gestión de sus aguas es cada día más urgente, la metodología presentada permite cambiar el paradigma de sistemas independientes (agua doméstica, drenajes, saneamiento y manejo de educación y demanda) de una forma integral de manera que se complementen. Una planificación como la que se propone en esta investigación facilitará el proceso de cambio de paradigma institucional de un sistema con operaciones de agua separadas a un diseño urbano sensible al agua (DUSA), que no solo considera las variables específicas de los servicios, sino su entorno tanto económico, natural, sanitario e institucional.
4. El SIG es una herramienta que facilita la GIAU en una forma económica, especialmente si se usan sistemas de libre acceso, por lo que está al alcance de cualquier municipalidad. La fase de un SIG preliminar apoya el proceso de institucionalizar el SIG, pues permite a los tomadores de decisiones ver las aplicaciones prácticas que les ofrece. Actualmente ya EMPAGUA tiene una unidad

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

de SIG, que está de momento está enfocada en verificar en campo la información del sistema.

5. Aplicar la metodología y establecer el SIG en los diferentes municipios requiere una decisión a nivel del Concejo de cada municipalidad, sin embargo, es importante considerar las ventajas de trabajar los temas de agua y saneamiento y especialmente la gestión integrada de aguas urbanas en forma regional y coordinando actividades con otras municipalidades a través de mancomunidades, concejos o autoridades de cuenca, pues se comparten los acuíferos, las subcuencas superficiales y los aspectos climáticos. Esto es muy relevante en la región metropolitana de Guatemala
6. El Plan GIAU es un instrumento dinámico que deberá ser ajustado: i) de acuerdo a los resultados de los indicadores de monitoreo y evaluación; ii) a las regulaciones nacionales que surjan en el futuro; iii) a los convenios de la región metropolitana y iv) a las medidas de mitigación y adaptación que se requieran por cambio climático.
7. Decisiones estratégicas deben considerarse para llevar a cabo los planes, por ejemplo, decidirse por un sistema centralizado o descentralizado de saneamiento, los factores de seguridad hídrica que afecten a cada localidad, los costos políticos de establecer tarifas adecuadas para operar y/o concesionar los servicios, así como tener personal capacitado en los diferentes temas incluyendo SIG, DUSA y seguridad hídrica.
8. La falta de disponibilidad de fuentes de agua superficial cercanas, y las dificultades sociales y legales para hacerlo, hace necesario empezar a pensar en el reciclaje o reúso de las aguas residuales para agua potable.
9. Se considera que para el municipio de Guatemala es más conveniente un sistema descentralizado de drenajes y saneamiento que un sistema centralizado. Esto por su flexibilidad, sus costos de inversión distribuidos en el tiempo, la reducida posibilidad de colapso total, y se adapta bien a las diferentes condiciones de las descargas ya existentes alrededor de la ciudad. Sin embargo, es una decisión que depende no solo de las autoridades, como EMPAGUA y MARN, sino también de los posibles financiadores o inversores. Está decisión es clave pues servirá para consolidar y complementar los diseños.
10. En el caso específico del municipio de Guatemala, la implementación de la unidad de monitoreo de PTAR en EMPAGUA, será una herramienta útil, no solo para

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

monitorear las plantas privadas, sino también para llevar el control de las PTAR de EMPAGUA, especialmente si se deciden por el modelo descentralizado.

11. Para hacer una gestión integral del recurso hídrico, es necesario establecer balances hídricos, dinámicos en el tiempo, fortaleciendo no solo con los datos de los pozos de extracción de agua municipales (en caso del municipio de Guatemala los de EMPAGUA), sino también la extracción privada, tanto doméstica como industrial. La falta de certeza de estos balances se refleja en que los caudales de las descargas, son mucho mayores que los de la producción esto es evidente en el caso de EMPAGUA, Aguas de Mariscal y la estimación que a la fecha se tiene de pozos privados.
12. El modelo de población propuesto, permite definir la población flotante con mayor certeza, además de focalizar en áreas más pequeñas los cambios de la población en el tiempo, y poder determinar déficits de agua más localizados, así como definir otros déficits de servicio. Esto permitirá diseñar y mejorar redes de agua y saneamiento, tipo de aguas residuales y diseñar las PTAR con mejores resultados. También puede apoyar en cuantificar y detallar tiempos de repuesta para a mejora en el servicio.
13. La aplicación de la metodología, especialmente en el contexto de las medidas GIAU a abordar diferirá en cada región y municipio, pues sus características geográficas y físicas de las cuencas serán diferentes. Estas condiciones afectarán las medidas de adaptación al cambio climático por ejemplo el tipo de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) aplicables, el tipo de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), las medidas para mejorar la disponibilidad dependerán si hay nuevas fuentes superficiales accesibles y la capacidad del acuífero. Por otro lado, la institucionalidad, si existe una dirección de agua y saneamiento o solo es una oficina definirá la capacidad de personal disponible y las necesidades de recursos básicos.

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

10 RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Existen muchas acciones a nivel institucional y académico que se deben desarrollar, aquí se mencionan estas:

1. Se recomienda continuar el desarrollo del SIG y su verificación en campo, pero sobre todo asegurar su institucionalización, un adecuado flujo de información para alimentar el mismo, así como su disponibilidad para proporcionar información.
2. Se deben hacer alianzas con la academia, y aprovechar la información del SIG para generar modelos de operación de las redes, balances hídricos, modelos del acuífero, generación de escenarios, modelos de contingencia, simulaciones de escenarios de riesgo, etc.
3. Se deben hacer estudios específicos, con estudiantes o con la academia, para desarrollar el levantamiento de la infraestructura de saneamiento y agua potable existente por zonas, como los que fueron realizados previamente en la zona 9 y 10 para las obras de saneamiento y drenaje.
4. Se recomienda participar institucionalmente en los procesos de legislación relacionados a la gestión del agua, especialmente en la Ley General de Aguas, pues es una herramienta indispensable para reforzar algunas de las acciones, especialmente de protección del recurso hídrico.
5. Incorporar como una cultura institucional el diseño urbano sensible al agua. Definir normas y herramientas de diseño para SUDS y SBN, y si es posible establecer los incentivos para desarrollar las mismas.
6. Se recomienda hacer un estudio de gabinete, que revise las licencias de construcción (Municipio de Guatemala), los estudios de impacto ambiental (EIA) del Ministerio de ambiente y Recursos Naturales (MARN), los dictámenes de EMPAGUA para nuevos desarrollos en la ventanilla única, de los últimos 10 años; para extraer de ellos detalles de los pozos, como ubicación, profundidades) y caudales, requerimientos de agua del desarrollo, datos de las PTAR propuestas, sistemas separativos o no, etc. Posteriormente

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

a esta investigación se podrán estimar datos más fidedignos de extracción de agua en pozos, descargas y tratamientos, que eventualmente deberá ser revisados en campo.

7. Es importante que durante el proceso de revisión del GIAU, se consideren no solo los indicadores de ejecución del proceso (avances en ejecución anual), sino los indicadores de estado, de riesgo y de desempeño de GIAU. Esta revisión puede hacerse con diferentes frecuencias, pero un horizonte mínimo de 5 años a la mitad del plan es esencial. Se recomienda hacer la encuesta DUSA al iniciar el Plan, incorporando no solo a más técnicos de EMPAGUA y de la Municipalidad de Guatemala, sino a usuarios del servicio, expertos externos y otras municipalidades de la región metropolitana. La encuesta DUSA podría ser conveniente realizarla bianualmente, pero si esto no fuese posible se deberá repetir en el año 5 y en el año 10.

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

11 BIBLIOGRAFIA

AECID/FCAS/BID. (2021). *Programa de Saneamiento Ambiental en el Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala (AMCG).* Guatemala: AECID.

AECID-TRAGSA. (2023). *Estrategia de Seguridad Hídrica para los Municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, Compatible con una Explotación Sostenible del Acuífero del Valle de la Ciudad de Gutemala.* Guatemala: AECID , FCAS, Ministerio de Ciencias e Innovacion de España,, CSIC, IGME, Grupo Tragsa.

Alexander, C. (29 de April de 2019). *Climate Dsk/Cape Town's 'Day Zero' water crisis, one year later.* Retrieved 9 de june de 2019, from GRIST: https://grist.org/article/cape-towns-day-zero-water-crisis-one-year-later/

Alvarado Arcia, A. d. (2014). *Evaluación de riesgos en salud de niños expuestos a Cd, Hg, Pb y As presentes en sedimentos superficiales del río Grijalva.* san cristobal las casas Chiapas: El Colegio de la Frontera Sur.

AMSA. (2014). *Plan de la Cuenca de Amatitlán.* Guatemala: AMSA .

Amstrong, L. (2012). *Hydraulic Modeling and GIS.* Redlands, California: ESRI Press.

Angel, S., Sheppard, S. C., & Civco, D. L. (2005). *The Dynamics of Global Urban Expansion.* Washington, D.C.: World Bank.

ArcGeek. (14 de 08 de 2020). *ArcGeek.* Retrieved 2019, from Las mejores computadoras para aplicaciones SIG: https://acolita.com/las-mejores-computadoras-para-aplicaciones-sig/

Arora, M., Malano, H., Davidson, B., & Nelson, R. &. (2015). Interactions between centralized and decentralized water systems in urban context: A review. *WIREs Water*. https://doi.org/10.1002/wat2.1099

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Austin, C. (2 de 9 de 2011). *Colorado River Acueduct.* Retrieved 23 de 05 de 2018, from Maven´s Notebook: https://mavensnotebook.com/the-notebook-file-cabinet/californias-water-systems/colorado-river-aqueduct/

BANCO MUNDIAL. (2012). *Gestión Integral de Aguas Urbanas Sintesis.* Washington, D.C. Estados Unidos: Water Partnership Program y Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial.

BANCO MUNDIAL. (2012). *Gestión Integral de Aguas Urbanas Sintesis.* Washington D.C.: World Bank.

BANCO MUNDIAL. (2015). *Proyecto de Cartografía Metropolitana.* (A. Nuñez, & J.-R. Lebeau, Edits.) Guatemala: BMy SEGEPLAN.

Bardales, W., Castañón, C., & Herrera, J. L. (2019). Clima de Guatemala Tendencias Observadas e Índices de Cambio Climático. En S. G. (SGCCC), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala.* (pág. 35).

Barillas, E. M. (2012). *"CONSULTORÍA: Dinámica poblacional y demandas de agua para consumo humano y agrícolaa nevel nacional (Guatemala).* Guatemala: Fondo para el logro de los ODM y Gobierno de Guatemala.

Benitez, I. A. (2011). *El cobro por una factibilidad sostenible del agua y el crecimiento urbano disperso en el norte de México.* Munich: MPRA Paper No. 36481, posted 6.

BID. (2021). *Programa de Saneamiento Ambiental en el Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala (AMCG).* Guatemala: Banco Interamericano de Desarrollo.

BID. (2022). *Presentacion Propuesta Preliminar Programa de Saneamiento Ambiental Programa de Saneamiento Ambiental Avance del Diseño Fase 1*. Guatemala: BID.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

BID/MARN. (2022). *Diagnóstico del Sector de Residuos Sólidos en Guatemala, Plan de Acción para el Ärea Metropolitana.* Guatemala: N/A.

Bidault, O. (31 de Mayo de 2016). *¿Cuanto tiempo podemos vivir sin agua?* Retrieved 20 de Mayo de 2018, from Water Logic: https://www.waterlogic.es/blog/cuanto-tiempo-podemos-vivir-sin-beber-agua/

Bolaños, R. M. (8 de Enero de 2021). Cayó la construcción en 2020: ¿Cuánto cuesta el metro cuadrado en Guatemala este año? *Prensa Libre*.

BWS. (2016). *Annual Report Belize Water Services Limited.* Belize: BWS.

Canal Isabel II. (2020). *Normas para Redes de Saneamiento. Versión 3.2020.* Madrid: Canal isabel II, S.A.

Carlos, I. A. (23 de julio de 2019). Gerente General Aguas de Mariscal. (C. R. Cobos, Entrevistador)

Carranza, J. (2022). *Informe de la Caracterización de los Residuos y Desechos Sólidos de la Ciudad de Guatemala (OCT-DIC 2022).* Guatemala: Uso interno.

CASAM. (2002). *Plan Marco de abastecimiento de AguaPotable de la Ciudad de Guatemala 2003-2020.* Guatemala: EMPAGUA.

CASAM CONSULTANTS. (2003). *Informe Final Plan Marco Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de Guatemala 2003-2020.* Guatemala : EMPAGUA.

Castro, R., & Pérez, R. (2009). *Guía Para Acciones a Nivel Local.* Gatemala, Guatemala: OPS/OMS.

CGC. (22 de junio de 2023). *Indicadores para l Construcción*. Camára Guatemalteca de la Construcción : https://estadistica.construguate.com/indicadores/#all_0-all_0-wpfd-all-categories-p3

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Chenoweth, J. (2011). *Minimum water requirement for social and economic development.* Guildford: Centre for Environmental Strategy, University of Surrey.

Climate Adapt. (02 de January de 2022). Water sensitive urban and building design: https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/adaptation-options/water-sensitive-urban-and-building-design

Cobos, C. R. (2018). *Propuesta de Recarga Hídrica Mediante la Implementación de Tecnologías que Promuevan la Recarga Hídrica.* Guatemala: AMSA.

Cobos, C. R. (2020). *Resumen informes de Caracterización por zona.* GUATEMALA: MUNIGATE/PNUD.

Cobos, C. R., Anta, J., Teijeiro, T., & Basterrechea, M. (2024). "Modelo para Estimar Demanda de Servicios Públicos Urbanos, Zonificados, Aplicando Sistemas de Información Geográfica. (I. M. Agua, Ed.) *Tecnología y ciencias del agua, 15*(4), 25.

Cobos, C. R., Reyes, V., Van Tuylen, S., & Carrera, J. C. (2023). *Calculo de una tarifa ambiental, para contribuir a la seguridad hidrica de la región metropolitana de Guatemala.* Guatemala: Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua.

Colectivo Madre Selva. (2018). Cuenca del Río Motagua, situación actual y las causas de su deterioro. Guatemala, Guatemala, Guatemala.

DPU. (2010). Conociendo el POT. *Presentación*. Guatemala, Guatemala: Municipalidad de Guatemala.

DPU. (2014). Mapa digital de Catastro 2014. Guatemala, Guatemala, Guatemala.

DPU. (2015). Mapa digital de Construcciones. Guatemala, Guatemala.

DPU. (2017-2018). Hojas ELectronicas de Estimación de Población y Encuesta Origen y Destino.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ECLAC GTZ. (2010). *Regional Panorama Latin America Megacities and Sustainability.* Santiago de Chile: ECLAC.

EMPAGUA. (2018). *Guía de requisitos para la evaluación de sistemas de agua y alcantarillado de proyectos en la ciudad de Guatemala.* Guatemala: Empagua.

EMPAGUA. (2018). *Mesas Tecnicas de Planificación.* Guatemala: Unidad dePlanificación Municipalidad de Guatemala.

EMPAGUA. (2019). *Plan de Agua 2020-2032 (Aun sin Publicar).* Guatemala: Municipalidad.

EMPAGUA. (2020). *Memoria de Labores 2020.* 2020: EMPAGUA.

EMPAGUA/CKC. (1995). *Estudio Hidrogeológico en el Valle de la Ciudad de Guatemala Proyecto Emergencia.* GUATEMALA: CKC Chuo Kaihatsu Corporation.

Environment Agency. (2011). *Water Then and Now*. Retrieved 20 de mayo de 2018, from Environmental Atlas of Abu Dahbi Emirate: https://www.environmentalatlas.ae/resourceOfLife/waterThenAndNow

EPA. (19 de Abril de 1994). Combined Sewer Overflow Control Policy. *Federal Register PART VII*. Washington , D.C., USA: Federal Goverment Notice.

Fletcher, T., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., . . . others, &. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal, 12*(7), 525-542.

FUNCAGUA. (2019). *Analisis Piezometricode Pozos de Agua para los Municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur.* Guatemala: FUNCAGUA.

FUNCAGUA. (2022). *Estado del Agua en la region Metropolitana de Guatemala.* Guatemala: N/A.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Gleick, P. (2004). *Basic Water Requirements for Human Activities:Meeting Basic Needs.* Oakland: Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security.

Guzman Chinchilla, G. (1988). Los acueductos coloniales de Pinula y Mixco de la Nueva Guatemala de la Asunción. *Anales de la Sociedad de Geografía e Historia* (págs. 231-256). Guatemala: Sociedad de Geografía e Historia.

GWP. (2011). *Hacia una Gestión Integrada de Aguas Urbanas.* Estocolmo: GWP.

GWP. (2011). *Hacia una Gestión Integrada de Aguas Urbanas.* Estocolmo: GWP.

H4H. (2014). *Warer and Hydratation, Physiological Basis in Adults.* Hydrtation for Health Iniriative. Retrieved 18 de mayo de 2018.

Hansen, R. (2013). El asentamiento y proceso cultural y natural en la Cuenca Mirador. *VI Convención Mundial de Arqueología Maya.* Guatemala.

Hardach, S. (ovember de 2015). *Earth*. BBC: http://www.bbc.com/earth/story/20151111-how-the-river-thames-was-brought-back-from-the-dead

Hardenbergh, W., & Rodie, E. E. (1977). *Ingeniería Sanitaria.* Scranton: Compañia Editorial Continental, S.A.

Herrera, I. (2013). *Estudio Hidrológico e Hidrogeologico de la Cuenca del Río Los Ocotes del Sector donde se localiza el Centro Universitario Metropolitano(CUM II).* Guatemala: USAC.

Higueros, A. R. (2008). *Anáisis del Sistema de Drenajes Existente en la Zona 09 de la Ciudad de Guatemala, Mediante un Sistema de Información Geográfico.* Guetemala: Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala.

Hophmayer Tokich, S. &.-T. (2006). . Wastewater management strategy: centralized v. decentralized technologies for small communities. (CSTM-reekWastewater

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Management Strategy: centralized v. decentralized technologies for small communities. *CSTM-reeks, 271*(271), 27.

Huella hídrica. (2008). *Huella Hidrica*. Retrieved 2019 de mayo de 2017, from Water Footprint Network: http://www.huellahidrica.org/

IANAS. (2015). *Desafios de las Agua Urbana en las Américas, perspectivas de la Academia de Ciencias.* México: The Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS).

IARNA. (2009). *Evaluación de la Sostenibilidad del Desarrollo en Guatemala 1990-2008.* Guatemala: Universidad Rafael Landivar.

IARNA. (2011). *Sistema de Cuentas Ambientales Base de datos de Cuentas del Agua.* Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar –IARNA-Banco de Guatemala.

IARNA. (2012). *Disponibilidad de agua en la región Metropolitana de la ciudad de Guatemala: bases fundamentales para la gestión hídrica con visión de largo plazo.* Guatemala: IARNA, URL.

IARNA. (2012). *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012.Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo.* (Vol. Serie Perfil Ambiental). Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar –IARNA-.

IARNA-URL & TNC. (2013). *Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala.* Guatemala: Serviprensa.

IDOM. (2008). *Volumenes Anuales de Desechos Sólidos depositados en el SitiodeDisPrograma de Modernización del Manejo de Desechos Sólidos en la Ciudad de Guatemla* . Guatemala: BID-MuNICIPALIDAD DE GUATEMALA.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

IFAD. (2022). *Mapping Rural Development, How to use GIS to monitor and evaluate projects.* Rome, Italy: International Fund for Agricultural Development (IFAD). https://doi.org/ISBN 978-92-9266-270-7

INCAP. (2016). *INCAP*. Retrieved 30 de 11 de 2016, from www.incap: http://www.incap.int/index.php/es/acerca-de-san/la-mujer-y-la-san INCAP 2016

INCYT . (2020). *Perfil urbano de Guatemala. Análisis del crecimiento de áreas urbanas Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología (Incyt).* Guatemala: Editorial Cara Parens, Universidad Rafael Lándivar.

INDE. (16 de Diciembre de 2020). *Instituto Nacional de Electrificación*. Retrieved 25 de Diciembre de 2020, from 10 datos curiosos que no sabías sobre la Hidroeléctrica Chixoy: http://www.inde.gob.gt/blogs/10-datos-curiosos-que-no-sabias-sobre-la-hidroelectrica-chixoy/

INE. (2015). *ine.gob.gt*. Retrieved octubre de 2015, from Instituto nacional de Estadistica: http://www.ine.gob.gt/index.php/estadisticas/tema-indicadores

INE. (12 de enero de 2020). *Portal de Resultados del Censo* . Censo de población: https://www.censopoblacion.gt/

INFOM. (2017). *Guía Técnica para Implementar Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Guatemala.* Guatemala: INFOM.

INSIVUMEH. (1978). *Estudio de Aguas Subterráneas para el Valle de Guatemala.* Guatemala: INSIVUMEH.

INSIVUMEH. (2004). *Estudio de Lluvia Máxima Diaria en la República de Guatemala.* Guatemala: INSIVUMEH.

IPCC. (2007). *Climate Change 2007 Synthesis Report.* Valencia: IPCC.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

IPCC. (2022). *Summary for Policymakers Working Group II (WGII) contribution to the Sixth Assessment Report (AR6).* IPCC.

JICA. (1991). *Study of Solid Waste Management in the Metropolitan Area of the City of Guatemala.* Guatemala: JICA.

JICA. (2005). *Estudio para el Abastecimiento a Mediano y Largo Plazo de la Ciudad de Managua en la Republica de Nicaragua.* Managua: JICA.

Lentini.Emilio. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito.* Chile: CEPAL.

los17ODS.org. (2015). *los17ODS.org*. Retrieved 18 de agosto de 2019, from ODS No 6 Agua: http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/agua/

MAGA. (2004). *Atlas Temático de las Cuencas Hidrográficas de Guatemala* . Guatemala: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA).

MAGA. (2017). *Estudio Semi Detallado de los Suelos del Departamento de Guatemala* . Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (versión digital) .

MARN. (2006). *Decreto 236-2006 de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Manejo de Lodos.* Guatemala: Gobierno de Guatemala.

MARN. (2013). *2a Comunicación sobre Cambio Climatico.* San Salvador, El Salvador: GEF/PNUD.

MARN. (2015). *Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico 2015.* San Salvador: MARN.

MARN. (2015). *Segunda Comunicación sobre CambioClimatico Guatemala.* Guatemala, Guatemala: PNUD/GWP.

MARN/SEGEPLAN/GWP. (2019). *Plan de Acción para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Guatemala.* Guatemala.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Matus, O., Faustino, J., & Jimenez, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica.* Turrialba : Catie.

Mayorga, E. (12 de Febrero de 2019). Director de Movilidad Urbana. (C. R. Cobos, Entrevistador)

Morán, A. (junio de 1998). *Area Metropolitana de la Ciudad de Guatemala: A proposito del proyecto de Ley del Distrito Metropolitano.* Guatemala: Centro de Estudios Urbanosy Regionales (CEUR).

MPCA. (22 de septiembre de 2018). *Minnesota Storm Water Manual/Minnesota Pollution Control Agency*. Retrieved 5 de diciembre de 2021, from Infiltration: https://stormwater.pca.state.mn.us

Municipalidad de Guatemala. (1999). *www.muniguate.com*. Retrieved febrero de 2018, from Tu Muni: http://mu.muniguate.com/index.php/component/content/article/40-empagua/51-purificacionagua

MuniGuate. (1972). *Acuerdo de creación de EMPAGUA.* Guatemala: Diario de Centroamerica.

MuniGuate. (2013). *Plan Director Guatemala 2040 (borrador).* Guatemala: Municipalidad De Guate.

Naciones Unidas. (November de 2015). *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. Retrieved 1 de October de 2019, from Deasarrollo Sosotenible: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

Novotecni, I. y. (2013). *Actualización del Plan Maestro Integrado de la Cuenca del Lago de Amatitlán.* Guatrmala: AMSA BID.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Noyola, A., Morga-Sagastume, J. M., & Güerca, L. P. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales.* México: UNAM.

Ochoa, J. (2017). *El Drenaje y su importancia para una Ciudad Sustentable.* Caracas: Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat.

ODM. (2013). *Agenda Nacional del Agua.* Gobierno de Guatemala PNUD FIODM Programa Conjunto.

Ola, A. L. (22 de Septiembre de 2020). Honduras exige a Guatemala "acciones urgentes" para evitar que más basura del río Motagua llegue a sus costas. *Prensa Libre*.

ONU. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Asamblea General Naciones Unidas.

Parlamento Europeo. (09 de 12 de 2022). *Economía circular: definición, importancia y beneficios*. Retrieved 14 de 01 de 2023, from Noticias parlamento Europeo/Economía: https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios

Parsons Infrastructure & Technology. (1999). *El Trébol Landfill, Guatemala City, Guatemala.* Guatemala: US Department of Energy, Fedral Energy Technology Center.

Paterson, W., Rushforth, R., Ruddell, B., Konar, M., Ahams, I., Gironás, J., & Mijic, A. a. (June de 2015). Water Footprint of Cities: A Review and Suggestions for Future Research. *Sustainability*, 8461-8490.

Perales Momparler, S., & Doménech, I. A. (Junio de 2008). Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una Alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia. *Research Gate*, 15.

Pineda, R. (7 de agosto de 2023). *Conflictos en la gestión de los residuos y desechos sólidos: impactos económicos, ambientales y sociales de prácticas e implementación de*

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

políticas no consensuadas en Guatemala. Globalization and Capitalism: https://capitalisthistory.com/2023/08/07/conflictos-en-la-gestion-de-los-residuos-y-desechos-solidos-impactos-economicos-ambientales-y-sociales-de-practicas-e-implementacion-de-politicas-no-consensuadas-en-guatemala/

PNUD. (2015). *Progrma de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Retrieved 2019 de Agosto de 2019, from Objetivos de Desarrollo soatenible: https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html

POT. (2006). *Plan de Ordenamiento Territorial.* Guatemala: Municipalidad de Guatemala.

PROYECTO QGIS. (02 de 12 de 2017). *Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto*. Retrieved 02 de 11 de 2018, from QGIS: https://qgis.org/es/site/

Puertas, J., Suárez, J., Anta, J., Jácome, A., Penas, V., Álvarez-Campana, J. M., & Sañudo, E. (2018). *Diseño Urbano Sensible al Agua* . La Paz: BID, UE, AECID, MMAYA, Universidad de La Coruña, Aguas de Galicia, Grupo de Ingeniería del agua y Ambiente.

QGIS.ORG. (20 de January de 2020). *QGIS A Free and Open Source Geographic Information System* . Retrieved 20 de January de 2020, from QGIS: https://www.qgis.org/en/site/

Ramirez, P. (22 de Septiembre de 2016). Características de la Sequía en Centroamerica. San Salvador, El Salvador.

Rodriguez, D. J., Serrano, H. A., Delgado, A., & Nolasco, D. &. (2020). *De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América latina y El Caribe.* Washington, D.C.: Banco Mundial.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Sadoff, C., & Muller, M. (2010). *La Gestión del Agua, la Seguridad Hídricay la Adaptación al Cambio Climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales.* GWP.

SEGEPLAN. (2006). *Diagnostico de la Estrategia de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Guatemala* . Guatemala: Secretaría de Panificación y Programación de la Presidencia SEGEPLAN y Banco Interamericano de Desarrollo.

SEGEPLAN. (2006). *Estrategia para la Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos de Guatemala: DIAGNÓSTICO.* Guatemala: SEGEPLAN.

SEGEPLAN. (2013). *Política Nacional de Agua Potable y Saneamiento.* Guatemala: SEGEPLAN.

SEGEPLAN ODM. (2010). *Tercer Informe de Avances en los Objetivos del Milenio.*

SEMARNAT & CNA. (2013). *Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón.* Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Shaban, A., & Sharma, R. N. (2007). *Water Consumption Patterns in Domestic Households in Major Cities.* Delhi: Economic and Political Weekly.

Shamsi, U. (2002). *GIS Tools for Water, Wastewater and Stormwater Systems.* Reston Virginia: ASCE Press.

Suárez Lopez, J., Puertas Agudo, J., & Anta Alvarez, J. (2012). *El Desarrollo Urbano Sensible al Agua. Un marco connceptual y estratégico para la gestión sostenible del Sistema de Agua Urbana.* Coruña: Catedra Emalcsa UDC.

Suárez López, J., Puertas Agudo, J., & Anta Alvarez, J. (2021). *El Desarrolo Urbano Sensible al Agua. Un marco conceptual y estratégico para la gestión sostenible del Sistema de Agua Urbana.* GEAMA.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Suárez, J., Puertas, J., Anta, J., Jácome, A., & Álvarez-Campana, J. (2014). Gestión integrada de los recursos hídricos en el sistema del agua urbana: Desarrollo Urbano Sensible al Agua como enfoque estratégico. *Ingeniería del Agua*(18-1), 111-123.

Sudsostenible. (10 de 2016). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. Retrieved 1 de 10 de 2019, from SuD Sostenible: http://sudsostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible/

TAHAL. (1982). *Plan Maestro de Abastecimiento de Agua de la Ciudad de Guatemala* (Vol. VIII). Guatemala, Guatemala, Guatemala: EMPAGUA.

TECPA. (2015). *Curso de QGIS*. Retrieved 02 de 12 de 2018, from TECPA : https://www.tecpa.es/cursos-on-line/qgis-medio-ambiente/

Tovar, A. A., & Schlezinger, L. K. (28 de Mayo de 2019). Investigadores DPU sobre tendencias de los nuevos edificios. (C. R. Cobos, Entrevistador)

Tucci, C. (2009). *Integrated Urban Water Management in Large Cities: A Practical Tool for Assessing Key Water Management Issues in the Large Cities of the Developing World.*

UAPYS. (2016). *Plan Nacional de Agua y Saneamiento.* Buenos Aires: Ministerio del Inyterior Obras Puúblicas y Vivienda.

UICN. (19 de septiembre de 2019). *Norma Mundial sobre las Soluciones basadas en la Naturaleza.* Retrieved 24 de 01 de 2022, from iucn.org: https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/2019/global_standard_for_nature-based_solutions_spanish_2.pdf

UICN AECID. (2022). *Avance PROSEHIGUA.* Guatemala: NA.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

UNESCO. (2021). *Managing Aquifer Recharge. A showcase for Resilienca and Sustainability.* Paris: UNESCO.

UNESCO WAAP. (2006). *Water a Shered Responasability.* Paris: UNESCO.

Urban Drainage and Flood Control District. (1999). *Urban Storm Drainage Criteria Manual V3.* Urban drainage and Control District.

Valladares Vielman, L. R. (2008). *Metropolización, Conurbación y Dispersión. Los Municipios del Departamento de Guatemala. (1986-2007).* Guatemala: CENTRO DE ESTUDIOS URBANOS Y REGIONALES (CEUR), USAC.

Vásquez, H. (2018). Proyecciones de Población y de demanda hojas electrónicas. Guatemala, Guatemala.

VIMERCO. (2003). *Plan Marco de Aguas Residuales 2003-2020.* Guatemala: EMPAGUA.

WFN. (2011). *What is a water footprint?* Retrieved 10 de october de 2019, from Water Footprint Network: https://waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

12 ANEXOS

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

ANEXOS

ANEXO I

Implementación Sistema de Información Geográfico (SIG)

CONTENIDO

Introducción....1
Construcción del SIG....1
Definir los Alcances....4
Selección de Software y Equipo....5
Inventario de la infraestructura existente....7
Recolectar Información complementaria....8
Digitalizar, escanear y fotografiar la información....9
Procesos Operativos....10
Estructura institucional....10
Modelos Aplicables....12
Ingreso de datos al SIG....12
Códigos únicos de identificación de la infraestructura de agua potable....13
Características de los diferentes elementos....18
Construcción SIG preliminar....21
Operación y Mantenimiento del SIG....21
Verificación Información en Campo....21
Acciones propuestas para el establecimiento de un SIG preliminar....22
Antecedentes....22
Plan de acción....23
Conclusiones....25
Bibliografía....26

INTRODUCCIÓN

Para el establecimiento y construcción de un Sistema de Información Geográfico (SIG) es necesario integrar todos los esfuerzos institucionales que se realicen en una institución, empresa o dirección (EMPAGUA, OPM u oficina de agua municipal) para lograr un SIG permanente y actualizado que brinde información oportuna a los diferentes usuarios y que sea la única fuente de información válida y oficial.

Se debe construir por fases usando de preferencia un sistema de información geográfico de libre acceso, se sugiere para ello el QGIS. Este programa se propone por varias razones: la primera no implica costo de licencias de software para su instalación, la segunda es un programa respaldado por varias universidades a nivel mundial, la tercera es bastante confiable y fácil de usar y la cuarta incorpora la modelación hidráulica de redes y diversos modelos hidrológicos, hidrogeológicos e hidráulicos, lo que permitirá a futuro modelar las redes de agua potable y drenajes de todos los sistemas, así como el comportamiento del acuífero. La información que se propone tenga el SIG debe incorporar información adicional, tanto de plantas de tratamiento de agua potable, equipos de bombeo, tanques de almacenamiento (puede incluir fotos); válvulas, redes secundarias, nuevos proyectos de obras, actualización de redes, ampliaciones, etc.

La construcción del SIG es un proceso que lleva varios años y que aún ya establecido requiere un proceso de actualización continuo.

CONSTRUCCIÓN DEL SIG

Los tres pilares fundamentales para lograr la seguridad hídrica son la información, la infraestructura y las instituciones. Así, un sistema de información geográfica (SIG o GIS en inglés) que abarque la infraestructura del servicio de agua permitirá una adecuada planificación del mantenimiento de la infraestructura existente, la mejor planificación de la infraestructura a desarrollar en el futuro y fortalecerá la capacidad institucional para enfrentar los retos y desafíos futuros, para lograrà la seguridad hídrica del área metropolitana.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Los expertos creen que en el futuro la mayoría de los profesionales de recursos agua, aguas residuales y agua pluvial usarán SIG de la misma forma que han usado hojas electrónica o procesadores de palabras. Los tres principales componentes de un sistema de información geográfica son (Shamsi, 2002):

- **Geometría** la ubicación real de los elementos (hidrantes, líneas de tuberías, tanques, válvulas, etc. datos espaciales, geográficos o geoespaciales).
- **Atributos** datos descriptivos acerca de la información geográfica (diámetros, materiales, longitudes, etc.).
- **Comportamiento** reglas de los elementos geográficos, por ejemplo, no puede haber una descarga sin un tubo de drenaje conectado.

El SIG es una combinación de hardware y software que permite el manejo, análisis y mapeo de infraestructura e información geográfica y datos descriptivos con precisión geográfica. Es decir, es un sistema de organización, análisis y graficas tridimensionales (render) de datos espaciales usados para resolver problemas. (Shamsi, 2002).

Los sistemas geográficos son desarrollados para personas, es decir los usuarios y profesionales que lo manejan, y debe hacer la vida más fácil a esos usuarios y al público. Una vez creado, sin importar su grado de sofisticación, el sistema no sobrevivirá sin un equipo profesional calificado dedicado a mantenerlo y manejarlo. (Shamsi, 2002) Existen básicamente dos tipos de archivos o capas que se generan en un SIG son esencialmente i) vectores y ii) matriz de celdas (“raster”).

Normalmente los vectores, también llamados “*shapefiles*” son un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas. Las entidades geográficas se pueden representar por medio de puntos, líneas o polígonos (áreas). Existe, asociada a cada capa vectorial, una base de datos que incluye los atributos de cada elemento de acuerdo con las necesidades de cada capa y el tipo de entidad geográfica.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Mientras que los “raster” son celdas, pixeles o cuadrículas de celdas con una baja apariencia visual; pero muy útiles para hacer diferentes análisis. Cada celda tiene un valor numérico lo cual permite operar matemáticamente los diferentes “rasters” entre sí.

En términos generales el procedimiento para iniciar la construcción de un SIG se esquematiza en la Figura No AI.1.

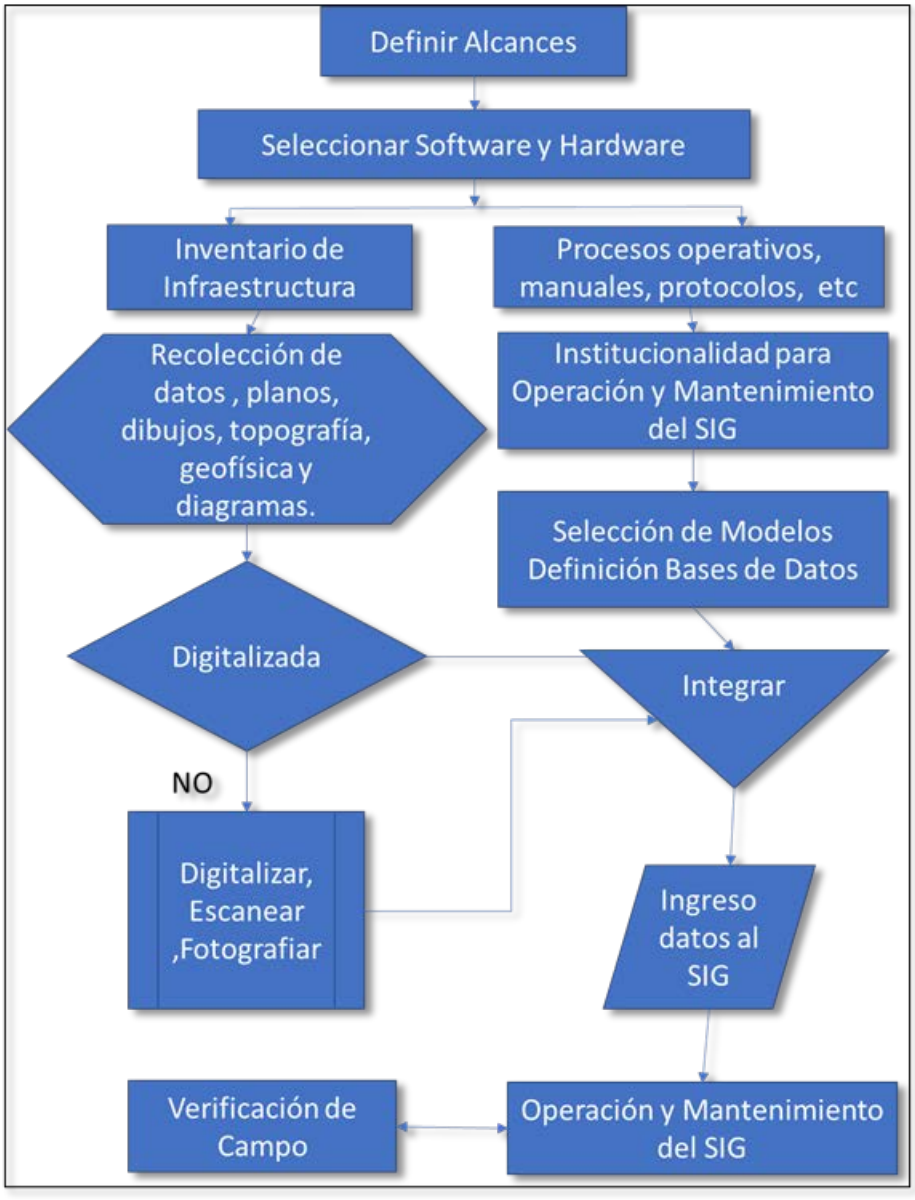


Figura No. AI.1 Fases para la construcción de un SIG (elaboración propia)

DEFINIR LOS ALCANCES

Es necesario determinar hasta donde se quiere llegar con el sistema, en este sentido hay que poner metas a largo plazo que deben ser muy visionarias, imaginando modelaciones en tiempo real y manejo automatizado de los sistemas. Esa visión no se debe perder de vista: sin embargo, es necesario tener en mente que el proceso será largo y que los resultados se darán paso a paso. Para ello es necesario establecer hitos o metas a corto y mediano plazo, por ejemplo, indicar que al inicio solo se tendrán en el sistema la ubicación en planta de las principales redes y plantas de tratamiento. Continuar con los sistemas de drenaje y las descargas ya ubicadas espacialmente. Información geográfica de otras fuentes, como curvas de nivel, cuencas y catastro se pueden ir recopilando paralelamente. El tamaño de las redes y los límites municipales determinarán los tiempos requeridos. La visión y los hitos definirán la selección de software y hardware, que es un paso esencial para continuar el proceso, pues una mala selección inicial, por tema de costos, falta de recursos humanos y financieros, pueden impedir el avance en la construcción del Sistema de Información Geográfico.

Otro tema que debe considerarse en esta fase es el sistema de coordenadas geográficas a utilizar. Es recomendable usar el sistema que sea más utilizado en la zona. En Guatemala, se utiliza el sistema geodesico **WGS 84** (*World Geodetic System 1984*) de coordenadas geográficas que es usado mundialmente para localizar cualquier punto de la Tierra, y es en el que se basa actualmente los sistemas de posicionamiento global (GPS). Normalmente en WGS84 se usan coordenadas de Latitud y Longitud basadas en grados, minutos y segundos en un sistema en tres dimensiones. En la práctica, sin embargo, se trabaja en sistemas de coordenadas de dos dimensiones, porque esto permite, especialmente en un SIG, determinar longitudes y áreas más fácilmente. Para ello se usa el **sistema de coordenadas universal transversal de Mercator** (*Universal Transverse Mercator,* **UTM**) basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator y desarrollado en los la década de los 40 del siglo pasado por el cuerpo de ingenieros del Ejército de Estados Unidos. A diferencia de las coordenadas geográficas, expresadas en longitud y latitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros. El territorio de Guatemala, abarca dos zonas UTM la 16 y la 15, por lo que para que todo el territorio del país se aglutine en una sola zona y para facilitar el manejo de la información geográfica dentro de la república de Guatemala, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) creó una nueva proyección que permite cubrir todo el territorio de un solo sistema, la **GTM (Guatemala Transverse**

Mercator). Esta proyección, aunque es el estandar en Guatemala, todavía no está reconocida al nivel internacional (COGUANOR, 2008). Se recomienda usar en Guatemala las coordenadas GTM y fuera del país, las UTM que correspondan.

SELECCIÓN DE SOFTWARE Y EQUIPO

La selección del software es uno de los principales elementos a considerar. Existen múltiples sistemas de SIG; sin embargo, algunos son excesivamente onerosos para ser adquiridos y requieren también costosas actualizaciones. Afortunadamente, ya existen sistemas de libre acceso con muchas opciones con continuo mantenimiento. Otro aspecto importante a considerar es que el SIG tenga la capacidad de utilizar modelos comúnmente usados en hidrología, hidráulica, redes y sistemas de tubería, calidad de agua, etc.

La selección del software es sumamente importante; así como el personal que es clave para su uso y manejo. Por lo que debe considerarse la capacitación en su uso, así como el aseguramiento de la información y su calidad. Por ello, se debe considerar cual será el costo de mantenimiento del sistema y el costo de inversión.

Por su parte el hardware a adquirir debe planificarse adecuadamente, pues una excesiva inversión inicial en equipo, puede hacer el SIG poco atractivo para los tomadores de decisiones. El cuadro No. AI.1 muestra una comparación de software y hardware de SIG para hacer un análisis preliminar. Existen múltiples programas de SIG, algunos se actualizan continuamente por lo que la comparación de diferentes herramientas a utilizar es constante, pues conforme cambian as versiones, también cambian las capacidades y requerimientos. El cuadro se elaboro visitando las páginas web de los softwares y recopilando la información. Los sistemas más conocidos y utilizados son dos: i) los productos de Environmental Systems Reseach Institute (ESRI) conocidos como ArcGIS, ArcMap, ArcGis Pro, etc. Desde 1969 han sido los líderes de la industria y ii) En 2002 el proyecto QGIS inicio experimental pero no es hasta 2008 que empieza a ser realmente uno de los líderes, con la ventaja de ser de código abierto y contar con muchos expertos que colaboran en el proyecto. No existe una “receta” para la selección, esta debe hacerse en base a las necesidades específicas, los recursos humanos y financieros disponibles. Es importante iniciar con un hardware modesto, pero como mínimo un disco duro de gran capacidad, pues los mapas requieren mucho espacio, un sistema de impresión suficiente

USC DE COMPOSTELA

bueno para que los resultados se vean atractivos, un sistema de respaldo (back up) que permita recuperar los datos que se han almacenado, y por lo menos una computadora y monitor dedicados al SIG.

Cuadro No.AI.1 Comparación Software SIG (elaboración propia)

COMPARACION DE SOFTWARE						
Sistema		**ArcGIS**	**QGIS**	**GrassGIS**	**SAGA-SIG**	**gvSIG**
Costo Licencias						
Licencias Básica		Alto	Libre Acceso	Libre Acceso	Libre Acceso	Libre Acceso
Licencias Adicionales		Alto	Libre Acceso	Libre Acceso	Libre Acceso	Libre Acceso
Actualizaciones		Alto	Libre Acceso	Libre Acceso	Libre Acceso	Libre Acceso
Solución problemas						
Apoyo al Usuario por el proveedor		Bueno	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Comunidades de apoyo		Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Actualización de los sistemas		Constante	Constante	Constante	No tan constate	Poco frecuente
Facilidad de uso		Amigable	Amigable	Poco Amigable	Poco Amigable	Amigable
Capacidad de aplicación de modelos						
Hidrologicos						
	HYDROBID	SI	SI			
	HEC-HMS	SI	SI	SI	NO	NO
	SWAT	SI	SI	SI	NO	NO
Hidráulica						
	HE-RAS	SI	SI	SI	NO	NO
	SWMM	SI	SI	SI	NO	SI
	EPANET	SI	SI	SI	NO	SI
	MODFLOW	SI	SI	SI	No reporta	No reporta
Requerimientos mínimos de Hardware						
Velocidad CPU (GHZ)		2	No reporta			Pentium IV
Memoria RAM GB (minimo/recomendable)		4/8	No reporta			0.512
Espacio disco GB (minimo/recomendable)		4/8	No reporta			
Tarjeta Gráfica		Recomendable	Recomendable	Recomendable	Recomendable	Recomendable

En el caso específico de EMPAGUA se decidió hacer el SIG preliminar de EMPAGUA con QGIS, usando un equipo existente en el departamento de Planificación de EMPAGUA y usar coordenadas GTM. La idea era demostrar la utilidad del mismo con la mínima inversión. Posteriormente y antes de finalizar este documento EMPAGUA tomo la decisión de invertir en software de ESRI y hardware, así como institucionalizar el SIG.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

INVENTARIO DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Hacer el inventario de la infraestructura de caminos, escuelas u otro tipo de instalaciones es relativamente fácil comparado con un inventario de las redes de agua y drenaje. Normalmente hacer el inventario de la infraestructura de agua y saneamiento es más complejo, porque la mayor parte de la infraestructura está enterrada debajo de las calles (tuberías, válvulas, etc.), esto hace el levantamiento de la misma tenga múltiples dificultades, pues es poco probable que se pueda levantar el asfalto, para poder inspeccionarla y contabilizarla y si la infraestructura es antigua y no fue debidamente documentada se complica aún más. Por ello es necesario, inicialmente, acudir a métodos indirectos como son los planos originales, preguntas a los operarios y suposiciones generales con base en la infraestructura visible como tanques, válvulas, equipos de bombeo o plantas de tratamiento entre otros; que son puntos fáciles de ubicar. Estos elementos se deben geoposicionar con la ayuda de aparatos manuales de Global Positioning System (GPS), y luego, ajustarlos por medio de fotografía aérea.

En el caso de EMPAGUA se inició recolectando información de diferentes fuentes:

- Para las redes principales de agua potable, se localizó un antiguo CAD, a pesar de estar en formato digital no estaba debidamente georreferenciado.
- Otras redes de agua potable y drenaje solo se encontraban en planos impresos, en algunas ocasiones existían hasta tres versiones del mismo proyecto y no se sabía exactamente cuál era la versión que realmente se había construido en campo. Fue necesario recurrir al personal de EMPAGUA que en algún momento había participado en el proceso de construcción o en alguna reparación posterior. Una vez definida la red a digitar se usaron dos procesos diferentes: i) se rehicieron los planos digitalmente a CAD, aunque esto requería tiempo y personal que no siempre estaba disponible y ii) se tomaron fotografías del plano, luego la imagen se colocó sobre una ortofoto para ubicarlos en base a puntos conocidos y luego se digitaba directamente en el SIG, si bien esto aceleró el proceso de ver las redes en planta, implicó un trabajo adicional para

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

complementar las bases de datos con la información específica como diámetros y material de la tubería.

- En el caso de las plantas de tratamiento, tanto de agua potable (PTAP) como de aguas residuales (PTAR) se visitaron y se geoposicionaron, en la mayoría de los casos las dimensiones de la planta permiten que se ubicaban basándose en la ortofoto.
- Los pozos se ubicaron basados en un plano preliminar. Estos fueron verificados y ubicados con geoposicionamiento y fueron verificados por al menos dos campañas diferentes para encontrar la ubicación exacta. En algunos casos, se complementó la información con las características de perforación de los pozos, con base en manuales encontrados.
- Para los acueductos principales se utilizaron los planos originales y luego fueron ajustados con algunos puntos de referencia.
- Las descargas sanitarias, pluviales o combinadas, se ubicaron inicialmente con un plano CAD existente, que sirvió como base para una campaña de caracterización de descargas que generó una capa nueva con la ubicación precisa de las descargas, su características, estado físico y datos de caudal y calidad de aguas.

RECOLECTAR INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Se requiere tener algunos datos adicionales como la topografía del terreno natural, calles, mapas generales de uso del suelo, ortofotos, distribución administrativa (zonas, colonias), población actual y proyecciones a futuro para determinar demanda y generación de aguas residuales, datos hidrometeorológicos; así como toda aquella otra información que permita planificar futuros proyectos. Alguna de esta información es posible que se consiga de fuentes externas y que incluso este georeferenciada y digitalizada. De aquí la importancia de seleccionar adecuadamente el sistema de coordenados. En el caso de Guatemala, el IGN, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) han generado múltiples capas, la mayoría de ellas en el sistema de coordenadas GTM.

En el caso específico de EMPAGUA, se incorporó información del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y el Instituto Geográfico Nacional (IGN) que en la primera

década de este siglo, generaron un SIG a nivel nacional, que permitió rápidamente incorporar información topográfica con curvas de nivel cada 20 metros, ríos, cuencas y subcuencas, áreas protegidas, morfología de suelos, uso de suelos y una ortofoto de todo el país realizada en 2004 a una escala de1:20,000. Esta se complementó con una ortofoto del municipio de Guatemala con mayor detalle, pero que desafortunadamente no abarca toda el área requerida para incorporar la mayoría de las fuentes superficiales. La municipalidad proporcionó los mapas digitales de calles, limites político-administrativos, planos de catastro y uso de suelo.

Se incorporó también información hidrometeorológica de las estaciones de INSIVUMEH, generando capas con la información existente que incluye isoyetas, medias, máximas y mínimas y otros parámetros meteorológicos.

DIGITALIZAR, ESCANEAR Y FOTOGRAFIAR LA INFORMACIÓN

Como ya se mencionó para elaborar el inventario se requiere ir a información indirecta, aí se describe con mayor detalle el proceso de convertir la información existente en capas digitales útiles para el SIG.

Normalmente habrá planos muy antiguos y por lo general estarán en papel, sin georeferenciación y probablemente en mal estado. Para recuperarlos hay varios métodos: i) redibujarlos en algún CAD; ii) hacer una fotografía digital, que deberá georeferenciarse y posteriormente ubicarla en la posición correcta para un post-proceso y iii) planos o mapas en archivos con terminación pdf, los cuales se pueden ubicar en base a ortofotos o puntos de referencia.

El redibujo requiere basarse en el plano en papel y dibujarlo nuevamente. Para georeferenciarlo debidamente, se puede hacer i) desde un inicio estableciendo el sistema de coordenadas y ubicando el punto preciso de inicio del proyecto (tubería, bomba o pozo); ii) completar el dibujo y luego georeferenciarlo y iii) trasladar el dibujo cad al sistema SIG y luego ubicar al menos tres de sus puntos sobre la ortofoto. El método a utilizar dependerá de la capacidad de la persona que usa el CAD.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

El proceso con fotografía requiere tomar una foto de buena calidad, a una altura suficiente como para abarcar el plano, y luego trasladar la fotografía al SIG. En el SIG se usan herramientas de georreferenciación que permitirá ubicar con la ortofoto o con los planos de calles algunos puntos de la foto del plano. Una vez ubicado geográficamente, se realiza el trazo directamente en el SIG en una capa tipo “shape”. Al terminar de trazarlo, se elimina la fotografía y el dibujo queda incorporado en el archivo “shape”.

Con los archivos en formato “pdf” el proceso es el mismo que el de la foto, solo que lo que se geoposiciona es el archivo en vez de la foto.

Este proceso generará un primer inventario, que deberá ajustarse en el tiempo, con base en las inspecciones en campo que se puede combinar en los procesos de reparación, operación y mantenimiento de los diferentes elementos de los sistemas.

PROCESOS OPERATIVOS

Las características y estadísticas de operación son esenciales cuando se quieran modelar los sistemas, conocer los horarios de bombeo, la operación de las válvulas, los niveles de los tanques, horarios de servicios, demanda por zonas, medidores a nivel macro y micro y los protocolos de emergencia, en caso de inundaciones, sequías, terremotos u otros eventos excepcionales. Además de la información relacionadas a calidad de agua en plantas de tratamiento y descargas.

ESTRUCTURA INSTITUCIONAL

Es necesario revisar la estructura institucional y dónde quedará constituido el sistema de información geográfico dentro del esquema de la empresa de agua o del municipio, pues el mismo tendrá relación con diferentes aspectos (agua potable, drenaje, planificación, proyectos, etc.) para poder tener resultados efectivos. Idealmente debe quedar en un nivel jerárquico alto, para requerir la información que se necesite, pues deberá tener información de construcción y nuevos proyectos, del sistema de agua y su operación, del sistema de drenajes sanitarios y pluviales, de la gestión de riesgos, de la población y la demanda, de las fuentes de producción de agua; que muchas veces están en diferentes dependencias o departamentos. Pero sobre todo

USC DE COMPOSTELA

el SIG debe ser la herramienta para apoyar en la planificación; esto significa que no debe estar sujeto a las contingencias de la operación diaria.

Se debe incluir las oficinas encargadas de la operación y mantenimiento de las redes, pues en los procesos de operación se pueden corroborar los datos de las redes preliminares e ir refinando la información para tener detalles más exactos. Actualmente existen herramientas, que se pueden programar en dispositivos como teléfonos móviles, para recolectar información en campo y automáticamente incorporarla al SIG. En la Figura AI.2 se presenta un ejemplo de una aplicación realizada para monitoreo de pozos, que usa FUNCAGUA para cargar directamente la información al sistema de FUNCAGUA. EMPAGUA tiene adicionalmente dos aplicaciones similares que son utilizadas por las cuadrillas de mantenimiento para recopilar información de los sistemas de drenaje y redes de agua cunado se hacen reparaciones e inspecciones.

No.	Variable	Descripción
1	**GENERALES**	**Sección de datos generales del pozo**
1.1	Municipio	Municipio donde se ubica el pozo
1.2	Código municipaL	Código del municipio de acuerdo con la nomenclatura de FUNCAGUA
1.3	Acuífero	Acuífero al que pertenece el pozo
1.4	Nombre	Nombre del pozo
1.5	Código	Código del pozo
1.6	Ubicación geográfica	Coordenadas de latitud/longitud del pozo (WGS84)
1.7	Altitud	Altitud del pozo en msnm
1.8	Profundidad	Profundidad del pozo (valor negativo en m)
1.9	Foto	Fotografía del pozo (imagen .jpg almacenada como attachment)
	MONITOREO	**Sección de datos de monitoreo de pozos**
	Fecha	Fecha en que se realizó el monitoreo
	Hora	Hora en que se realizó el monitoreo
	Responsable	Nombre del responsable del monitoreo
	Cargo	Cargo del responsable del monitoreo
	Acompañante	Nombre del acompañante del monitoreo
	Cargo	Cargo del acompañante del monitoreo
	Observaciones	Observaciones
2	**NIVELES**	**Sección de monitoreo de niveles del pozo**
2.1	Nivel Estático	Nivel estático (valor negativo en m)
2.2	Nivel Dinámico	Nivel dinámico (valor negativo en m)
	Cota estática	Valor calculado automáticamente al restar la cota de la boca del pozo menos el nivel estático
	Cota dinámica	Valor calculado automáticamente al restar la cota de la boca del pozo menos el nivel dinámico
2.3	Aforo	Aforo del pozo (valor en gpm o l/s)
2.4	Observaciones	Observaciones

Figura No. AI.2 Ejemplo de aplicación en dispositivo móvil para la recolección de información Fuente: (Consorcio Estudio FUNCAGUA, 2022).

La unidad que se instituya el SIG debe ser muy técnica y su personal estar capacitado en los temas de operación de SIG, planificación, modelación y procurar la continuidad del mismo, debido a que son procesos a largo plazo.

MODELOS APLICABLES

Para lograr un manejo integrado y sobre todo para poder analizar opciones a futuro, el sistema debe contar con modelos hidrológicos, modelos hidráulicos tanto de sistemas de red de agua, como de drenajes, algún manejo de aguas subterráneas, así como modelos de transporte de contaminantes y de control de calidad de agua como mínimo. Si algunos modelos específicos ya han sido utilizados en la institución, lo ideal será aprovecharlos. En este sentido modelos hidrológicos existentes como son el HEC-HMS, Hydrobid y SWAT, todos de libre acceso y reconocidos mundialmente son herramientas que se pueden incorporar. Para el manejo de redes de agua y drenajes modelos como el EPANET y SWMM, o HEC-RAS para la modelación de los cauces naturales; todos los anteriores de libre acceso y MODFLOW para la modelación de aguas subterráneas, en este caso no todas las versiones son de libre acceso. Existen otros modelos, para el diseño de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) como el de la Universidad del Sur de la Florida y la Universidad de Florida (USA) llamado Gray to Green (USF, 2017) o el BMP Sitting Tool de la Environmental Protection Agency (EPA) (EPA, 2013), aplicables en la plataforma de ESRI.

INGRESO DE DATOS AL SIG

Al ingresar los datos en el sistema es necesario analizar qué información tendrá cada elemento y la estructura de las bases de datos debe conformarse de tal manera que sea compatible con los modelos que se utilizarán a futuro para evitar complicaciones o reestructurar las mismas. Un detalle importante a considerar son los códigos únicos que deben identificar a cada uno de los elementos en las redes. A continuación, se presenta una propuesta de codificación que se desarrolló para el SIG preliminar de EMPAGUA.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

CÓDIGOS ÚNICOS DE IDENTIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE AGUA POTABLE

Los Códigos de la infraestructura de Agua Potable se relacionarán con el sistema que los abastece. En este sentido se establecen para iniciar los siguientes sistemas de acuerdo al cuadro No. AI.2

Cuadro No.AI.2 Códigos de las Redes de Agua Potable

Código	Nombre Sistema
SOA	Sistema Ojo de Agua
SLC	Sistema Lo de Coy
SCO	Sistema Lo de Coy – Ojo de Agua
SSL	Sistema Santa Luisa
SLI	Sistema Las Ilusiones
SEC	Sistema El Cambray
SLB	Sistema La Brigada
SP1	Sistema de Pozos 1
SP2	Sistema de Pozos 2
SPn	Sistema de Pozos n

Estos son los sistemas que actualmente existen, en el caso de los sistemas de pozos se estarán organizando de acuerdo a las redes, si son redes individuales sin interconectarse a otra se catalogaran como Sistema Pozo 1, pero si se interconectan a otra red pasaran a ser parte de la misma. La identificación de la infraestructura adicional se hará de acuerdo al Cuadro No. AI.3.

Cuadro No.AI.3 Código de infraestructura específica

Código	Nombre Infraestructura
TUB	Tubería
VAL	Válvula
BIY	Bifurcación en Y
CRP	Caja Rompepresión
BOM	Bomba
BOS	Bomba sumergible
MED	Medidor de conexión de servicio
MAM	Macromedidor
ICX	Interconexión
RED	Reductores
TAN	Tanques

Para identificar un componente del sistema con un código único se utilizará la estructura del cuadro No. AI.4. Así una tubería del sistema Lo de Coy o una válvula del Sistema Santa Luisa quedarían identificadas como el ejemplo 1 y 2 respectivamente.

Cuadro No.AI.4 Estructura del código único de agua potable

Renglón	Código Sistema	Codigo Infraest.	Zona	Sección de la zona	No. correlativo	Codigo Total
Espacios	3	3	2	3	3	14
Tipo	Texto	Texto	Texto	Texto	Texto	Texto
Ejemplo 1	SLC	TUB	07	001	001	SLCTUB07001001
Ejemplo 2	SLC	VAL	07	003	005	SLCVAL07003005

CÓDIGOS ÚNICOS DE IDENTIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE DRENAJE

Los códigos de drenaje para las redes secundarias estarán basados en 10 espacios. Los dos primeros identificaran el tipo de infraestructura, dos dígitos identificando la zona, tres identificando la sección de la zona y tres el número de orden. Así la identificación de la infraestructura se hará de acuerdo al Cuadro No. AI.5

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No.AI.5 Código de Infraestructura de Drenajes

Código	Tipo
PR	Pozo de Registro
PV	Pozo de Visita
RC	Regulador de Caudales
CA	Caja
CO	Cono
TT	Tramo Tubería
TR	Tragante
CP	Candela Pluvial
CS	Candela Sanitaria
CC	Candela Combinada
DE	Disipador de Energía
DP	Descarga Principal
DR	Descarga Rebalse
DS	Descarga Secundaria
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Entonces un tragante en un colector secundario de la zona 12, en el sector 1 y siendo el que tiene número correlativo 1 quedaría identificado como se muestra en el cuadro No. AI.6 y una tubería de la zona 2 y que corresponde a la sección 3 y con numero correlativo 5. También se muestra en el cuadro No. AI.6.

Cuadro No.AI.6 Estructura del código único de drenajes

Renglón	Codigo Infraest.	Zona	Sección de la zona	No. correlativo	Codigo Total
Espacios	2	2	3	3	10
Tipo	Texto	Texto	Texto	Texto	Texto
Ejemplo 1	TR	12	001	001	TR12001001
Ejemplo 2	PV	12	003	005	PV12003005

Es importante indicar que se debe procurar colocar los números correlativos de aguas arriba hacia aguas abajo, es decir procurando que vayan en forma secuencial. Esto es esencialmente importante en los tramos de tubería y en los pozos de registro. En el caso de que se intersecten dos sistemas secundarios en cada sector el número correlativo de la tubería de salida será el que corresponda al subsiguiente del número mayor. Ver Figura No. AI.3.

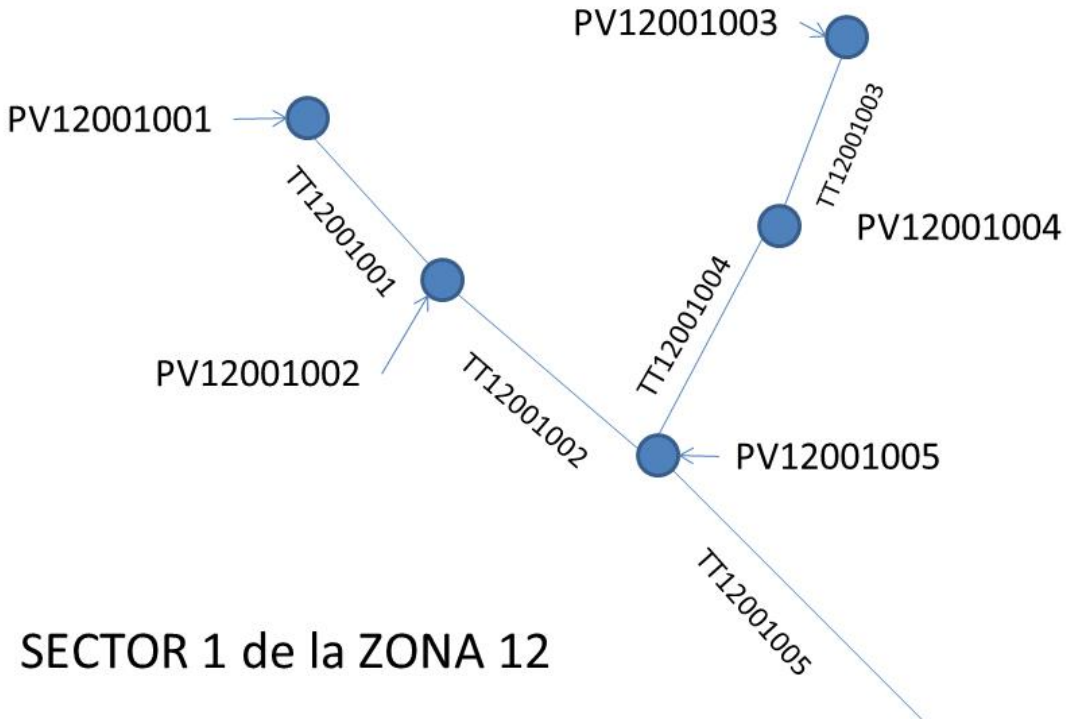


Figura No.AI.3 Diagrama de drenajes (elaboración propia)

Para los colectores principales el código será un poco diferente, el código de infraestructura sigue siendo el mismo, el código de zona se sustituye por GC de Gran Colector, en vez de el No. de sección de la zona, se pondrán 3 letras para identificarlo de acuerdo al Cuadro No. AI.7. Finalmente se tendrá un número correlativo.

Cuadro No.AI.7 Códigos de Colectores

Código	Nombre Colector
DTC	Colector 10-13-14 (**D**iez-**T**rece-**C**atorce)
RMR	Colector Reformita- Mariscal- Roosevelt
PON	Colector Poniente
ORI	Colector Oriente
NOT	Colector 9-8-3 (**N**ueve-**O**cho- **T**res)
NOR	Colector Norte (en proyecto)

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Entonces el código único en los colectores principales quedaría como se muestra en el cuadro No. AI.8.

Cuadro No.AI.8 Estructura del código único de colectores

Renglón	Codigo Infraest.	ID	Codigo Colector	No. correlativo	Codigo Total
Espacios	2	2	3	3	10
Tipo	Texto	Texto	Texto	Texto	Texto
Ejemplo 1	PV	GC	RMR	001	PVGCRMR001
Ejemplo 2	TT	GC	RMR	003	TTGCRMR003

CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS

Luego las características específicas que se requiere para cada elemento son función de los modelos y de cada elemento. Por ejemplo, la base de datos de cada tubería, además del código único debe considerar el punto de inicio, cota invert de inicio, longitud de plano, longitud real entre puntos (calculada), punto final, cota invert de llegada, diámetro, tipo de material, coeficiente de rugosidad, pendiente (calculada), fecha de instalación, vida útil, fecha programada de reemplazo. Lo mismo para válvulas, bombas, medidores, tanques y otros. Para que los resultados obtenidos sean congruentes, se recomienda utilizar las unidades de medida más consistentes y que todos los elementos tengan las mismas unidades. Se recomienda que las elevaciones se trabajen con cotas en msnm para que su referencia a los niveles del terreno sean consistentes. Por otro lado las longitudes y los diámetros de tubería deben utilizarse en metros, aunque se puede incorporar una columna con el diámetro en pulgadas. Se puede considerar mantener las longitudes de los planos y en otra columna calcular longitudes con el SIG. Como pueden haber tuberías o túneles rectangulares, en herradura, semicirculares o con otras formas, se sugiere considerar una columna con un diámetro equivalente para poder clasificar las tuberías y descargas en una forma genérica con respecto a su tamaño. El Cuadro No. AI.9 presenta las variables mínimas sugeridas que debe incorporar el SIG para cada uno de los diferentes elementos.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No.AI.9 Características de los diferentes elementos (elaboración propia basado en (Amstrong, 2012))

Elemento		Tanques/ Almacena-miento	Pozos	Válvu-las	Bom-bas	Des-cargas	Tube-rías	Deriva-dores/ Verte-deros	Ori-ficios	Acceso-rios/ hidrante s y otras válvulas
SIG	Tipo	Punto	Punto	Punto	Punto	Punto	Linea	Punto	Punto	Punto
Modelos Hidráulicos	Tipo	Punto	Punto /inter-sección	Punto o línea	Punto o línea	Punto o línea	Linea	Punto o línea	Punto o línea	Punto /inter-sección
CARACTERISTICAS MINICAS POR ELEMENTO	ID	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	CODIGO SISTEMA O RED	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	NOMBRE	√	√							
	GRAVEDAD/ PRESION						√			√
	COTA INVERT ENTRADA O ARTEFACTO	√	√	√	√		√	√	√	√
	PUNTO INICIO						√			
	COTA INVERT SALIDA	√			√	√	√			
	PUNTO FINAL						√			
	NIVEL DE TERRENO	√	√		√		√			
	GEOMETRIA	√	√			√	√	√	√	√
	NIVEL DE DES-FOGUE	√						√	√	
	FECHA INSTALACION	√		√		√	√	√	√	√
	VIDA UTIL	√		√			√	√	√	√
	COTA FONDO	√	√		√					
	VOLUMEN EFECTIVO	√								
	POTENCIA				√					
	TIPO ENERGIA									

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Elemento		Tanques/ Almacena-miento	Pozos	Válvu-las	Bom-bas	Des-cargas	Tube-rías	Deriva-dores/ Verte-deros	Ori-ficios	Acceaso-rios/ hidrantes y otras válvulas
SIG	Tipo	Punto	Punto	Punto	Punto	Punto	Linea	Punto	Punto	Punto
Modelos Hidráulicos	Tipo	Punto	Punto /inter-sección	Punto o línea	Punto o línea	Punto o línea	Linea	Punto o línea	Punto o línea	Punto /inter-sección
	MODELO Y MARCA				√					
	CADAL MAXIMO				√					
	ALTURA MAXIMA				√					
	EFICIENCIA				√					
	LONGITUD		√				√			
	DIAMETRO			√	√	√	√			
	MATERIAL			√		√	√			
	RUGOSIDAD						√			
	PENDIENTE						√			
	TIPO VALVULA			√						
	FECHA EDICION SIG		√	√		√	√			√
	FECHA EDICION MODELO		√	√		√	√			√
	OPERANDO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
	OPCIONES	✓		✓		✓	✓	✓	✓	
	FOTO	LINK	LINK	LINK	LINK	LINK	LINK	LINK	LINK	LINK
	MANUALES	LINK	LINK	LINK	LINK	LINK	LINK	LINK	LINK	LINK

CONSTRUCCIÓN SIG PRELIMINAR.

Con la información recabada se estructuró un SIG preliminar, que se organizó almacenando la información en carpetas independientes: i) agua potable que incluye acueductos, pozos, las redes y las PTAP; ii) los drenajes que incluyen los colectores, redes de drenaje secundarias, descargas y PTAR; iii) información hidrometeorológica con estaciones, ríos, cuencas e isolíneas de aspectos climáticos; iv) información municipal como calles, división política, etc.; v) información de población para calcular demanda; vi) hidrogeología con geología, líneas de flujo etc.; vii) Desechos sólidos; viii) modelos de elevación y ix) ortofotos.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SIG

Esta fase y la siguiente son procesos paralelos, el mantenimiento ajuste y operación del sistema es un proceso continuo. El sistema será funcional si y solo sí está actualizado e incluye los nuevos proyectos, cambios y ajustes. Además, el proceso de verificación en campo será continuamente validado y se incorporará información faltante que se debe retroalimentar. El proyecto puede ser tan sofisticado como tener filmación y fotografías de los tubos de drenaje, los tragantes, medidores, pozos de visita, etc. Y obviamente ser capaz de modelar su comportamiento. Mantener el balance adecuado entre la información realmente necesaria para un procesamiento eficiente y el total de información que se puede incorporar es todo un reto.

VERIFICACIÓN INFORMACIÓN EN CAMPO

La verificación en campo puede ser realizada dentro de los procesos rutinarios de instalación y reparación. Si no se pueden usar aplicaciones como las mostradas en la Figura No. AI.2 se pueden diseñar boletas que se llenan en cada visita y geoposicionando las mismas se podrá complementar con gran detalle y certeza las diferentes redes, incorporando datos de alturas, diámetros y materiales. Se recomienda hacer las boletas digitales, en aplicaciones que con la tecnología de los nuevos celulares permiten que la información sea descargada en forma digital e incorporada directamente al sistema. Esta actividad, hace algunos años requería grandes inversiones en equipo; sin embargo, actualmente con el avance de la tecnología se hace de forma económica y accesible.

USC DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ACCIONES PROPUESTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN SIG PRELIMINAR

A continuación, se describe en forma general el proceso que se llevó a cabo para establecer el SIG de EMPAGUA, el cuál ya se encuentra en su segunda fase, sin embargo la experiencia aquí mostrada muestra los pasos que se siguieron que pueden ser los que deba seguir otro municipio que quiera implementarlo. Se inicia con unos antecedentes que describe la situación en ese momento, el plan de acción, seguido de un presupuesto.

ANTECEDENTES

En ese momento había diferentes iniciativas dentro de EMPAGUA y la Municipalidad que pueden incorporarse en un esfuerzo común para desarrollar un sistema de información geográfico para EMAPGUA que permita tener la información de la infraestructura existente en una sola plataforma. Esta plataforma permitirá no solo fácil acceso a la información de diferentes usuarios dentro de EMPAGUA, sino integrar en un solo sitio información del sistema de servicios de EMPAGUA.

Las iniciativas existentes eran:

1. El programa AquaView para el control de los volúmenes, presiones y calidad de las principales plantas de tratamiento y rebombeo del sistema.
2. El programa de control de sistemas de bombeo con caudal y energía consumida de los pozos de la red municipal (MPE)
3. El sistema para control de perdidas en algunas de las zonas hidráulicas
4. La iniciativa de la dirección de drenajes en el que en sus inspecciones rutinarias o de emergencia utilizan una aplicación, desarrollada por la Dirección del Sistema de Información Geográfico de la Municipalidad para recuperar información de cada pozo, su ubicación y características, así como fotos.
5. El sistema de control de reparaciones en el tema de agua potable, podría con una aplicación similar a la dirección de drenajes generar datos para actualizar y verificar la

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

información existente de redes primarias y secundarias de agua, estos datos pueden ser los datos de profundidad, diámetros y materiales, así como válvulas y llaves.

6. Los datos de la iniciativa "Pásalo", consistente en reportes vía telefónica, especialmente de fugas y daños a la propiedad municipal, que puede ayudar a corroborar información.
7. La iniciativa de digitalizar los planos en la dirección de Planificación
8. La información en Autocad de Ventanilla Única
9. La caracterización de descargas que se realiza actualmente.
10. El proyecto "Bases Técnicas para el establecimiento de una estrategia de Seguridad Hídrica para el Área Metropolitana de Ciudad de Guatemala y Municipalidades de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur compatible con una explotación sostenible del acuífero" (GTM-016E-B).

PLAN DE ACCIÓN

Una vez identificadas las iniciativas se preparo un plan de acción con las siguientes actividades:

1. Reunión con la gerencia de EMPAGUA para
    a. Presentar la propuesta
    b. Definir el sitio donde se unificará el sistema en la primera fase (sitio físico y computadora)
2. Aprovechar la capacidad del Sistema de Información Geográfica Municipal para hacer algunas aplicaciones que permitan recoger más información a través de:
    a. Las reparaciones de fugas en la red de agua potable (similar a la de drenajes)
    b. La información recolectada por ventanilla única
    c. De transformación de la información de "pásalo"
3. Reuniones para establecer y unificar la información digital existente
4. Programa para completar la información de los vacíos existentes priorizando en la zona piloto
    a. Programa con estudiantes de apoyo de las diferentes universidades para digitalizar y apoyar en verificaciones de campo
    b. Reuniones con las unidades existentes para apoyar en la recolección de información
    c. Vistas de campo

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

d. Incorporación de la información digitalizada al sistema

5. Presentación del sistema en su primera fase Sistema de Información Geográfica preliminar elaborado por C. R. Cobos, en la unidad de Planificación, bajo la supervisión del Ingeniero Escoto. Este sistema está en un programa de libre acceso (QGIS) con información de redes principales, plantas de tratamiento de agua potable, tanques de almacenamiento, plantas de bombeo, ubicación y características de algunos pozos, descargas principales, plantas de tratamiento de aguas residuales, información geológica y divisoria de cuencas superficiales y subterráneas, trazos de colectores principales y algunas obras de infraestructura. Se incluyen las fotos aéreas de IGN del 2004 cubriendo desde la zona de Xaya-Pixcaya hasta el Teocinte. Mucha de la información requiere verificación pues hasta ese momento no ha habido recursos para validar la misma.
6. Evaluación del SIG, propuesta de operación y programación para segunda fase. La evaluación preliminar determinó que había pocos avances en el inciso 2 del plan de acción, por lo que una nueva gerencia de EMPAGUA decidió institucionalizar el SIG asignando presupuesto y personal exclusivamente dedicado a esto.
7. Se elaboró un presupuesto ideal que se muestra a continuación en el Cuadro No. A1.10, como ejemplo de los temas a considerar. Este presupuesto fue reducido, pero ya existe la unidad con su propio presupuesto, y se espera obtener recursos a futuro para su mejor implementación

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. A1.10 Presupuesto

Componente	Unidades	Costo Unitario	Cantidad	Subtotal	Total	Cooperación	Municipalidad	Total
Renglón								-
Recuperación de Información en papel					139,500.00	109500	30000	139,500.00
Tecnicos Fotografia, digitación y archivo	mes/persona	1,000.00	24	24,000.00		12000	12,000.00	24,000.00
Dibujantes	mes/persona	1,500.00	12	18,000.00			18,000.00	18,000.00
camaras fotograficas digitales	Unidades	1,000.00	1	1,000.00		1,000.00		1,000.00
Digiatilizacion	planos	2.00	40000	80,000.00		80,000.00		80,000.00
Computadoras	unidades	1,500.00	1	1,500.00		1,500.00		1,500.00
Mobiliario y adecuación espacio	valor	15,000.00	1	15,000.00		15,000.00		15,000.00
Conversión a GIS					106,300.00	57,500.00	48,800.00	106,300.00
Tecnicos en GIS	mes/persona	2,000.00	48	96,000.00		48,000.00	48,000.00	96,000.00
Computadoras	unidades	1,500.00	3	4,500.00		4,500.00		4,500.00
Plotters	Unidades	5,000.00	1	5,000.00		5,000.00		5,000.00
Impresoras	unidades	800.00	1	800.00			800.00	800.00
Verificación en Campo					581,500.00	393,500.00	188,000.00	581,500.00
Coordinador	mes/persona	3,500.00	24	84,000.00		84,000.00		84,000.00
Abogado	mes/persona	3,000.00	12	36,000.00			36,000.00	36,000.00
Ingenieros de Campo	mes/persona	3,000.00	72	216,000.00		144,000.00	72,000.00	216,000.00
Pilotos	mes/persona	2,000.00	72	144,000.00		96,000.00	48,000.00	144,000.00
GPS	unidades	500.00	4	2,000.00		2,000.00		2,000.00
Camara de Video	unidades	2,500.00	1	2,500.00		2,500.00		2,500.00
Camaras Digitales	unidades	1,000.00	1	1,000.00		1,000.00		1,000.00
Vehiculos	unidades	20,000.00	3	60,000.00		40,000.00	20,000.00	60,000.00
Gasolina y mantenimiento	galones	5.00	7200	36,000.00		24,000.00	12,000.00	36,000.00
Toppografia					246,000.00	30,000.00	216,000.00	246,000.00
Cuadrilla Topografica	mes/cuadrilla	6,000.00	36	216,000.00			216,000.00	216,000.00
Equipo de Topografia	unidades	10,000.00	3	30,000.00		30,000.00		30,000.00
Total					1,073,300.00	590,500.00	482,800.00	1,073,300.00

CONCLUSIONES

- Es factible iniciar con un SIG preliminar, con costos relativamente bajos, para luego escalar a sistemas más complejo
- El SIG preliminar perite demostrar la capacidad y utilidad del mismo para justificar su institucionalización.

BIBLIOGRAFÍA

Amstrong, L. (2012). *Hydraulic Modeling and GIS.* Redlands, California: ESRI Press.

COGUANOR. (2008). *NORMA NACIONAL PARA SISTEMAS DE PROYECCIÓN PARA INFORMACIÓN GEOESPACIAL PARA GUATEMALA GTM COGUANOR NTG 211001*. Guatemala: COMISION GUATEMALTECA DE NORMAS.

Consorcio Estudio FUNCAGUA. (2022). *Anexo VERDE+AGUA.* Guatemala: Informe consultoria.

EPA. (2013). *Best Management Practices (BMPs) Siting Tool* . Retrieved from Water Research Environmental Protection Agency: https://www.epa.gov/water-research/best-management-practices-bmps-siting-tool

Shamsi, U. (2002). *GIS Tools for Water, Wastewater and Stormwater Systems.* Reston Virginia: ASCE Press.

USF. (2017). *Gray to Green (G2G) User Guide and Documentation.* University of South Florida.

ANEXO II ENCUESTA DE INDICADORES DEL MODELO DUSA

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ÍNDICE

ANTECEDENTES DUSA 1
INSTRUCCIONES 2
CAPA 1. AGUA URBANA 3
1.1. ABASTECIMIENTO 3
1.2. SANEAMIENTO 12
1.3. DRENAJE 20
1.4. MEDIO NATURAL 27
CAPA 2. MARCO INSTITUCIONAL - SOCIAL 40
CAPA 3. SISTEMAS URBANOS 61
Bibliografía 74

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

1. ANTECEDENTES DUSA

El Diseño Urbano Sensible al Agua (DUSA) es un análisis para el manejo sostenible de los sistemas de agua. Como parte de la tesis de investigación se decidió utilizar esta metodología por haber sido utilizada en otros países. Estos indicadores fueron diseñados en un proyecto de Banco Interamericano de Desarrollo para el "II CURSO INTERNACIONAL SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE Desarrollo Urbano Sensible al Agua, marzo, 2018, La Paz, Bolivia" (Puertas, y otros, 2018). Algunos probablemente no aplican al caso de Guatemala, especialmente en el tema legislación, sin embargo, para mantener el estándar se incorporaron todos los indicadores**.**

El desarrollo urbano sensible al agua (DUSA) es un enfoque holístico de la planificación, integrando el urbanismo, la ordenación territorial y el desarrollo urbano, para minimizar los impactos negativos en el ciclo natural del agua y proteger los ecosistemas acuáticos, sin dejar de beneficiar a la sociedad, Es un marco conceptual de sostenibilidad, por eso se utiliza la palabra "desarrollo" en vez de "diseño", porque abarca temas sociales, económicos, políticos y culturales que van más allá del diseño de sistemas, programas u obras (Suárez, y otros 2012).

A continuación, se desarrolla el contenido de la encuesta, tal y como fue utilizada. Se inicia con las instrucciones para el usuario, y luego se detallan todos los temas que incluye. Cada indicador es evaluado a través de una serie de preguntas, con respuestas de opción múltiple para integrar cada uno de los indicadores. La encuesta se divide en una capa referida al Agua Urbana, donde se reflejan las condiciones de abastecimiento de agua, saneamiento, drenaje pluvial y medio natural. La segunda capa se refiere al entorno institucional y social para terminar con una tercera capa que son los sistemas urbanos de transporte, electricidad y otros servicios. Esto permite un enfoque holístico del impacto de las acciones que se realizan. El anexo incluye, una hoja electrónica para procesar los datos de las encuestas y luego aprovechando la hoja previamente desarrollada en el II Curso Internacional, generar los gráficos y datos de la encuesta. La encuesta y la hoja de procesamiento incluyen descripciones gráficas y de colores para definir las diferentes capas para su mejor visualización.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

2. INSTRUCCIONES

Esta encuesta tiene como objetivo conocer la percepción de diferentes actores sobre el desarrollo urbano sensible al agua y su estado en Guatemala. Se mantendrá la confidencialidad de los participantes, algunos son profesionales en EMPAGUA, otros son expertos en agua externos a EMPAGUA para complementar con la percepción fuera de la institución.

La idea es contestar la mayor cantidad de indicadores seleccionando una opción para cada uno. Si en algún tema se considera que no puede responderse por no tener suficiente información o que no aplica por favor dejarla en blanco. Los resultados en forma gráfica, que permite el modelo, no considerarán la información en blanco para calcular los porcentajes una vez se hayan procesado los mismos. Una hoja electrónica modificada presentara los resultados de las encuestas individuales y su procesamiento. El Manual original del II curso se adjunta a la encuesta para aclarar dudas. Si las mismas persisten comunicarse con mi persona para aclararlas.

Desde ya les agradezco su apoyo, y las respuestas, como se mencionó serán utilizadas en forma general y anónima.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

3. CAPA 1. AGUA URBANA

3.1ABASTECIMIENTO

A.1. AGUA: EFICIENCIA EN EL MANEJO, DISPONIBILIDAD.

1. **Disponibilidad de agua. ¿En qué medida suele haber recursos hídricos disponibles para el abastecimiento de agua potable?**

    a. Es habitual que durante todo el año haya escasez de agua para ser captada/empleada en el sistema de abastecimiento.
    b. Normalmente hay agua suficiente para el sistema de abastecimiento. Solamente en eventos o periodos de sequía severa se produce la escasez.
    c. Los periodos de sequía, incluso la severa, no afectan a la disponibilidad de recursos hídricos para el abastecimiento.

2. **Balance hídrico del sistema de abastecimiento. ¿En qué medida se conoce el balance hídrico del sistema de abastecimiento?**

    a. No existen datos de control.
    b. Se realiza, pero de un modo muy somero, solamente con datos generales de entrada y salida de agua registrada para el conjunto del sistema. Los datos no suelen ser empleados para análisis complejos.
    c. El balance hídrico del sistema de abastecimiento, se realiza de un modo detallado para los diferentes subsistemas e incluye, además del volumen medido en contadores, conceptos como errores de medición, perdidas y fugas. Este tipo de información permite realizar análisis complejos que permiten mejorar la eficiencia en el manejo del agua.

3. **Extracción de agua para abastecimiento en relación con las aportaciones. Porcentaje de agua captada del medio natural (media anual) para su incorporación al "sistema" de suministro. en relación con la aportación natural (media anual).**

    a. Entre el 100 y el 80%
    b. Entre el 80 y el 60%
    c. Entre el 60 y el 40%
    d. Entre el 40 y el 20%
    e. Menos del 20%

4. **Dotación de agua para abastecimiento por habitante. Volumen de agua potable disponible por habitante y día.**

    a. Menos de 40 l/hab/día
    b. Entre 40 y 100 l/hab/día
    c. Entre 100 y 200 l/hab/día
    d. Más de 200 l/hab/día

5. Pérdidas reales en las infraestructuras de suministro, transporte y distribución.

Definición: Porcentaje del volumen diario de agua perdida físicamente, por mal estado u operación de las infraestructuras de suministro, transporte y distribución por longitud de tuberías.

a. Más del 50%
b. Entre el 50% y el 30%
c. Entre el 30% y el 10%
d. Menos del 10%

A.2. ACTIVOS ABASTECIMIENTO

6. Capacidad de las infraestructuras de captación y tratamiento ¿En qué medida la capacidad de las infraestructuras de captación y tratamiento es la adecuada para satisfacer las necesidades de la población?

a. Las infraestructuras no tienen la capacidad adecuada, en términos de dimensionamiento y funcionamiento, para responder a las necesidades de la población.
b. Las infraestructuras están correctamente dimensionadas, pero su funcionamiento no es el adecuado para responder a las necesidades de la población.
c. Las infraestructuras están correctamente dimensionadas y su funcionamiento es el adecuado para responder a las necesidades de la población.

7. Capacidad de las infraestructuras de almacenamiento y transporte ¿En qué medida la capacidad de las infraestructuras de almacenamiento y transporte es la adecuada para satisfacer las necesidades de la población?

a. Las infraestructuras no tienen la capacidad adecuada, en términos de dimensionamiento y funcionamiento, para responder a las necesidades de la población.
b. Las infraestructuras están correctamente dimensionadas, pero su funcionamiento no es el adecuado para responder a las necesidades de la población.
c. Las infraestructuras están correctamente dimensionadas y su funcionamiento es el adecuado para responder a las necesidades de la población.

8. Capacidad de las infraestructuras de distribución. ¿En qué medida la capacidad de las infraestructuras de distribución es la adecuada para satisfacer las necesidades de la población?

a. Las infraestructuras no tienen la capacidad adecuada, en términos de dimensionamiento y funcionamiento, para responder a las necesidades de la población.
b. Las infraestructuras están correctamente dimensionadas, pero su funcionamiento no es el adecuado para responder a las necesidades de la población.
c. Las infraestructuras están correctamente dimensionadas y su funcionamiento es el adecuado para responder a las necesidades de la población.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

9. Edad media de las infraestructuras. ¿En qué medida la edad media de las infraestructuras del sistema de abastecimiento es la adecuada para cumplir con sus funciones?

a. La edad media de las instalaciones supera los 30 años
b. La edad media de las infraestructuras está entre 15 y 30 años
c. La edad media de las infraestructuras es inferior a 15 años

10. Capacidad de almacenamiento de agua bruta (días)

a. Menos de 60 días
b. Entre 60 y 240 días
c. Entre 240 y 360 días
d. Más de 360 días

11. Capacidad de almacenamiento de agua tratada (días)

a. Menos de 1 día
b. Entre 1 y 2 días
c. Más de 2 días

12. Recursos humanos. ¿En qué medida los recursos humanos involucrados en el sistema de abastecimiento son suficientes?

a. Los recursos humanos involucrados en el sistema de abastecimiento son claramente insuficientes.
b. En alguna de las entidades involucradas en el sistema de abastecimiento, o en alguno de los niveles de sus estructuras, los recursos humanos disponibles no se ajustan a las necesidades en número y capacidad. Existen áreas o departamentos que sí cuentan con los recursos humanos adecuados.
c. Los recursos humanos involucrados en el sistema de abastecimiento cubren las necesidades de un modo satisfactorio.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

A.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

13. Operación del sistema de abastecimiento. ¿En qué medida la operación del sistema de abastecimiento es la adecuada?

a. La operación del sistema de abastecimiento se lleva a cabo con un programa de control y monitoreo muy básico y mínimamente automatizado. (0)
b. Existe un sistema de operación que incluye cierta automatización en el control y registro de parámetros de calidad del agua, medidas de caudal, presión, pérdidas, detección de incidencias, consumo energético, etc. (0.5)
c. La operación del sistema de abastecimiento está altamente automatizada y cuenta con sistemas de telecontrol y alerta temprana para la detección de incidencias. Esto permite realizar análisis complejos para la mejora continua del sistema. (1)

14. Mantenimiento del sistema de abastecimiento. ¿En qué medida el mantenimiento del sistema de abastecimiento es el adecuado?

a. No es adecuado, no se realiza ningún tipo de mantenimiento.
b. El mantenimiento de las infraestructuras no está planificado. Se realizan acciones de mantenimiento correctivo. El mantenimiento preventivo no está planificado y se realiza de manera poco organizada.
c. El mantenimiento está planificado y se lleva a cabo de acuerdo con un programa de acciones sistematizado y con los medios adecuados.

15. Análisis de la calidad del agua. ¿En qué medida se controla la calidad del agua del sistema de abastecimiento?

a. Los medios con los que se cuenta no son los adecuados. Los medios disponibles en las plantas de tratamiento no son suficientes, normalmente se recurre a laboratorios externos con estándares no controlados.
b. Los controles de calidad se realizan con los medios propios y externos adecuados, pero el registro no es el adecuado. El control de la calidad no está sistematizado.
c. Existe un programa sistematizado de control de calidad y se cuenta con los medios necesarios.

16. Número anual de roturas en tuberías de transporte y distribución (Nº/100km)

a. Más de 50 roturas cada 100 km.
b. Entre 50 y 28 roturas cada 100 km.
c. Entre 28 y 6 roturas cada 100 km.
d. Menos de 6 roturas cada 100 km.

17. Rehabilitación de tuberías. Porcentaje de km de tubería rehabilitada anualmente en relación al total de la red.

a. Menos del 0.5%
b. Entre el 2 y el 0.5%
c. Más del 2%

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

A.4. CALIDAD DEL SERVICIO

18. Cobertura servicio abastecimiento. Porcentaje de la población con acceso a agua potable en su domicilio.

a. Menos del 80%
b. Entre el 80 y el 90%
c. Entre el 90 y el 99%
d. Más del 99%

19. Agua medida con contadores. Porcentaje de agua potable medida con contadores.

a. Menos del 50%
b. Entre el 50 y el 70%
c. Entre el 70 7 el 90%
d. Más del 90%

20. Continuidad del suministro. ¿En qué medida el suministro de agua potable sufre interrupciones?

a. Las interrupciones son habituales. Es frecuente que una vivienda sufra cortes en el suministro superiores a 96 horas año.
b. Las interrupciones son moderadas. Es frecuente que una vivienda sufra cortes en el suministro entre a 96 y 12 horas al año.
c. Las interrupciones no son muy habituales. Normalmente una vivienda sufre cortes en el suministro inferiores a 12 h año.

21. Resolución de problemas. Tiempo medio transcurrido (días hábiles) desde la presentación de un "reclamo de carácter comercial" hasta la resolución del problema planteado.

a. Más de 7 días
b. Entre el 5 y 7 días
c. Entre el 2 y 5 días
d. Menos de 2 días

22. Gestión de reclamaciones. ¿Cómo se gestionan las reclamaciones de los clientes?

a. La gestión de reclamaciones no está sistematizada ni reglada.
b. La gestión de reclamaciones está reglada pero no sistematizada. Los procedimientos no están claros para los clientes y el grado de la resolución de las mismas no está claro.
c. La gestión de reclamaciones está reglada y sistematizada. Los procedimientos están claros para los clientes y hay un registro informatizado.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

23. Modo de pago. ¿Cuáles son canales de pago disponibles para los clientes?

a. Solamente presencial en las oficinas de la empresa.
b. En las oficinas de la empresa y en el banco u otro lugar definido.
c. En las oficinas de la empresa, en el banco u otro lugar definido y pago automático con cargo a una cuenta bancaria o tarjeta de crédito.

24. WEB. ¿Existe una web institucional del servicio abastecimiento de agua?

a. No.
b. Existe una WEB, pero es bastante básica. Solamente es informativa, no dispone de información completa y/o actualizada.
c. Existe una web completa, con información actualizada. La web es interactiva y se emplea para realizar notificaciones, gestiones, pagos, consultas etc.

A.5. SOSTENIBILIDAD FINANCIERA

25. Capacidad de pago de los hogares. Porcentaje del gasto mensual en agua en relación a los ingresos de un hogar perteneciente al quintil más pobre y con un consumo medio de agua.

a. El gasto por el servicio de abastecimiento de agua supone más de 4% de los ingresos mensuales.
b. El gasto por hogar supone entre el 2% y el 4% de los ingresos mensuales.
c. El gasto por el servicio de abastecimiento de agua supone menos del 2% de los ingresos mensuales.

26. Voluntad de pago de los hogares. ¿En qué medida los hogares están dispuestas a pagar por los servicios de abastecimiento?

a. La mayoría de la población no contempla el abastecimiento de agua como un servicio objeto de pago, y considera que debería ser gratuito.
b. Una pequeña parte de la población es reticente a considerar el servicio de agua como objeto de pago. Cada vez menos población piensa de este modo.
c. La parte de la población que considera que no se debería pagar por el servicio de abastecimiento de agua es muy minoritaria y no es representativa.

27. Eficacia de la recaudación. Relación entre los ingresos facturados y los realmente recaudados.

a. La recaudación es inferior al 90% de la facturación
b. La recaudación está entre el 90 y el 98 % de la facturación.
c. La recaudación es superior al 98% de la facturación

28. Reposición de infraestructuras. Inversión anual en reposición en relación al valor de los activos físicos inmovilizados

a. La inversión anual en la reposición de infraestructuras es inferior al 2% del valor de los activos físicos.
b. La inversión anual en la reposición de infraestructuras está entre el 2% y el 4% del valor de los activos físicos.
c. La inversión anual en la reposición de infraestructuras es superior al 4% del valor de los activos físicos.

29. Cobertura de costes inversión. Ratio de cobertura de costes de inversión mediante las tarifas de abastecimiento.

a. Las tarifas están muy lejos de cubrir los costes. No están vinculadas a ellos.
b. Las tarifas cubren los costes de operación y mantenimiento, pero no los de las infraestructuras.
c. Los costes totales del servicio de saneamiento están cubiertos con las tarifas.

30. Cobertura de costes operación. Ratio de cobertura de costes de operación mediante las tarifas de abastecimiento.

a. Las tarifas están muy lejos de cubrir los costes de operación. No están vinculadas a ellos.
b. Las tarifas están vinculadas a los costes de operación y mantenimiento, pero nos los cubren en su totalidad.
c. Los costes totales de operación y mantenimiento del servicio de saneamiento están cubiertos al 100% con las tarifas.

A.6. FUENTES COMPLEMENTARIAS DE ABASTECIMIENTO

31. Aprovechamiento de aguas pluviales. ¿En qué medida se aprovechan las aguas pluviales?

a. Las aguas pluviales no son aprovechadas en modo alguno.
b. Las aguas pluviales son aprovechadas puntualmente en algunas viviendas o edificaciones.
c. Existen iniciativas para promover el aprovechamiento de aguas pluviales, tanto en viviendas y edificaciones como en infraestructuras públicas, pero su implementación y/o grado desarrollo en planes estratégicos y reglamentación no es, por el momento, muy alto.
d. El aprovechamiento de las aguas pluviales forma parte, de un modo normalizado, del diseño y construcción de edificaciones e infraestructuras de acuerdo con los planes estratégicos y reglamentación relacionada con la materia.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

32. Reciclaje de aguas grises. ¿En qué medida se reciclan las aguas grises?

a. Las aguas grises no son aprovechadas en modo alguno.
b. Las aguas grises son aprovechadas puntualmente en algunas viviendas o edificaciones.
c. Existen iniciativas para promover el aprovechamiento de aguas grises, pero su implementación y/o grado desarrollo en planes estratégicos y reglamentación no es, por el momento, muy alto.
d. El aprovechamiento de las aguas grises forma parte, de un modo normalizado, del diseño y construcción de edificaciones de acuerdo con los planes estratégicos y reglamentación relacionada con la materia.

33. Reutilización de aguas residuales. ¿En qué medida se reutilizan las aguas residuales?

a. Las aguas residuales no son reutilizadas en modo alguno y a corto-medio plazo no se contempla implementar desarrollos relacionados.
b. Existen planes para incorporar proyectos de regeneración de aguas residuales en el sistema urbano del agua, pero por el momento no se han implementado. La reglamentación relacionada está en un nivel de desarrollo bajo.
c. Existen plantas de regeneración de aguas residuales y su desarrollo forma parte de los planes estratégicos y está recogido en reglamentación relacionada con el agua urbana.

3.2SANEAMIENTO

B.1 ACTIVOS SANEAMIENTO

1. **Capacidad de las redes de saneamiento. ¿En qué medida la capacidad de las redes y los bombeos es la adecuada para satisfacer las necesidades de la población?**

    a. Las infraestructuras no tienen la capacidad adecuada, en términos de diseño, dimensionamiento y funcionamiento, para responder a las necesidades de la población.
    b. Las infraestructuras están correctamente dimensionadas y diseñadas, pero su funcionamiento no es el adecuado para responder a las necesidades de la población.
    c. Las infraestructuras están correctamente diseñadas y dimensionadas y su funcionamiento es el adecuado para responder a las necesidades de la población.

2. **Capacidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales. ¿En qué medida la capacidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales es la adecuada para satisfacer las necesidades de la población?**

    a. Las infraestructuras no tienen la capacidad adecuada, en términos de dimensionamiento y funcionamiento, para responder a las necesidades de la población.
    b. Las infraestructuras están correctamente dimensionadas, pero su funcionamiento no es el adecuado para responder a las necesidades de la población.
    c. Las infraestructuras están correctamente dimensionadas y su funcionamiento es el adecuado para responder a las necesidades de la población.

3. **Edad media de las infraestructuras. ¿En qué medida la edad media de las infraestructuras del sistema de saneamiento es la adecuada para cumplir con sus funciones?**

    a. La edad media de las instalaciones supera los 30 años
    b. La edad media de las infraestructuras está entre 15 y 30 años
    c. La edad media de las infraestructuras es inferior a 15 años

4. **Procesos de tratamiento de aguas residuales. Porcentaje de aguas residuales con pretratamiento, tratamientos primarios, secundarios y terciarios.**

    a. <100% aguas reciben pretratamiento y tratamiento primario
    b. <75% reciben tratamiento secundario.
    c. Entre el 75-100% reciben tratamiento secundario
    d. <25% reciben tratamiento terciario
    e. >25% terciario

5. Recursos humanos. ¿En qué medida los recursos humanos involucrados en el sistema de saneamiento son suficientes?

a. Los recursos humanos involucrados en el sistema de saneamiento son claramente insuficientes.
b. En alguna de las entidades involucradas en el sistema de saneamiento, o en alguno de los niveles de sus estructuras, los recursos humanos disponibles no se ajustan a las necesidades en número y capacidad. Existen áreas o departamentos que sí cuentan con los recursos humanos adecuados.
c. Los recursos humanos involucrados en el sistema de saneamiento cubren las necesidades de un modo satisfactorio.

B.2 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

6. Operación del sistema de saneamiento. ¿En qué medida la operación del sistema de saneamiento es la adecuada?

a. La operación del sistema de saneamiento se lleva a cabo con un programa de control y monitoreo muy básico y mínimamente automatizado.
b. Existe un sistema de operación que incluye cierta automatización en el control y registro de parámetros de calidad del agua, controles de caudal, detección de incidencias, consumo energético, etc.
c. La operación del sistema de saneamiento está altamente automatizada y cuenta con sistemas de telecontrol y alerta temprana para la detección de incidencias. Esto permite realizar análisis complejos para la mejora continua del sistema.

7. Mantenimiento del sistema de saneamiento. ¿En qué medida el mantenimiento del sistema de saneamiento es el adecuado?

a. El mantenimiento es mínimo y casi siempre está vinculado a la solución de incidencias (mantenimiento correctivo).
b. El mantenimiento preventivo de las infraestructuras no está planificado. Se realizan acciones de mantenimiento (inspección, limpieza y rehabilitación de colectores, pozos, depósitos etc.) pero no de un modo organizado.
c. El mantenimiento está planificado y se lleva a cabo de acuerdo con un programa de acciones sistematizado y con los medios adecuados.

8. Referenciación de elementos en el sistema de gestión. En qué medida las tuberías, la red y las arquetas están correctamente referenciadas en el sistema de gestión.

a. Están correctamente referenciadas menos del 25%.
b. Están correctamente referenciadas entre el 25 y el 50%.
c. Están correctamente referenciadas el 50 y el 75%.
d. Están correctamente referenciadas más del 75%.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

9. Incidencias fortuitas en la red de alcantarillado en tiempo seco. Número de incidencias (vertidos en tiempo seco, atascos en acometidas) en la red de alcantarillado en tiempo seco en relación con la longitud de la red de alcantarillado.

a. El número es superior a 40 incidencias diarias por cada 1000km de red
b. El número está entre 40 y 22 incidencias diarias por cada 1000km de red
c. El número está entre 22 y 4 incidencias diarias por cada 1000km de red
d. El número es inferior a 4 incidencias diarias por cada 1000km de red

10. Control calidad efluentes. ¿En qué medida se monitorea la calidad de los efluentes de las PTAR?

a. Se realiza un control básico, sin unos protocolos claros y una frecuencia definida.
b. Se dispone de protocolos de autocontrol de calidad de efluentes con frecuencia diaria o superior a la requerida por la normativa de aplicación. El registro de la información está claramente estructurado y sistematizado.
c. Se dispone de equipos de medida y registro en "tiempo real" de la calidad de los efluentes.

B.3 SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

11. Cumplimiento de las normativas ambientales. En qué medida el sistema de saneamiento cumple las normativas ambientales (gestión lodos, emisión gases, olores, ubicación...).

a. El sistema de saneamiento, tal y como está diseñado actualmente, no cumple con la mayoría de los puntos clave de las normativas ambientales aplicables. Con frecuencia se producen multa y sanciones.
b. El funcionamiento normal del sistema de saneamiento cumple con las normativas ambientales, sin embargo, son frecuentes los fallos operativos que derivan en incumplimientos y sanciones.
c. El sistema de saneamiento está correctamente diseñado y su funcionamiento es el adecuado para el cumplimiento de las normativas ambientales. Solamente en ocasiones muy excepcionales ha recibido alguna denuncia o sanción.

12. Cumplimiento de las normativas de vertidos. En qué medida el sistema de saneamiento cumple la normativa de vertidos

a. El sistema de saneamiento, tal y como está diseñado actualmente, no cumple con la normativa de vertidos. Con frecuencia se producen multa y sanciones.
b. El funcionamiento normal del sistema de saneamiento cumple con la normativa de vertidos, sin embargo, son frecuentes los fallos operativos que derivan en incumplimientos y sanciones.
c. El sistema de saneamiento está correctamente diseñado y su funcionamiento es el adecuado para el cumplimiento de la normativa de vertidos. Solamente en ocasiones muy excepcionales ha recibido alguna denuncia o sanción.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

13. Gestión ambiental de los lodos. En qué medida los lodos resultantes de los procesos de tratamiento y depuración son objeto de aprovechamiento energético o tienen un "destino ambientalmente responsable".

a. Menos del 5% de los lodos
b. Entre el 5 y el 25% de los lodos
c. Entre el 25% y el 75% de los lodos
d. Más del 75% de los lodos

B.4 CALIDAD DEL SERVICIO

14. Agua residual tratada. Porcentaje de aguas residuales tratadas en PTAR.

a. Menos del 25%
b. Entre el 25 y el 50%
c. Entre el 50% y el 75%
d. Más del 75%

15. Hogares conectados a la red de saneamiento. Porcentaje de la población conectada a la PTAR respecto a la población equivalente total.

a. Menos del 20%
b. Entre el 20 y el 40%
c. Entre el 40% y el 80%
d. Más del 80%

16. Resolución de problemas. Tiempo medio transcurrido (días hábiles) desde la presentación de un "reclamo de carácter comercial" hasta la resolución del problema planteado.

a. Más de 7 días
b. Entre el 5 y 7 días
c. Entre el 2 y 5 días
d. Menos de 2 días

17. Gestión de reclamaciones. ¿Cómo se gestionan las reclamaciones de los clientes?

a. La gestión de reclamaciones no está sistematizada ni reglada.
b. La gestión de reclamaciones está reglada pero no sistematizada. Los procedimientos no están claros para los clientes y el grado de la resolución de las mismas no está claro.
c. La gestión de reclamaciones está reglada y sistematizada. Los procedimientos están claros para los clientes y hay un registro informatizado.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

18. Modo de pago. ¿Cuáles son canales de pago disponibles para los clientes?

a. Solamente presencial en las oficinas de la empresa.
b. En las oficinas de la empresa y en el banco u otro lugar definido.
c. En las oficinas de la empresa, en el banco u otro lugar definido y pago automático con cargo a una cuenta bancaria o tarjeta de crédito.

19. WEB. ¿Existe una web institucional del servicio de saneamiento?

a. No.
b. Existe una WEB, pero es bastante básica. Solamente es informativa, no dispone de información completa y/o actualizada.
c. Existe una web completa, con información actualizada. La web es interactiva y se emplea para realizar notificaciones, gestiones, pagos, consultas etc.

B.5 SOSTENIBILIDAD FINANCIERA

20. Capacidad de pago de los hogares. ¿Porcentaje del gasto mensual en saneamiento y de agua en relación a los ingresos de un hogar perteneciente al quintil más pobre y con una utilización media del servicio?

a. El gasto por el servicio de saneamiento de agua supone más del 2% de los ingresos mensuales.
b. El gasto por hogar supone entre el 2% y el 1% de los ingresos mensuales.
c. El gasto por el servicio de saneamiento de agua supone menos del 1% de los ingresos mensuales de un hogar.

21. Voluntad de pago de los hogares. ¿En qué medida los hogares están dispuestas a pagar por los servicios de saneamiento?

a. La mayoría de la población no contempla el saneamiento de agua como un servicio objeto de pago, y considera que debería ser gratuito.
b. Una pequeña parte de la población es reticente a considerar el saneamiento del agua como objeto de pago. Cada vez menos población piensa de este modo.
c. La parte de la población que considera que no se debería pagar por el servicio de saneamiento del agua es muy minoritaria y no es representativa.

22. Eficacia de la recaudación. Relación entre los ingresos facturados y los realmente recaudados.

a. La recaudación es inferior al 90% de la facturación
b. La recaudación está entre el 90 y el 98 % de la facturación.
c. La recaudación es superior al 98% de la facturación

23. Reposición de infraestructuras. Inversión anual en reposición en relación al valor de los activos físicos inmovilizados

a. La inversión anual en la reposición de infraestructuras es inferior al 2% del valor de los activos físicos.
b. La inversión anual en la reposición de infraestructuras está entre el 2% y el 4% del valor de los activos físicos.
c. La inversión anual en la reposición de infraestructuras es superior al 4% del valor de los activos físicos.

24. Cobertura de costes inversión. Ratio de cobertura de costes de inversión mediante las tarifas de saneamiento.

a. Las tarifas están muy lejos de cubrir los costes. No están vinculadas a ellos.
b. Las tarifas cubren los costes de operación y mantenimiento, pero no los de las infraestructuras.
c. Los costes totales del servicio de saneamiento están cubiertos con las tarifas.

25. Cobertura de costes operación. Ratio de cobertura de costes de operación mediante las tarifas de saneamiento.

a. Las tarifas están muy lejos de cubrir los costes de operación. No están vinculadas a ellos.
b. Las tarifas están vinculadas a los costes de operación y mantenimiento, pero nos los cubren en su totalidad.
c. Los costes totales de operación y mantenimiento del servicio de saneamiento están cubiertos al 100% con las tarifas.

B.6 DESBORDAMIENTO DE SISTEMAS UNITARIOS

26. Gestión de las Aguas pluviales que se envían a la PTAR.

a. La PTAR no está diseñada para la gestión de las aguas pluviales que llegan por el sistema combinado, y se vierten directamente en la cabecera de la planta
b. La PTAR cuenta con un diseño básico para la gestión de las aguas pluviales. La línea de desbaste, desarenado y tratamiento primario están dimensionadas para que las aguas pluviales se viertan con cierto nivel de desbaste y tratamiento primario
c. La gestión de las Aguas pluviales en la PTAR se hace de un modo integral con el resto del sistema. La planta dispone de tratamientos específicos (líneas adicionales de tratamiento) y estrategias de operación para actuar durante el periodo de influencia de los episodios de lluvia, incluyendo el eventual vaciado de las infraestructuras de control de desbordamientos.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

27. Efecto de las aguas de lluvia sobre los procesos de la PTAR. ¿En qué medida afectan las aguas pluviales a la gestión y operación de los procesos de la PTAR?

a. Los procesos de la PTAR no se ven afectados por las aguas de lluvia porque se vierten en la cabecera de la misma
b. Los procesos biológicos de la PTAR se ven afectados por los episodios de lluvia y el vaciado de las infraestructuras de control de los desbordamientos. Esto incide en la calidad del efluente tratado durante varios días una vez pasado el vaciado de los tanques anti-DSU
c. Los procesos biológicos de la PTAR no están afectados por la gestión de las aguas pluviales

28. Frecuencia de las descargas intermitentes por reboses. Frecuencia relativa de desbordamientos desde la PTAR durante los episodios de lluvia

a. La PTAR vierte aguas sin tratar prácticamente en cada episodio de lluvia
b. La PTAR vierte aguas con un tratamiento parcial durante los episodios de lluvia
c. Las aguas pluviales son tratadas de un modo adecuado por la PTAR

29. Volumen del agua pluvial tratada por el sistema. Porcentaje del volumen de agua pluvial que es tratada por el sistema de saneamiento, incluyendo las estructuras anti-DSU, técnicas de drenaje urbano sostenible y la propia PTAR

a. El sistema no está diseñado para tratar ningún volumen de agua pluvial
b. El sistema trata menos del 40% del volumen de agua pluvial generada en las cuencas urbanas
c. El sistema trata entre el 40% y el 80% del volumen de agua pluvial generada en las cuencas urbanas
d. El sistema trata más del 80% del volumen de agua pluvial generado en el sistema

30. Caracterización de presiones ejercidas sobre el medio receptor por DSU. ¿En qué medida se caracterizan el número o volumen de los desbordamientos de los sistemas combinados hacia el medio receptor?

a. No se conoce ni el número ni la frecuencia de vertidos por DSU
b. Se tiene un censo parcial de algunos puntos de vertido, aunque no se conoce con exactitud la frecuencia de vertidos
c. Existe un censo más o menos completo de los puntos de vertido, y los puntos principales están dotados de sistemas para contar el número de vertidos
d. Existe un censo completo de los puntos de vertido, y los puntos de vertido tienen sistemas de cuantificación de vertidos completo (número de vertidos y volumen vertido), que dispone de un sistema de telecontrol que permite conocer de manera centralizada la información de los vertidos

31. Caracterización de presiones ejercidas sobre el medio receptor por DSU. ¿En qué medida se caracterizan las cargas de contaminantes de los desbordamientos de los sistemas combinados hacia el medio receptor?

a. No se caracterizan
b. Se caracterizan algunos puntos con tomas de muestra puntuales, aunque no existe ningún protocolo sistematizado para la caracterización de los DSU
c. Se caracterizan de manera puntual los puntos de vertido más representativos, con un protocolo que permite estimar las cargas y concentraciones de los contaminantes más relevantes
d. Se caracterizan de una manera sistematiza los puntos de vertido más representativos, empleando sistemas de medida en continuo que se correlacionan con los principales contaminantes con el apoyo de campañas de toma muestra planificadas. Además, el sistema dispone de un sistema de telecontrol que permite conocer de manera centralizada la información de los vertidos

3.3DRENAJE

C1. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE

1. **Datos sobre precipitaciones ¿En qué medida existen datos sobre precipitaciones que permitan hacer estudios y análisis relacionados con el drenaje?**

    a. No existen datos.
    b. Existen datos, pero tanto los actuales como los históricos son poco fiables.
    c. Se dispone de datos fiables, pero solo para periodos relativamente actual. Los datos históricos no están disponibles.
    d. Se dispone de datos actuales y de series históricas fiables.

2. **Datos sobre la disponibilidad de lluvias de diseño ¿En qué medida existen datos sobre precipitaciones de diseño que permitan proyectar las infraestructuras de drenaje?**

    a. No existen datos por lo que los proyectos se realizan en base a criterios heterogéneos propuestos por las administraciones o proyectistas
    b. No existen datos locales que indiquen el nivel de riesgo, la forma o duración de los hietogramas de proyecto, pero se emplean algún tipo de criterio en el diseño (por ejemplo, normativa de otros países).
    c. Existen datos locales y un procedimiento homogéneo para determinar el nivel de riesgo, la duración y forma de los hietogramas de proyecto.

3. **Conocimiento del sistema de drenaje ¿En qué medida se conoce la configuración del sistema de drenaje?**

    a. No existe un conocimiento claro del sistema de drenaje, de las cuencas vertientes o de los principales ejes de drenaje
    b. Se conocen las principales cuencas y conducciones del sistema (diámetros, pendientes, materiales), aunque no se tiene conocimiento de los elementos secundarios del mismo como los colectores secundarios o los elemento del mismo, como pozos de registro o sumideros
    c. Se conocen las cuencas de drenaje y sus elementos.

4. **Superficie con drenaje formal. Porcentaje de la superficie de la cuenca que cuenta con un sistema de drenaje formal (imbornales, canales, conducciones)**

    a. Menos del 20%
    b. Entre el 20 y el 40%
    c. Entre el 40% y el 80%
    d. Más del 80%

C.2 ACTIVOS DRENAJE

5. **Separación de redes de Saneamiento y Drenaje. ¿En qué medida se trabaja con redes de saneamiento y drenaje separadas?**

    a. Se desconoce el estado de separación de las redes y no se está trabajando en ello.
    b. Se han realizado intentos por diferenciar en qué medida las redes son separativas o unitarias, pero por el momento la información no es suficiente para realizar análisis sólidos.
    c. Se conoce el porcentaje de la red que es unitaria y cual es separativa. Sin embargo, las infraestructuras no están adaptadas a esta situación.
    d. Se conoce el porcentaje de la red que es unitaria y cual es separativa y el diseño y funcionamiento de las infraestructuras está adaptado a ello.

6. **Capacidad de la red de drenaje ¿En qué medida la capacidad de la red de drenaje es la adecuada para satisfacer las necesidades de la población?**

    a. Las infraestructuras no tienen la capacidad adecuada para responder a las necesidades de la ciudad.
    b. Las infraestructuras están correctamente dimensionadas y diseñadas, pero su funcionamiento no es el adecuado.
    c. Las infraestructuras están correctamente diseñadas y dimensionadas y su funcionamiento es el adecuado.

7. **Edad media de las infraestructuras. ¿En qué medida la edad media de las infraestructuras del sistema de drenaje es la adecuada para cumplir con sus funciones?**

    a. La edad media de las instalaciones supera los 30 años.
    b. La edad media de las infraestructuras está entre 15 y 30 años.
    c. La edad media de las infraestructuras es inferior a 15 años.

8. **Recursos humanos. ¿En qué medida los recursos humanos involucrados en el sistema de drenaje son suficientes?**

    a. Los recursos humanos involucrados en el sistema de drenaje son claramente insuficientes.
    b. En alguna de las entidades involucradas en el sistema de drenaje, o en alguno de los niveles de sus estructuras, los recursos humanos disponibles no se ajustan a las necesidades en número y capacidad. Existen áreas o departamentos que sí cuentan con los recursos humanos adecuados.
    c. Los recursos humanos involucrados en el sistema de drenaje cubren las necesidades de un modo satisfactorio.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

C.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

9. Operación del sistema de drenaje. ¿En qué medida la operación del sistema de drenaje es la adecuada?

a. La operación del sistema de drenaje se lleva a cabo con un programa de control y monitoreo muy básico y mínimamente automatizado.
b. Existe un sistema de operación que incluye cierta automatización en el control y registro de parámetros.
c. La operación del sistema de drenaje está altamente automatizada y cuenta con sistemas de telecontrol y alerta temprana para la detección de incidencias. Esto permite realizar análisis complejos para la mejora continua del sistema.

10. Mantenimiento del sistema de drenaje. ¿En qué medida el mantenimiento del sistema de drenaje es el adecuado?

a. El mantenimiento es mínimo y casi siempre está vinculado a la solución de incidencias.
b. El mantenimiento de las infraestructuras no está planificado. Se realizan acciones de mantenimiento (inspección, limpieza y rehabilitación etc.) pero no de un modo organizado.
c. El mantenimiento está planificado y se lleva a cabo de acuerdo con un programa de acciones sistematizado y con los medios adecuados.

11. Referenciación de elementos. En qué medida las tuberías, la red y las arquetas están correctamente referenciadas en el sistema de gestión.

a. Están correctamente referenciadas menos del 25%.
b. Están correctamente referenciadas entre el 25 y el 50%.
c. Están correctamente referenciadas el 50 y el 75%.
d. Están correctamente referenciadas más del 75%.

C.4 INUNDACIONES

12. Frecuencia inundaciones por carencias en el sistema de drenaje. ¿Con que frecuencia se producen inundaciones en territorio urbano relacionadas con carencias en el sistema de drenaje?

a. Se producen inundaciones relacionadas con insuficiencias de la red de drenaje varias veces al año
b. Se producen inundaciones relacionadas con insuficiencias de la red de drenaje cada 1-2 años
c. Con insuficiencias de la red de drenaje cada 5-10 años
d. Se producen inundaciones relacionadas con insuficiencias de la red de drenaje con una frecuencia superior a los 10 años

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

13. Daños ocasionados por carencias en el sistema de drenaje. ¿En qué medida son elevados los daños ocasionados por las inundaciones producidos por carencias del sistema de drenaje?

a. Los daños suelen ser elevados. Las inversiones necesarias para llevar a cabo la rehabilitación son muy elevadas y normalmente no son asumibles a corto plazo.
b. Los daños son moderadamente elevados. La recuperación lleva cierto tiempo durante el cual los servicios de la ciudad se suelen ver afectados temporalmente.
c. Los daños no suelen ser muy elevados. Las rehabilitaciones se realizan rápida y fácilmente.

14. Existe un conocimiento sobre el riesgo hidrológico asociado a inundaciones urbanas generadas por el drenaje urbano.

a. No.
b. Se cuenta con datos históricos y empíricos que permiten acotar las zonas de mayor riesgo.
c. Se está comenzando a trabajar con modelos que permitirán determinar con rigor los mapas de riesgo.
d. El riesgo hidrológico se ha calculado a partir de modelización de la red y del medio natural y contraste con datos históricos, está incluido en mapas de riesgo en el sistema SIG y es accesible sin coste para planificación y proyecto.

C.5 SOSTENIBILIDAD FINANCIERA

15. Viabilidad económica del sistema de drenaje. ¿Están incluidos los costes asociados a los servicios de drenaje en la facturación de otros sistemas como el abastecimiento o el saneamiento?

a. El gasto por el servicio de drenaje no está repercutido en los costes de los otros sistemas
b. El gasto está repercutido, aunque no su cálculo no obedece a ningún tipo de criterio
c. El gasto está repercutido y obedece a criterios de análisis de costes de operación, explotación y mantenimiento del sistema

16. Voluntad de pago de los hogares. ¿En qué medida los hogares están dispuestas a pagar por los servicios de drenaje?

a. La mayoría de la población no contempla el drenaje de agua como un servicio objeto de pago, y considera que debería ser gratuito.
b. Una pequeña parte de la población es reticente a considerar el drenaje del agua como objeto de pago. Cada vez menos población piensa de este modo.
c. La parte de la población que considera que no se debería pagar por el servicio de drenaje del agua es muy minoritaria y no es representativa.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

17. Eficacia de la recaudación. Relación entre los ingresos facturados y los realmente recaudados.

a. La recaudación es inferior al 90% de la facturación
b. La recaudación está entre el 90 y el 98 % de la facturación.
c. La recaudación es superior al 98% de la facturación

18. Reposición de infraestructuras. Inversión anual en reposición en relación al valor de los activos físicos inmovilizados

a. La inversión anual en la reposición de infraestructuras es inferior al 2% del valor de los activos físicos.
b. La inversión anual en la reposición de infraestructuras está entre el 2% y el 4% del valor de los activos físicos.
c. La inversión anual en la reposición de infraestructuras es superior al 4% del valor de los activos físicos.

19. Cobertura de costes inversión. Ratio de cobertura de costes de inversión mediante las tarifas asociadas al drenaje.

a. Las tarifas están muy lejos de cubrir los costes. No están vinculadas a ellos.
b. Las tarifas cubren los costes de operación y mantenimiento, pero no los de las infraestructuras.
c. Los costes totales del servicio de drenaje están cubiertos con las tarifas.

20. Cobertura de costes operación. Ratio de cobertura de costes de operación mediante las tarifas asociadas al drenaje.

a. Las tarifas están muy lejos de cubrir los costes de operación. No están vinculadas a ellos.
b. Las tarifas están vinculadas a los costes de operación y mantenimiento, pero nos los cubren en su totalidad.
c. Los costes totales de operación y mantenimiento del servicio de drenaje están cubiertos al 100% con las tarifas.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

C.6 TÉCNICAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES

21. Caracterización de presiones ejercidas sobre el medio receptor por los vertidos de aguas pluviales. ¿En qué medida se caracterizan el número o volumen de los desbordamientos de la red de drenaje pluvial?

a. No se conoce ni el número ni la frecuencia de vertidos
b. Se tiene un censo parcial de algunos puntos de vertido, aunque no se conoce con exactitud la frecuencia de vertidos
c. Existe un censo más o menos completo de los puntos de vertido, y los puntos principales están dotados de sistemas para contar el número de vertidos
d. Existe un censo completo de los puntos de vertido, y los puntos de vertido tienen sistemas de cuantificación de vertidos completo (número de vertidos y volumen vertido), que dispone de un sistema de telecontrol que permite conocer de manera centralizada la información de los vertidos

22. Caracterización de presiones ejercidas sobre el medio receptor por los vertidos de aguas pluviales. ¿En qué medida se caracterizan las cargas de contaminantes de los de los desbordamientos de la red de drenaje pluvial?

a. No se caracterizan
b. Se caracterizan algunos puntos con tomas de muestra puntuales, aunque no existe ningún protocolo sistematizado para la caracterización de los vertidos
c. Se caracterizan de manera puntual los puntos de vertido más representativos, con un protocolo que permite estimar las cargas y concentraciones de los contaminantes más relevantes
d. Se caracterizan de una manera sistematiza los puntos de vertido más representativos, empleando sistemas de medida en continuo que se correlacionan con los principales contaminantes con el apoyo de campañas de toma muestra planificadas. Además, el sistema dispone de un sistema de telecontrol que permite conocer de manera centralizada la información de los vertidos

23. Caracterización del grado de impermeabilización del sistema de drenaje. Porcentaje de las superficies impermeables con respecto a las superficies naturales

a. El porcentaje de superficies impermeables en la cuenca de drenaje es superior al 80% (0)
b. El porcentaje de superficies impermeables en la cuenca de drenaje está entre el 60% y el 80%
c. El porcentaje de superficies impermeables en la cuenca de drenaje está entre el 40% y el 60%
d. El porcentaje de superficies impermeables en la cuenca de drenaje es inferior al 40%

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

24. Caracterización del grado de presión por contaminantes peligrosos por actividades industriales y transportes. Porcentaje de las superficies impermeables vinculadas a zonas industriales y vías de alta capacidad de tráfico en la cuenca de drenaje

a. El porcentaje de superficies industriales y vías de transporte de alta capacidad en la cuenca de drenaje es superior al 60%
b. El porcentaje de superficies industriales y vías de transporte de alta capacidad en la cuenca de drenaje está entre el 40% y el 60%
c. El porcentaje de superficies industriales y vías de transporte de alta capacidad en la cuenca de drenaje está entre el 20% y el 40%
d. El porcentaje de superficies industriales y vías de transporte de alta capacidad en la cuenca de drenaje es inferior al 20%

25. Utilización de TDUS. El diseño del sistema urbano del agua incorpora Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible

a. No, el concepto TDUS no se tiene en cuenta.
b. Existe voluntad para incorporar las TDUS en el sistema urbano del agua, y cada vez hay una mayor sensibilidad en la administración, pero por el momento no se están incorporando TDUS en los proyectos.
c. Las TDUS han sido incorporadas en el diseño de algunas infraestructuras urbanas, y la tendencia va en aumento.
d. Como norma general, las TDUS forman parte de los criterios de diseño de las infraestructuras de urbanas. El impacto de las de las mismas está siendo monitoreado de un modo sistemático.

3.4MEDIO NATURAL

D.1. CONTROL DE VERTIDOS

1. **Control de vertidos. ¿Se realiza el control de los vertidos y/o puntos contaminantes?**

    a. No.
    b. Sólo de forma puntual y no sistematizada. No hay un departamento y/o personal con dedicación específica.
    c. Los vertidos se controlan de forma más o menos sistemática, con criterios claros e inspecciones planificadas. Existe un inventario de puntos de vertido. Hay personal dedicado a estas tareas, pero no como parte de un equipo o departamento específico.
    d. Hay un departamento específico de vertidos que realiza un control planificado, sistematiza toda la información relacionada y hace un seguimiento continuo. Este departamento trabaja en coordinación con otros departamentos, administraciones y entidades vinculadas a la problemática. Existe un protocolo y servicio de gestión de alertas por vertido.

2. **Sanción por vertido. ¿Los vertidos son objeto de sanción?**

    a. No.
    b. Sí, pero sólo de forma puntual. Las sanciones por vertido están contempladas en la reglamentación, pero los procedimientos no están del todo claros o no son ágiles, y lo normal es que los expedientes no lleguen a abrirse o que la tramitación sea lenta y confusa.
    c. Hay un procedimiento claro para sancionar los vertidos. La administración responsable cuenta con un área o departamento dedicado a ello y el proceso está sistematizado y es relativamente eficaz.

3. **Autorización de vertido. ¿Existe un procedimiento de autorización de vertidos?**

    a. No.
    b. La autorización de vertido está contemplada en la reglamentación, pero los procedimientos no están del todo claros o no son ágiles, y lo normal es que los expedientes no lleguen a abrirse o que la tramitación sea lenta y confusa.
    c. Hay un procedimiento claro para autorizar vertidos. La administración responsable cuenta con un área o departamento dedicado a ello y el proceso está sistematizado y es relativamente eficaz.

4. **Seguimiento y control en medio receptor. ¿Existen medios o estudios que permiten hacer un seguimiento y control de la evolución de los vertidos en el medio receptor?**

    a. No.
    b. Existen una o varias redes de control del medio receptor que pueden ser empleadas para obtener información relacionada con la evolución de los vertidos. Para ampliar esta información se realizan inspecciones in situ.
    c. Existe una red específica dedicada al seguimiento y la evolución de los vertidos en medio receptor. Se cuenta con datos y desarrollos que permiten modelizar su evolución.

5. **Recursos humanos dedicados al control de vertidos. En qué medida el personal dedicado al control y gestión de vertidos es suficiente.**

    a. Los recursos humanos involucrados en el control de vertidos son claramente insuficientes.
    b. El déficit de recursos humanos relacionados con el control de vertidos es parcial. Existen tareas o áreas de trabajo (por ejemplo, inspección en terreno, tramitación, etc.), en las que el personal disponible sí se ajusta a las necesidades en número y capacidad.
    c. Los recursos humanos involucrados en el control de vertidos cubren las necesidades de un modo satisfactorio.

6. **Presupuesto anual dedicado al control de vertidos. En qué medida el presupuesto dedicado al control y gestión de vertidos es suficiente.**

    a. El presupuesto dedicado al control de vertidos es claramente insuficiente.
    b. El presupuesto dedicado al control de vertidos, es suficiente para cubrir alguna de las áreas de trabajo (por ejemplo, inspección en terreno, tramitación, etc.), sin embargo, es deficitario en otras.
    c. El presupuesto dedicado al control de vertidos es suficiente para cubrir las necesidades de un modo satisfactorio.

7. **Puntos de vertido subsanados en relación a los puntos problemáticos identificados. Relación entre los puntos problemáticos identificados al inicio de año y los puntos problemáticos subsanados a lo largo del año.**

    a. No existen datos.
    b. El porcentaje es inferior al 5%
    c. Se subsanan entre el 5-15%
    d. El porcentaje es superior al 15%

8. **Inspecciones realizadas por año. Número de inspecciones de control de vertidos (informe consolidado) realizadas por año en relación al número de habitantes.**

    a. Menos de 20 inspecciones al año por cada 100.000 habitantes
    b. Entre 20 y 80 inspecciones al año por cada 100.000 habitantes
    c. Más de 80 inspecciones al año por cada 100.000 habitantes

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

D.2. CONTROL CALIDAD AGUAS

9. Control de la calidad de las aguas superficiales. ¿Se controla la calidad de las aguas superficiales?

a. No se controla.
b. Sólo de forma puntual y no sistematizada. No hay un departamento y/o personal con dedicación específica.
c. La calidad del agua superficial se controla de un modo más o menos planificado. Existen unos criterios y parámetros claros. El procesado y análisis de la información no están sistematizados. Hay personal dedicado a estas tareas, pero no como parte de un equipo o departamento específico.
d. Hay un departamento específico que realiza el control de la calidad de las aguas de un modo planificado empleando una o varias redes de control. La información relacionada se procesa y analiza sistemáticamente. Este departamento trabaja en coordinación con otros departamentos, administraciones y entidades vinculadas a la problemática.

10. Procesos y objetivos del control de la calidad de las aguas superficiales. ¿Los procesos y objetivos del control de la calidad de las aguas superficiales están definidos?

a. No están definidos.
b. Existen unos procedimientos y objetivos básicos, pero no están respaldados por la reglamentación oportuna
c. Existe reglamentación que define los elementos necesarios para el control de la calidad de las aguas superficiales (frecuencias y parámetros a analizar, condiciones de referencia, clases de estado, límites e indicadores para los diferentes elementos de análisis), sin embargo, estos elementos no forman parte de una estrategia de GRH.
d. Los procesos de control de la calidad y sus objetivos están claramente definidos. La calidad de las aguas superficiales es un objetivo prioritario en el marco de una visión de Gestión Integral de los Recursos Hídricos.

11. Control de la calidad de las aguas subterráneas. ¿Se controla la calidad de las aguas subterráneas?

a. No se controla.
b. Sólo de forma puntual y no sistematizada. No hay un departamento y/o personal con dedicación específica.
c. La calidad del agua superficial se controla de un modo más o menos planificado. Existen unos criterios y parámetros claros. El procesado y análisis de la información no están sistematizados. Hay personal dedicado a estas tareas, pero no como parte de un equipo o departamento específico.
d. Hay un departamento específico que realiza el control de la calidad de las aguas de un modo planificado empelando una o varias redes de control. La información relacionada se procesa y analiza sistemáticamente. Este departamento trabaja en coordinación con otros departamentos, administraciones y entidades vinculadas a la problemática.

12. Procesos y objetivos de control de la calidad de las aguas subterráneas. ¿Los procesos y objetivos del control de la calidad de las aguas subterráneas están definidos?

a. No.
b. Existen unos procedimientos y objetivos básicos, pero no están respaldados por la reglamentación oportuna
c. Existe reglamentación que define los elementos necesarios para el control de la calidad de las aguas subterráneas (frecuencias y parámetros a analizar, condiciones de referencia, clases de estado, límites e indicadores para los diferentes elementos de análisis), sin embargo, estos elementos no forman parte de una estrategia de GIRH.
d. Los procesos de control de la calidad y sus objetivos están claramente definidos. La calidad de las aguas subterráneas es un objetivo prioritario en el marco de una visión de Gestión Integral de los Recursos Hídricos.

13. Control de los parámetros biológicos. En los principales puntos establecidos, ¿cuál es la frecuencia de control de los parámetros biológicos de calidad en los ríos y lagos?

a. No se realiza.
b. Existe algún dato. La frecuencia se desconoce, pero es inferior a 1 control al año
c. Se realiza por lo menos un control al año.

14. Control de los parámetros hidromorfológicos. En los principales puntos establecidos, ¿cuál es la frecuencia de control de los parámetros hidromorfológicos (continuidad, morfología) en ríos y lagos?

a. No se realiza.
b. Existe algún dato. La frecuencia se desconoce, pero es inferior a 1 control al año.
c. Se realiza por lo menos 1 control al año.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

15. Control de los parámetros de calidad químicos y fisicoquímicos. En los principales puntos establecidos, ¿cuál es la frecuencia de control de los parámetros de calidad químicos y fisicoquímicos en ríos y lagos?

- Condiciones térmicas: Tª agua y aire
- Oxigenación: O2 disuelto mg/l - Tasa saturación O2 – Dbo5
- Salinidad: conductividad
- Nutrientes: N y P (nitratos, nitritos, amonio, N, fosfatos, P)
- Acidez: PH
- Sólidos suspensión
- Metales: Fe, Mn, Cu, Zn
- Microbiología: Coliformes fecales – E. Coli – Enterococos intestinales.

a. No se realiza.
b. Existe algún dato. La frecuencia se desconoce, pero es inferior a 4 controles al año.
c. Se realiza por lo menos 4 controles al año.

16. Recursos humanos dedicados al control de la calidad del agua. En qué medida el personal dedicado control de la calidad del agua es suficiente.

a. Los recursos humanos involucrados en el control de la calidad del agua son claramente insuficientes.
b. El déficit de recursos humanos relacionados con el control de la calidad del agua es parcial. Existen tareas o áreas de trabajo (por ejemplo, inspección en terreno, procesado y análisis de la información, etc.), en las que el personal disponible sí se ajusta a las necesidades en número y capacidad.
c. Los recursos humanos involucrados en el control de vertidos son suficientes para cubrir las necesidades de un modo satisfactorio.

17. Presupuesto anual dedicado al control de calidad del agua. En qué medida el presupuesto dedicado al control de la calidad del agua es suficiente.

a. El presupuesto dedicado al control de vertidos es claramente insuficiente.
b. El presupuesto dedicado al control de vertidos, es suficiente para cubrir alguna de las áreas de trabajo (por ejemplo, inspección en terreno, procesado y análisis de la información, etc.), sin embargo, es deficitario en otras.
c. El presupuesto dedicado control de la calidad del agua cubre las necesidades de un modo satisfactorio.

D.3 CONCESIONES Y AUTORIZACIONES

18. Control de usos y aprovechamientos. ¿Existe un control de los usos y aprovechamientos del agua?

a. No.
b. Sólo de forma puntual y no sistematizada. No hay un departamento y/o personal con dedicación específica.
c. El uso y aprovechamiento del agua están debidamente regladas y siempre es necesaria la concesión de la autoridad competente. Existe un equipo o departamento dedicado a esta tarea, sin embargo, los procesos no son muy ágiles. La información no está sistematizada y/o digitalizada.
d. Las concesiones son gestionadas de forma eficiente pro un departamento específico que cuenta con procesos ágiles. La información relacionada con las concesiones está digitalizada y se cuenta con un GIS y estudios de apoyo que facilitan la toma de decisiones.

19. Control de obras o trabajos en DPH. ¿Existe un control de las autorizaciones para obras o trabajos en el Dominio Público Hidráulico?

a. No.
b. Sólo de forma puntual y no sistematizada. No hay un departamento y/o personal con dedicación específica.
c. La autorización por parte de la autoridad competente es siempre necesaria. Existe un equipo o departamento dedicado a esta tarea, sin embargo, los procesos no son muy ágiles. La información no está sistematizada y/o digitalizada.
e. Las autorizaciones son gestionadas de forma eficiente pro un departamento específico que cuenta con procesos ágiles. La información relacionada con las concesiones está digitalizada y se cuenta con un GIS y estudios de apoyo que facilitan la toma de decisiones.

20. Registro. ¿Existe un registro de concesiones y autorizaciones?

a. No.
b. Existe documentación archivada, pero no un registro oficial
c. Sí, existe un registro oficial, pero no hay un proceso claro de manejo y gestión del registro, y este no se actualiza de forma sistemática. No está digitalizado.
d. Existe un registro oficial actualizado y con una gestión adecuada. El registro está digitalizado o en un proceso avanzado de digitalización.
e. El registro está incluido en un SIG.

21. Vigilancia. ¿Se lleva a cabo la vigilancia de las concesiones y autorizaciones?

a. No.
b. Sí, pero de forma puntual y sin personal dedicado exclusivamente a ello.
c. Sí, de una forma planificada y con un departamento y/o personal específico.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

22. Sanciones. ¿Los usos del agua y las obras no autorizadas son objeto de sanción?

a. No.
b. Sí, pero sólo de forma puntual. Las sanciones están contempladas en la reglamentación, pero los procedimientos no están del todo claros o no son ágiles, y lo normal es que los expedientes no lleguen a abrirse o que la tramitación sea lenta y confusa.
c. Hay un procedimiento claro para sanciona. La administración responsable cuenta con un área o departamento dedicado a ello y el proceso está sistematizado y es relativamente eficaz.

23. Recursos humanos vinculados al registro y control de autorizaciones y concesiones. En qué medida el personal vinculado al registro y control de autorizaciones y concesiones es suficiente.

a. Los recursos humanos involucrados en el registro y control de autorizaciones y concesiones son claramente insuficientes.
b. El déficit de recursos humanos relacionados con el control de vertidos es parcial. Existen tareas o áreas de trabajo (por ejemplo, inspección en terreno, tramitación, etc.), en las que el personal disponible sí se ajusta a las necesidades en número y capacidad.
c. Los recursos humanos involucrados en el registro y control de autorizaciones y concesiones son suficientes para cubrir las necesidades de un modo satisfactorio.

24. Presupuesto anual dedicado al registro y control de autorizaciones y concesiones. En qué medida el presupuesto dedicado al registro y control de autorizaciones y concesiones es suficiente.

a. El presupuesto dedicado al registro y control de autorizaciones y concesiones es claramente insuficiente.
b. El presupuesto dedicado al registro y control de autorizaciones y concesiones, es suficiente para cubrir bien alguna de las áreas de trabajo (por ejemplo, inspección en terreno, procesado y análisis de la información, etc.), sin embargo, es deficitario en otras.
c. El presupuesto dedicado control al registro y control de autorizaciones y concesiones es suficiente para cubrir las necesidades de un modo satisfactorio.

D.4 USOS, ZONIFICACIÓN Y FIGURAS DE PROTECCIÓN

25. Zonificación y protección de masas de agua. ¿Existe una zonificación de las masas de agua por usos y figuras de protección?

a. No existe.
b. Sí, pero la reglamentación no está muy desarrollada y la zonificación por usos y figuras de protección no forma parte de una estrategia global. Las zonas no están correctamente identificadas y delimitadas.
c. Sí, la zonificación por figuras de protección forma parte estrategia global y existe reglamentación clara al respecto. Las zonas están correctamente identificadas y delimitadas, y en ellas se realiza un seguimiento continuado. (1)

26. Captación de agua para abastecimiento. ¿En qué medida existe y es efectiva la figura de protección y la zonificación de las masas de agua vinculada a la captación de agua para abastecimiento?

a. No existe.
b. Sí, pero la reglamentación no está muy desarrollada y el cumplimiento de la misma no es muy alto.
c. La reglamentación está desarrollada correctamente, pero el cumplimiento de la misma no es el adecuado. Los recursos destinados al desarrollo de este tipo de figuras de protección suelen ser insuficientes.
d. La reglamentación es clara y su cumplimiento elevado. En los casos en lo que no se cumple existe un procedimiento claro y con los medios suficientes para establecer el control y, en su caso, la sanción oportuna.

27. Ecosistemas y hábitats naturales. ¿En qué medida existe y es efectiva la figura de protección y la zonificación de las masas de agua vinculada a la protección de ecosistemas y hábitats naturales?

a. No existe.
b. Sí, pero la reglamentación no está muy desarrollada y el cumplimiento de la misma no es muy alto.
c. La reglamentación está desarrollada correctamente, pero el cumplimiento de la misma no es el adecuado. Los recursos destinados al desarrollo de este tipo de figuras de protección suelen ser insuficientes.
d. La reglamentación es clara y su cumplimiento elevado. En los casos en lo que no se cumple existe un procedimiento claro y con los medios suficientes para establecer el control y, en su caso, la sanción oportuna.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

28. Usos piscícolas. ¿En qué medida existe y es efectiva la figura de protección y zonificación de las masas de agua vinculada a usos piscícolas?

a. No existe
b. Sí, pero la reglamentación no está muy desarrollada y el cumplimiento de la misma no es muy alto.
c. La reglamentación está desarrollada correctamente, pero el cumplimiento de la misma no es el adecuado. Los recursos destinados al desarrollo de este tipo de figuras de protección suelen ser insuficientes.
d. La reglamentación es clara y su cumplimiento elevado. En los casos en lo que no se cumple existe un procedimiento claro y con los medios suficientes para establecer el control y, en su caso, la sanción oportuna.

29. Zonas de baño y recreativas. ¿En qué medida existe y es efectiva la figura de protección y zonificación de las masas de agua vinculada a zonas de baño y/o usos recreativos?

a. No existe.
b. Sí, pero la reglamentación no está muy desarrollada y el cumplimiento de la misma no es muy alto.
c. La reglamentación está desarrollada correctamente, pero el cumplimiento de la misma no es el adecuado. Los recursos destinados al desarrollo de este tipo de figuras de protección suelen ser insuficientes.
d. La reglamentación es clara y su cumplimiento elevado. En los casos en lo que no se cumple existe un procedimiento claro y con los medios suficientes para establecer el control y, en su caso, la sanción oportuna.

D.5. DPH-INUNDACIONES

30. Control del caudal de los ríos. ¿En qué medida se controla el caudal de los ríos?

a. No se controla.
b. Sí pero no de un modo sistematizado. No se cuenta con una red de aforos que permita obtener datos de un modo continuo.
c. Sí, el control de los caudales está sistematizado y proporciona datos permite realizar análisis fiables.
d. Existe una red de aforos que transmite los datos en tiempo real y facilita la realización de estudios detallados.

31. Estudios a nivel de cuenca. ¿Existen estudios hidrológicos a nivel de cuenca?

a. No existen.
b. Sí, pero a un nivel básico y con datos de partida poco fiables o incompletos.
c. Sí, los estudios parten de datos históricos y una actualización de datos continua, qué permiten hacer estudios completos y análisis sólidos.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

32. Planificación por cuencas. ¿Existe un Plan Hidrológico que establezca la planificación gestión y ordenación integral de los recursos hídricos de la cuenca?

a. No.
b. Sí, existe, pero no es un documento muy desarrollado. No es un documento que se emplee como referencia.
c. Existe y es un documento bastante avanzado que se emplea como referencia en cualquier acción relacionada con la Gestión de Recursos Hídricos.
d. Existe y además de ser el documento de referencia para la GIRH, su cumplimiento es obligatorio por ley.

33. Previsión y gestión del riesgo de inundación. ¿En qué medida, existen o se desarrollan estudios o planes relacionados con la previsión y gestión de inundaciones?

a. No existe ningún tipo de trabajo al respecto.
b. Existen estudios relacionados con inundaciones, pero su alcance es muy básico y su utilización muy limitada.
c. Están identificadas las áreas de riesgo de inundación. La coordinación entre actores (especialmente entre los gestores del agua y protección civil) no es muy elevada y sólo se da en caso puntuales.
d. Existen estudios que delimitan los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación. La coordinación entre actores es habitual.
e. Existe un Plan de Gestión de Riesgo de Inundación, que incluye la información avanzada e identifica los actores clave y establece su necesaria coordinación.

34. Sistema de Alerta Temprana. ¿Existe un Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones?

a. No.
b. Sí existe, pero es muy básico y en la práctica poco operativo.
c. Existe y es una eficaz herramienta de apoyo en la previsión y gestión de las inundaciones y sus consecuencias.

35. Construcción en zona inundable. ¿En qué medida la superficie de la ciudad ocupada por viviendas o edificaciones está en zona inundable?

a. Es habitual que haya viviendas o edificaciones en zona inundable.
b. Existen viviendas o edificaciones en zona inundable, pero es algo excepcional y estas sólo suelen verse afectadas por inundaciones de carácter histórico.
c. No hay viviendas o edificaciones levantadas en zona inundable.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

36. Frecuencia inundaciones por crecida de ríos. ¿Con que frecuencia se producen inundaciones en territorio urbano relacionadas con la crecida de los ríos?

a. Una o varias veces al año se producen inundaciones relacionadas con la crecida de los ríos.
b. Normalmente se producen inundaciones relacionadas con la crecida de los ríos cada 1-20 años.
c. Normalmente se produce inundaciones relacionadas con la crecida de los ríos cada 20-100 años.
d. El periodo entre inundaciones relacionadas con la crecida de los ríos es superior a 100 años.

37. Daños ocasionados por crecida de ríos. ¿En qué medida son elevados los daños ocasionados por las inundaciones producidos por la crecida de ríos?

a. Los daños suelen ser elevados. Las inversiones necesarias para llevar a cabo la rehabilitación son muy elevadas y normalmente no son asumibles a corto plazo.
b. Los daños son moderadamente elevados. La recuperación lleva cierto tiempo durante el cual los servicios de la ciudad se suelen ver afectados temporalmente.
c. Los daños no suelen ser muy elevados. Las rehabilitaciones se realizan rápida y fácilmente.

38. Dominio Público Hidráulico. ¿Está delimitado el Dominio Público Hidráulico?

a. No está delimitado ni el DPH ni las eventuales zonas de protección asociadas.
b. Está delimitado tanto el DPH como las zonas protección asociadas, pero el criterio para hacerlo no está del todo claro o no es muy preciso.
c. El DPH y las zonas de protección asociadas están claramente delimitadas.

D.6. CAUDALES ECOLÓGICOS

39. Existe una normativa específica para la determinación de caudales ecológicos.

a. No
b. Se cita en algún texto legal, pero no hay un reglamento que indique cómo calcularlo
c. Existe un reglamento claro y completo que permite calcularlo

40. Los caudales ecológicos se determinan teniendo en cuenta las características del ecosistema y la época del año.

a. No. Se da un porcentaje del caudal medio, para todos los casos, o una aproximación similar
b. Se tienen en cuenta la época del año, pero no el ecosistema
c. Se calcula con métodos hidrobiológicos, o con métodos hidrológicos calibrados para garantizar la pervivencia de los ecosistemas.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

41. Los caudales ecológicos se han determinado, con la metodología correspondiente, en los ríos que tienen presiones antrópicas.

a. No
b. Hay algunos tramos piloto en los que se ha medido, pero no con carácter general
c. Existe una cobertura estatal de caudales ecológicos para todos los tramos de río con presión antrópica, que se puede consultar como parte del sistema de información hidrológica

42. Los caudales ecológicos determinados se respetan.

a. No
b. Existe la voluntad de que se respeten, pero no hay un control suficiente para garantizarlo.
c. Existe una red de medición en tiempo real que garantiza el cumplimiento de los caudales ecológicos

4. CAPA 2. MARCO INSTITUCIONAL - SOCIAL

PARTICIPACIÓN SOCIAL

1. **Existe una obligación legal de promocionar la participación pública en las actuaciones en materia de gestión del sistema del agua urbana.**

    a. No.
    b. Existen referencias en la legislación, pero no son obligatorias ni queda muy claro cómo hacerlo.
    c. Existen en la ley indicaciones claras sobre la obligatoriedad de la participación pública y sobre los mecanismos para implementarla.

2. **Las administraciones públicas cuentan con portales web que fomentan la transparencia en su actividad.**

    a. No
    b. Existe el portal web y tiene un apartado dedicado a la participación pública, pero apenas tiene aportaciones y no hay un mecanismo establecido para tenerlas en cuenta.
    c. Existe un portal web con un apartado de participación pública cuyo uso se fomenta de modo activo y cuyas opiniones se procesan y se tienen en cuenta como parte de un procedimiento de participación ciudadana. El modo en que esta información pública se analiza es asimismo transparente.

3. **Todos los planes y proyectos pasan por una fase de información pública.**

    a. No.
    b. Sí, pero en general es un formalismo porque no se fomenta de verdad esa participación, y sólo un muy reducido número de personas u organismos opinan.
    c. Sí. Las administraciones fomentan la participación invitando de modo explícito a cuantas personas y administraciones puedan sentirse concernidas, se organizan foros y sesiones y fruto de todo esto la mayoría de los proyectos y planes reciben opiniones, que se analizan y generan una mejora en los productos finales.

4. **Existe una estrategia de divulgación y educación social que fomente y permita una participación pública consciente y ecuánime.**

    a. No.
    b. Existen algunas campañas de educación ambiental, pero no inciden en toda la sociedad y sólo algunos sectores o colectivos pueden ser verdaderamente activos.
    c. Existe campañas de capacitación o educación ambiental adaptadas a todos los sectores y colectivos, y focalizada para los proyectos y planes relevantes y personal con experiencia en trabajo social que garantizan que toda la población (al menos la directamente afectada) entiende la problemática.

5. **Los planes se realizan según un esquema participativo "bottom-up", de modo que se recogen las demandas de la ciudadanía de un modo más o menos directo.**

    a. No .
    b. Existe una cierta voluntad de recoger las demandas de los "stakeholders" en los planes, pero no hay mecanismos establecidos, ni trabajo social en esa línea. Las demandas sociales llegan de un modo más o menos informal.
    c. Existe un mecanismo claro de participación pública en la elaboración de planes, con un presupuesto asignado a este fin para el trabajo social y procedimientos que garanticen que todos los sectores afectados tendrán su representación y todas las comunidades podrán opinar. Esto incluye una adecuada capacitación para la correcta comprensión del objeto de los planes y de los mecanismos de implementación.

6. **La posición de las instancias administrativas respecto de las quejas sociales frente a un proyecto o plan en curso es en general:**

    a. Reactiva, tendente a quitar importancia a esas demandas y a no dialogar con los representantes sociales que las impulsan.
    b. Neutra, sin desacreditar al colectivo impulsor de las demandas, pero sin una voluntad real de modificar el proyecto.
    c. Colaborativa. Los impulsores del proyecto aceptan que quizá el proceso de socialización no fue adecuado y admiten un diálogo sin reservas con los representantes sociales, tras el cual puede surgir una modificación del proyecto sin que esto suponga una merma en el prestigio de la institución.

7. **En los procesos de participación pública se tiene en cuenta la representatividad de colectivos que requieren una acción positiva, como por ejemplo la igualdad de género.**

    a. No.
    b. Se intenta tener una cierta representatividad social, pero no de un modo formal.
    c. Existen mecanismos claros que garantizan la representación equitativa en materia de género, y de cualesquiera otros colectivos que deban ser considerados (etnias, nacionalidades, etc.).

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

8. **¿Hasta qué punto el conocimiento sobre los riesgos, impactos e incertidumbres relacionados con los desafíos del ciclo urbano del agua están presentes en la opinión pública/comunidad?**

    a. Se desconocen o ignoran los desafíos relacionados con el ciclo urbano del agua. (Esto se demuestra por la ausencia de artículos sobre el tema en los periódicos, sitios web o grupos de acción que abordan el tema).
    b. Solo una pequeña parte de la comunidad reconoce los riesgos relacionados con los desafíos ciclo urbano del agua. Los actores más relevantes tienen una comprensión limitada de dichos desafíos; como resultado, el problema apenas se aborda a nivel de gobierno local.
    c. La comunidad conoce gran parte de las incertidumbres existentes. Los desafíos relacionados con el agua se han planteado a nivel político local contando con la participación de la ciudadanía.
    d. Casi todos los miembros de la comunidad conocen y comprenden los riesgos reales, los impactos y las incertidumbres. Los desafíos del agua se abordan a nivel local y las partes interesadas están familiarizadas y/o participan en la implementación de medidas de adaptación

9. **¿En qué medida la ciudadanía interactúa en el proceso de toma de decisiones?: Es simplemente informada, es consultada o participa activamente.**

    a. No se incluye a la ciudadanía o se desalienta su participación. No se puede encontrar información sobre los procesos de toma de decisiones.
    b. No existe un acceso fácil a la información, las consultas solo se producen a veces y los procedimientos para la participación pública no están claros. Si existe la participación, ésta tiene poca influencia.
    c. Existen procedimientos de información y consulta claros, pero las decisiones se toman en gran medida antes de involucrar a las partes interesadas. La frecuencia y el período de tiempo de la participación son limitados y los interesados tienen baja influencia en el resultado final.
    d. Existe una participación pública activa, pero no está claro cómo se toman las decisiones y quién debería participar en cada etapa del proceso. A menudo hay demasiados interesados involucrados y algunos participantes no tienen el mandato para llegar a acuerdos. Los procesos de participación pública normalmente solapan temas/cuestiones diferentes.
    e. El proceso de toma de decisiones y de participación pública.es claro e involucra a todos los actores de interés. Estos procesos se caracterizan por abordar iniciativas locales centradas específicamente en el agua (acuerdos contractuales, reuniones periódicas, talleres, grupos focales, comités de ciudadanos, encuestas, etc.).

MARCO JURÍDICO

10. Existe una ley de aguas (o un conjunto de leyes coherentes) que trate adecuadamente el ciclo integral del agua urbana.

a. No.
b. Existe una ley de aguas, pero no se incide en el ciclo del agua urbana. Muchos de los aspectos más relevantes no se mencionan en la ley ni se insta al desarrollo de normativa adicional.
c. En la ley de aguas se menciona el ciclo del agua urbana, pero muchas cuestiones vinculadas al DUSA no están ni en la letra ni en el espíritu de la ley.
d. En la ley de aguas se presenta el ciclo del agua urbana y se insta a la gestión basada en principios DUSA, considerando todas las fuentes en función del uso, las interacciones entre las distintas masas de agua y los problemas de gobernanza.

11. Existe reglamentación (reglamentos, guías, directrices) sobre el abastecimiento de agua potable.

a. No.
b. Existe algún reglamento básico, muy antiguo y que apenas tiene en cuenta el estado actual de la técnica.
c. Existen distintas normas que cubren más o menos adecuadamente algunas parcelas concretas del diseño y gestión de un sistema de abastecimiento, pero no un conjunto global y coherente de normas
d. Existe un reglamento o conjunto de normas que contempla adecuadamente el estado de la técnica en los aspectos cualitativo (cantidad) y cualitativo, que incluye parámetros a controlar e indicadores de desempeño y criterios para el diseño de las instalaciones y el proyecto de los sistemas.

12. Existe reglamentación (reglamentos, guías, directrices) sobre el saneamiento y la depuración de aguas.

a. No.
b. Existe algún reglamento básico, muy antiguo y que apenas tiene en cuenta el estado actual de la técnica. Se considera el saneamiento desacoplado del drenaje.
c. Existen distintas normas que cubren más o menos adecuadamente algunas parcelas concretas del diseño y gestión de un sistema de saneamiento, pero no un conjunto global y coherente de normas. No se tienen en cuenta conceptos básicos como el tratamiento de desbordamientos de sistemas unitarios.
d. Existe un reglamento o conjunto de normas que contempla adecuadamente el estado de la técnica en los aspectos cualitativo (cantidad) y cualitativo, que incluye parámetros a controlar e indicadores de desempeño y criterios para el diseño de las instalaciones y el proyecto de los sistemas. Se presenta adecuadamente la vinculación con los sistemas de drenaje, y el funcionamiento de las conducciones, plantas y elementos singulares tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

13. Existe reglamentación (reglamentos, guías, directrices) sobre el drenaje de aguas pluviales.

a. No.
b. Existe algún reglamento básico, muy antiguo y que apenas tiene en cuenta el estado actual de la técnica. Se proponen cálculos basados en el método racional o en la fórmula de Manning. Se considera el drenaje desacoplado del saneamiento.
c. Existen distintas normas que cubren más o menos adecuadamente algunas parcelas concretas del diseño y gestión de un sistema de drenaje, con cálculos hidrológicos e hidráulicos actuales, pero no un conjunto global y coherente de normas. No se tienen en cuenta conceptos básicos como el tratamiento de desbordamientos de sistemas unitarios ni se consideran sistemas de drenaje urbano sostenible.
d. Existe un reglamento o conjunto de normas que contempla adecuadamente el estado de la técnica, incluyendo SUDS, que incluye parámetros a controlar e indicadores de desempeño y criterios para el diseño de las instalaciones y el proyecto de los sistemas. Se presenta adecuadamente la vinculación con los sistemas de saneamiento y se asume la contaminación de las aguas pluviales.

14. Existe reglamentación sobre el registro de concesiones de agua desde los medios naturales (ríos, lagos).

a. No.
b. Existe una norma sobre cómo formalizar concesiones desde un punto de vista administrativo, pero no hay una metodología clara que permita admitirlas/inadmitirlas en función de la presión sobre el medio.
c. Existe una norma y un registro claros, donde se establecen prelaciones de uso, limitaciones ambientales, y metodologías de cálculo que permiten conocer la presión sobre un cauce y determinar la viabilidad de futuras concesiones.

15. Existe reglamentación sobre la determinación y mantenimiento de caudales ambientales.

a. No.
b. Existen algunas referencias, pero no hay una reglamentación clara que indique cómo determinar el régimen de caudales ambientales, o bien propone métodos ya obsoletos.
c. Existe un reglamento de caudales ambientales que incluye tecnologías actuales de cálculo, de aplicación clara y obligatoria y/o estimaciones propuestas por las instituciones con responsabilidad en la preservación del caudal ambiental para todos los cauces, por tramos y para las distintas épocas del año basadas en estas tecnologías.

16. Existe reglamentación sobre determinación del dominio público hidráulico y zonas de protección e inundables.

a. No.
b. Existen algunas referencias, pero no hay una reglamentación clara que indique cómo determinar el dominio público hidráulico y las zonas de protección e inundables, o bien propone métodos ya obsoletos.
c. Existe un reglamento de determinación del dominio público hidráulico y zonas de protección e inundables que incluye tecnologías actuales de cálculo, de aplicación clara y obligatoria.

17. Existe reglamentación sobre control de vertidos a las masas de agua continentales y costeras.

a. No.
b. Existe alguna norma sobre emisión de algunas sustancias que no tiene en cuenta la especificidad del medio al que se vierte, sino sólo la concentración de las sustancias.
c. Existe una normativa que tiene en cuenta tanto la presión (lo que se vierte) como el impacto (el efecto en el medio), con un gran detalle sobre distintas sustancias y sus efectos, y criterios sobre cómo realizar campañas de medición, evaluar o calcular estos efectos.

18. Existen leyes y reglamentación relacionadas con la protección ambiental de las masas de agua y los ecosistemas relacionados.

a. No.
b. Existen leyes generales sobre protección ambiental pero no están desarrolladas en una reglamentación y/o figuras de adecuadas para la protección de las masas de agua y los ecosistemas relacionados.
c. Existe un desarrollo normativo y unas figuras de protección ambiental que tiene en cuenta y/o afectan a las acciones relacionadas con los sistemas del agua urbana.

19. Existen leyes y reglamentación relacionadas con el régimen y la capacidad sancionadora de las administraciones publicas vinculadas a la gestión del agua urbana.

a. No.
b. Existen leyes y reglamentaciones relacionadas con afecciones ambientales pero dichas atribuciones no están vinculadas directamente con las administraciones públicas responsables de la gestión del agua urbana.
c. Las entidades con atribuciones en la gestión del agua urbana tienen capacidad sancionadora.

20. ¿En qué medida la legislación, y su cumplimiento, están bien coordinados, son claros y transparentes y las partes interesadas respetan los acuerdos, los objetivos y la legislación?

a. La legislación y las responsabilidades no son claras, son incompletas o inaccesibles; lo que conduce a un cumplimiento legal deficiente por parte de la mayoría de los actores. Si la legislación está presente, goza de poca legitimidad y los actores operan de forma independiente en pequeños grupos. Las actividades fraudulentas son habituales.
b. La división de responsabilidades de las tareas ejecutivas y de control no es clara. La legislación es incompleta, lo que significa que existen lagunas que pueden ser utilizadas mal. Existe poca confianza en las autoridades locales debido a una aplicación de la ley inconsistente que es señalada habitualmente por la ciudadanía, las ONG, etc.
c. Las regulaciones legales con respecto al desafío del agua están fragmentadas. Sin embargo, existe un estricto cumplimiento de las políticas, las regulaciones y acuerdos. No existe una buena coordinación entre las administraciones responsables.
d. Se están explorando nuevas políticas, acuerdos y legislaciones ambiciosas bajo el enfoque de "aprender haciendo". La mayoría de los actores están dispuestos a cumplir con la legislación, aunque algunos objetivos pueden ser poco realistas y requieren flexibilidad.
e. La legislación es ambiciosa y su cumplimiento es efectivo puesto que hay mucha experiencia en el desarrollo y la implementación de políticas sostenibles. Los objetivos a corto plazo y los objetivos a largo plazo están bien integrados y existe una buena relación entre las autoridades locales y los actores de interés basada en el diálogo.

MARCO AMBIENTAL

21. Las instancias que gestionan el sistema del agua urbana cuentan con personal o equipos de trabajo con cometido exclusivamente ambiental.

a. No, el enfoque ambiental no se tiene en cuenta dentro de las estructuras de trabajo.
b. Existe voluntad de control ambiental, pero no existe personal dedicado en exclusiva.
c. Existe personal dedicado en exclusiva al control ambiental pero no está reconocido dentro de la estructura como un departamento independiente.
d. Existe un departamento con competencias claras y exclusivas relacionadas con el ambiente.

22. Los distintos departamentos e instituciones con atribuciones en la gestión del agua urbana cuentan con procedimientos y compromisos con un enfoque claramente ambiental

a. No.
b. En algunos casos sí, pero son iniciativas puntuales.
c. Sí, cuentan con compromisos y procedimientos, pero son iniciativas a nivel interno, sin coordinación con otros actores.
d. Existe una estrategia ambiental clara con procedimientos de coordinación entre actores y departamentos que facilita el cumplimiento de los compromisos ambientales.

23. Las instancias que gestionan el sistema del agua urbana contemplan objetivos ambientales en sus planes/modelos de gestión.

a. No.
b. Se tienen en cuenta objetivos ambientales, pero de un modo poco específico y/o diluido entre otros objetivos de gestión.
c. Sí, existen objetivos ambientales, pero no se cuenta con un sistema de monitoreo ni con los medios adecuados para ello.
d. Existen metas ambientales claras y se dispone de los mecanismos para su seguimiento sistemático y para la vigilancia de las posibles desviaciones.

24. Las instituciones que gestionan el agua urbana cuentan con planes o políticas explícitas para la mitigación o adaptación al cambio climático.

a. No.
b. Sí, pero el cambio climático se aborda de un modo poco específico, adoptando los posicionamientos de las políticas generales sin llegar a materializarse en acciones concretas.
c. Se toman medidas de manera puntual sin que estas formen parte de una estrategia de lucha contra el cambio climático en el ámbito de la gestión del agua urbana.
d. La lucha contra el cambio climático se aborda de manera sistemática en las políticas y planes de las instituciones relacionados con el agua urbana y estas se materializan en acciones concretas.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

25. En la gestión del agua urbana se tiene en cuenta el estado de las masas de agua y la relación con los ecosistemas vinculados a ellas.

a. No.
b. Sí, se valora el estado de las masas de agua, pero no existe una metodología clara de evaluación y clasificación que establezca las relaciones entre el estado de las masas de agua y los ecosistemas vinculados a ellas.
c. Se dispone, para el ámbito de influencia de las actividades de gestión del de agua urbana, de una clasificación de las "masas de agua" y de los ecosistemas con ellas vinculados, acompañados de un plan de monitoreo.

26. Los impactos ambientales son tenidos en cuenta en los proyectos, obras y en la explotación de las infraestructuras relacionadas con el sistema del agua urbana

a. No.
b. Se realizan evaluaciones de impactos y riesgos ambientales de acuerdo con la legislación, pero la fiscalización de su cumplimiento no es la adecuada.
c. Existen unos procedimientos claros y se dispone de los medios adecuados para el monitoreo de las especificaciones de los estudios de impacto/evaluación ambiental.

27. Desde las instituciones relacionadas con la gestión del agua urbana se promueve una cultura de responsabilidad ambiental.

a. No.
b. Existe cierta voluntad de fomentar la responsabilidad ambiental, pero se materializa en acciones aisladas que no están enmarcadas en una política clara y coordinada con otros departamentos o actores de interés.
c. Existe una política clara de fomento de la responsabilidad ambiental con programas estables y en coordinación con diferentes agentes.
d. Las políticas de responsabilidad ambiental de las instituciones relacionadas con la gestión del agua urbana, cuentan con medidas concretas de apoyo a la ciudadanía y a otras instituciones y las buenas prácticas son incentivadas.

28. Existen programas de formación ambiental para los empleados de las instituciones que gestionan el agua urbana

a. No.
b. En algunos casos sí, pero son iniciativas puntuales.
c. Existe una cierta voluntad de propiciar la formación ambiental, pero no existe una política clara en este sentido, ni se valora a los técnicos su asistencia a los cursos a efectos de su promoción.
d. Existe una política clara de fomentar la capacitación, con programas formales e incentivos para los técnicos.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

29. Desde las instituciones implicadas en la gestión del agua urbana, se financian, promueven o desarrollan proyectos con fines principalmente ambientales.

a. No.
b. Se participa puntualmente en iniciativas con enfoque principalmente ambiental, pero sin liderar ni promover dichas acciones.
c. Las instituciones vinculadas a la gestión del agua urbana dinamizan, lideran y promueven acciones relacionadas con el medio ambiente, destinando de un modo habitual parte de sus recursos (fondos, equipos, personal, etc.) a dichas acciones.

30. Las instituciones implicadas en la gestión del agua urbana enmarcan sus trabajos en programas de índole superior relacionados con el medio ambiente.

a. No.
b. Existe cierta voluntad de coordinarse con iniciativas ambientales de un nivel más macro (programas de cambio climático, planes de GIRH, programas de eficiencia energética, etc.), pero esto no se ve reflejado en documentos y/o acuerdos o medidas concretas.
c. Los planes ya acciones relacionadas con la gestión del agua urbana se diseñan y realizan en coordinación efectiva con otros instrumentos de planificación y gestión ambiental y/o recursos naturales.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

CAPACIDADES O LIMITACIONES TÉCNICAS

31. ¿Se dispone de información geográfica que incluya las redes de servicios?

a. No.
b. Sí, pero a nivel básico.
c. Sí en un SIG, pero requiere revisión de campo.
d. Sí en un SIG revisado exhaustivamente en campo.

32. ¿Existe información sobre los recursos subterráneos?

a. No.
b. Hay un registro de pozos, pero no es muy fiable.
c. Se han hecho algunos ensayos para evaluar el recurso, y hay una cierta idea de las reservas o de la contaminación del agua.
d. Hay un estudio de la hidrogeología que incluye la localización de los acuíferos, la evaluación del recurso, las condiciones que garantizan la recarga, y las amenazas derivadas de la sobreexplotación o la contaminación.

33. ¿Se dispone de una red meteorológica extensa y con un histórico que permita calcular estadísticos relevantes?

a. No.
b. Hay una red básica, con poca historia y sin los datos básicos calculados.
c. Hay una red que requiere mantenimiento, pero con cierta historia, y algunos datos básicos para el proyecto, no muy sistematizados.
d. Hay una red bien mantenida, reconocida por la OMM, y un servicio que mantiene al día los datos necesarios para la estimación de precipitaciones de proyecto, como las curvas IDF. Se dispone de reportes públicos que difunden estos datos.

34. ¿Se dispone de mediciones de caudales en las masas de agua?

a. No.
b. Hay alguna estación hidrométrica básica en los ríos/lagos, pero no son muy fiables. Hay un cierto control del agua de abastecimiento con algún caudalímetros y algunos contadores en clientes, pero no toda el agua se mide. No hay mediciones en la red de saneamiento, salvo algún nivel y el caudal que llega a las plantas.
c. La red hidrométrica es completa, fiable y accesible en tiempo real. El caudal de abastecimiento se mide en tiempo real y se tienen al día los balances. Se mide el nivel y caudal de saneamiento en un número significativo de puntos tanto en las plantas como en la red, en tiempo seco y en tiempo de lluvia.

35. ¿Se dispone de datos sobre la calidad del agua en las distintas masas?

a. No.
b. Hay datos puntuales en el sistema de abastecimiento.
c. Se controla la calidad del abastecimiento. Hay alguna medida puntual en los ríos/lago/costas y en el sistema de saneamiento.
d. Hay un control en tiempo real en todos los sistemas y en las masas de agua receptoras, que permite tomar decisiones sobre la gestión de los sistemas.

36. Se cuenta con modelos operativos de las redes de servicios.

a. No.
b. Hay alguna zona en la que se ha realizado algún piloto de modelización del abastecimiento (por ejemplo, con EPANET) o del saneamiento y drenaje (por ejemplo, con SWMM).
c. La mayoría del entramado urbano está incluido en un modelo de red, tanto de abastecimiento como de saneamiento, pero no están calibrados y apenas se usan para la gestión.
d. Se dispone de modelos para todos los sistemas, que interactúan con el SIG, que han sido calibrados mediante contraste en campo, y que se utilizan como una herramienta de gestión.

37. ¿El sector de la consultoría/ingeniería que usualmente da servicio técnico a las instituciones que gestionan el sistema del agua urbana tiene la adecuada solvencia técnica?

a. No.
b. En lo que respecta a trabajos básicos o rutinarios sí, pero no en aspectos innovadores o de alta cualificación técnica. (
c. El sector está perfectamente al día y es capaz de satisfacer cualquier demanda técnica.

38. ¿El sector de la universidad/centros de conocimiento en la zona/en el país en el ámbito del sistema del agua urbana tiene la adecuada solvencia técnica?

a. No.
b. En lo que respecta al conocimiento básico sí, pero no son centros que participen de los últimos avances tecnológicos.
c. El sector está perfectamente al día y es capaz de satisfacer cualquier demanda técnica.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

39. Las entidades implicadas en la gestión del agua urbana financian, promueven y/o desarrollan proyectos de I+D.

a. No.
b. Se participa puntualmente en iniciativas de I+D, pero sin liderar ni promover dichas acciones, y las mismas no forman parte de una estrategia clara.
c. Las instituciones vinculadas a la gestión del agua financian, promueven y/o desarrollan acciones relacionadas con la I+D, destinando habitualmente parte de sus recursos (fondos, equipos, personal, etc.) a dichas acciones en el marco de una estrategia clara.

40. ¿Existe un plan de monitoreo y un protocolo de coordinación entre actores que facilite la toma de decisiones en caso de sequía?

a. No.
b. Existe un sistema básico de monitoreo de la situación de sequía y también un protocolo básico de coordinación entre actores que incluye a las entidades vinculadas al ciclo del agua urbana.
c. Existe un Plan de Sequía con un sistema de monitoreo que permite definir los diferentes estados de sequía con base en índices e indicadores robustos. La coordinación entre actores y los diferentes protocolos de actuación están claramente definidos en el plan.

41. ¿Se dispone de información sistematizada sobre los vertidos a las masas de aguas continentales y costeras?

a. No.
b. Hay información básica sobre los vertidos más relevantes, pero esta no se levanta ni procesa de un modo sistemático.
c. Existe un plan de control, inventariado y seguimiento de vertidos. Los procesos de subsanación y/o sanción derivados de ellos, así como la coordinación entre actores, se realizan sistemáticamente.

FACTIBILIDAD ECONÓMICA

42. ¿Se dispone de recursos financieros para financiar las inversiones y medidas relacionadas con el sistema de abastecimiento de agua potable?

a. No.
b. Los presupuestos (locales/regionales/estatales) recogen capítulos destinados al abastecimiento, pero este no es una prioridad.
c. Los presupuestos (locales/regionales/estatales) contemplan la inversión en el sistema de abastecimiento como algo prioritario, y habitualmente se consigue movilizar fondos externos para apoyarla, sin embargo, no se cuenta con una planificación adecuada que enmarque dichas inversiones.
d. Se cuenta con una planificación para las inversiones relacionadas con el abastecimiento de agua potable con: objetivos generales y específicos, presupuesto, fuentes de financiación, calendario de ejecución y programa de seguimiento.
e. Los planes que recogen la inversión para el abastecimiento de agua potable son adecuados y además hacen referencia y/o contemplan la necesidad de desarrollar medidas (“duras” y/o “blandas”) para integrar el abastecimiento dentro de una visión integral del ciclo urbano del agua.

43. ¿Se dispone de recursos financieros para financiar las inversiones y medidas relacionadas con el sistema de saneamiento y depuración del agua potable?

a. No.
b. Los presupuestos (locales/regionales/estatales) recogen capítulos destinados a saneamiento y depuración, pero este no es una prioridad.
c. Los presupuestos (locales/regionales/estatales) contemplan la inversión en el sistema de saneamiento y depuración como algo prioritario, y habitualmente se consigue movilizar fondos externos para apoyarla, sin embargo, no se cuenta con una planificación adecuada que enmarque dichas inversiones.
d. Se cuenta con una planificación para las inversiones relacionadas con el saneamiento y depuración con: objetivos generales y específicos, presupuesto, fuentes de financiación, calendario de ejecución y programa de seguimiento.
e. Los planes que recogen la inversión para el saneamiento y depuración de aguas son adecuados y además hacen referencia y/o contemplan la necesidad de desarrollar medidas (“duras” y/o “blandas”) para integrar el saneamiento y depuración de aguas dentro de una visión integral del ciclo urbano del agua.

44. ¿Se dispone de recursos financieros para financiar las inversiones y medidas relacionadas con el drenaje de aguas pluviales?

a. No
b. Los presupuestos (locales/regionales/estatales) recogen capítulos destinados al drenaje de aguas pluviales, pero este no es una prioridad.
c. Los presupuestos (locales/regionales/estatales) contemplan la inversión en el sistema de drenaje de aguas pluviales algo prioritario, y habitualmente se consigue movilizar fondos externos para apoyarla, sin embargo, no se cuenta con una planificación adecuada que enmarque dichas inversiones.
d. Se cuenta con una planificación para las inversiones relacionadas con el drenaje de aguas pluviales con: objetivos generales y específicos, presupuesto, fuentes de financiación, calendario de ejecución y programa de seguimiento.
e. Los planes que recogen la inversión para el drenaje de aguas pluviales son adecuados y además hacen referencia y/o contemplan la necesidad de financiar medidas ("duras" y/o "blandas") para integrar el drenaje de aguas pluviales dentro de una visión integral del ciclo urbano del agua

45. ¿Se realizan análisis de los costes de las diferentes acciones vinculadas al sistema de abastecimiento de agua potable?

a. No existen datos.
b. Existen datos de los costes de operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento, pero estos datos no son empleados para realizar análisis consistentes y materializarles en medidas concretas
c. Existe un sistema de monitoreo y análisis de costes de operación y mantenimiento orientado a la optimización de los mismos mediante medidas concretas.
d. Existe un plan de análisis y optimización de costes que, además de las la operación y el mantenimiento, incluye acciones y/o medidas blandas complementarias.

46. ¿Se realizan análisis de los costes de las diferentes acciones vinculadas al sistema de saneamiento y depuración de aguas?

a. No existen datos.
b. Existen datos de los costes de operación y mantenimiento del sistema de saneamiento y depuración, pero estos datos no son empleados para realizar análisis consistentes y materializables en medidas concretas.
c. Existe un sistema de monitoreo y análisis de costes de operación y mantenimiento orientado a la optimización de los mismos mediante medidas concretas.
d. Existe un plan de análisis y optimización de costes que, además de la operación y el mantenimiento, incluye acciones y/o medidas blandas complementarias.

47. ¿Se realizan análisis de los costes de las diferentes acciones vinculadas al drenaje de aguas pluviales?

a. No existen datos.
b. Existen datos de los costes de operación y mantenimiento del sistema de drenaje de aguas pluviales, pero estos datos no son empleados para realizar análisis consistentes y materializables en medidas concretas.
c. Existe un sistema de monitoreo y análisis de costes de operación y mantenimiento orientado a la optimización de los mismos mediante medidas concretas.
d. Existe un plan de análisis y optimización de costes que, además de la operación y el mantenimiento, incluye acciones y/o medidas blandas complementarias.

48. ¿Las tarifas relacionadas con los servicios de abastecimiento de agua potable están calculadas y aprobadas de un modo adecuado?

a. No existe una estructura tarifaria aprobada.
b. Existen unas tarifas aprobadas, pero se desconoce el método para el cálculo de las mismas, o no están calculadas para cubrir los “costes totales de largo plazo” de la prestación de los servicios para un período no inferior a 15 años.
c. Si existe unas tarifas aprobadas y calculadas para los "costes totales de largo plazo" de la prestación de los servicios para un período no inferior a 15 años.

49. ¿Las tarifas relacionadas con los servicios de saneamiento y depuración están calculadas y aprobadas de un modo adecuado?

a. No existe una estructura tarifaria aprobada.
b. Existen unas tarifas aprobadas, pero se desconoce el método para el cálculo de las mismas, o no están calculadas para cubrir los “costes totales de largo plazo” de la prestación de los servicios para un período no inferior a 15 años.
c. Si existe unas tarifas aprobadas y calculadas para los "costes totales de largo plazo" de la prestación de los servicios para un período no inferior a 15 años.

ROBUSTED ADMINISTRATIVA

50. Las atribuciones en materia de agua están claras y las instancias encargadas las asumen.

a. No.
b. Hay una asignación de atribuciones sobre el papel, pero en la práctica hay muchas atribuciones que no se asumen y algunas atribuciones que se asumen desde distintas instancias
c. Hay una asignación de atribuciones por Ley, pero hay algunas lagunas y algunas superposiciones, que a veces generan conflictos
d. Todas las atribuciones están claras, se asumen, y nunca hay conflictos de competencias.

51. Los distintos departamentos o instituciones con atribuciones en el ciclo integral del agua urbana trabajan de modo coordinado.

a. No.
b. Existen comisiones interinstitucionales, pero no son operativas a nivel técnico.
c. Existen planes que se gestionan de un modo coordinado, pero es algo que se puede mejorar. Hay múltiples conflictos de intereses entre distintas instancias.
d. Existe una total coordinación entre todos los departamentos, que tienen información puntual de las actividades del resto y los conflictos interinstitucionales debido a intereses contrapuestos se debaten para llegar a un consenso.

52. Las políticas en materia de gestión del sistema del agua urbana se mantienen estables con independencia de variaciones en los gobernantes.

a. No. Se producen paralizaciones y cambios drásticos.
b. Los cambios políticos pueden generar la paralización o variación de algunas acciones, pero no de modo drástico.
c. Existe una conciencia de Estado que lleva a que las políticas en materia de agua sean poco o nada sensibles a las variaciones en las distintas instancias políticas.

53. Existe una coordinación con instancias internacionales para que las instancias encargadas de la gestión del agua urbana puedan beneficiarse del conocimiento y experiencias más actuales y obligarse a aplicarlas.

a. No.
b. Existen colaboraciones puntuales en ámbitos concretos, pero no una política coordinada de colaboración, y en ningún caso hay relaciones vinculantes.
c. Existe una cierta coordinación internacional y algunos acuerdos para actuaciones vinculantes conjuntas, pero no existe un marco global de colaboración
d. Existe un marco global de colaboración conjunta con obligaciones y desarrollo de productos y normativa que garantiza que las instancias que gestionan el agua lo hacen según el estado actual de la técnica.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

54. La cualificación académica del personal técnico incluye una proporción alta de másteres o doctores.

a. No.
b. Hay algún técnico con nivel de máster o doctorado, pero no es lo normal ni algo que se promocione.
c. No hay una política que induzca a ello, pero si existe una proporción alta de técnicos con nivel de máster/doctorado.
d. Existe una política activa para propiciar el incremento de la cualificación académica de los técnicos, favoreciendo el acceso a másteres/doctorados, y la plantilla técnica incorpora una muy alta proporción de técnicos con este nivel.

55. Existe en las instancias que gestionan el sistema del agua urbana una política de formación/capacitación continua

a. No.
b. En algunos casos sí, pero son iniciativas puntuales.
c. Existe una cierta voluntad de propiciar la formación continua, pero no existe una política clara en este sentido, ni se valora a los técnicos su asistencia a los cursos a efectos de su promoción.
d. Existe una política clara de fomentar la capacitación, con programas formales e incentivos para los técnicos.

56. Las plantillas de técnicos de las instancias que gestionan el agua urbana son suficientes, competentes y diversas.

a. No.
b. Algunos aspectos técnicos están bien cubiertos, pero hacen falta técnicos en algunas facetas importantes, lo que lastra la capacidad técnica de las instituciones.
c. Existe una plantilla con técnicos capaces de cubrir todos los aspectos relevantes de la actividad vinculada con el sistema del agua urbana en sus componentes ingenieril, económica, ambiental, legal y cualesquiera otras que se requieran.

57. Existen vínculos entre las instituciones que gestionan el agua urbana y los centros de conocimiento científico/técnico que permitan utilizar el potencial tecnológico de estos centros.

a. No.
b. Existe alguna colaboración esporádica, pero no es algo que se propicie.
c. En el desarrollo de algunos planes se intenta contar con el apoyo de consultores externos de universidades o centros tecnológicos, aunque no hay programas de colaboración reglados
d. Existe una política clara de colaboración con programas de fomento de la innovación en la que participan tanto las instancias gestoras como los centros de conocimiento que se mantienen en el tiempo, y con la participación de técnicos externos de alto nivel en todas las acciones clave.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

58. ¿Las instituciones que gestionan el sistema del agua urbana cuentan con un plan estratégico?

a. No.
b. En algunos casos sí, pero el plan estratégico no es muy detallado, no se emplea de un modo práctico y no ha sido realizado de un modo participativo en coordinación con otros actores de interés.
c. Generalmente, las entidades cuentan con un plan estratégico detallado que ha sido elaborado de un modo participativo con otros actores de interés y cuya implementación es monitoreada y evaluada.

59. ¿Las instituciones que gestionan el ciclo del agua urbana cuentan con una estructura organizacional adaptada a sus atribuciones?

a. No.
b. En algunos casos sí, pero el organigrama no es del todo coherente con las competencias y objetivos, y presenta algunas carencias en su diseño o figura formal que son cubiertas de un modo irregular.
c. Existe una estructura organizacional que responde a las necesidades de la entidad, y que además está aprobada y documentada en un manual que contiene las funciones de las distintas unidades, las competencias generales para grupos de cargos y las funciones, responsabilidades, atribuciones y perfiles de competencias de cada cargo.

60. ¿En qué medida se realiza el monitoreo de los procesos, los progresos y la implementación de medidas técnicas y políticas relacionadas con el ciclo urbano del agua?

a. No hay un sistema de monitoreo
b. El monitoreo ocurre, sin embargo, es irregular, con datos poco fiables y de cobertura limitada. No permite identificar situaciones alarmantes en la implementación de medidas técnicas y políticas.
c. El sistema de monitoreo cubre los aspectos más relevantes y las situaciones alarmantes se identifican e informan. Esto conduce a la mejora de las prácticas actuales con respecto a las medidas técnicas, el análisis de los aspectos o efectos sociales y ecológicos es secundario.
d. El monitoreo proporciona una base suficiente para reconocer tendencias, procesos y relaciones subyacentes. Permite predecir desarrollos futuros y modificar marcos regulatorios, introducir nuevos actores, y utilizar nuevos enfoques.

61. ¿En qué medida se evalúan y mejoran de un modo continuado las medidas técnicas y políticas relacionadas con el ciclo urbano del agua?

a. No hay evaluación de las medidas técnicas o políticas relacionadas con el ciclo urbano del agua.
b. Las evaluaciones son limitadas en cuanto a la frecuencia y calidad. Las evaluaciones no son sistemáticas y suelen emplear criterios inconsistentes que apenas permiten pequeños cambios de rutinas, basadas, principalmente, en criterios técnicos convencionales y a corto plazo.
c. Hay una evaluación continua que permite mejoras sostenidas de las medidas técnicas y políticas, y también de la implementación de las mismas. Se emplean criterios de evaluación innovadores que permiten revisar supuestos y/o indicar explícitamente el carácter innovador del enfoque.
d. Los procedimientos de evaluación son frecuentes, de alta calidad y reconocen completamente los procesos a largo plazo. Los supuestos se prueban continuamente mediante investigación y monitoreo, y las incertidumbres se comunican explícitamente. La evaluación cuestiona la actual perspectiva dominante sobre la gobernanza del agua y sus principios rectores.

5. CAPA 3. SISTEMAS URBANOS

SALUD PÚBLICA

1. ¿Se controla la calidad del agua empleada para consumo humano?

a) No.
b) Se controla la calidad del sistema de abastecimiento municipal, pero esté control no es sistemático y no permite tener datos fiables.
c) Sí, existe un control sistemático y fiable de la calidad del agua del sistema de abastecimiento municipal, pero existen otros modos de abastecimiento (sistemas privados, manantiales, fuentes, etc.) que no están controlados.
d) Se controla de un modo fiable y efectivo la calidad del agua de todas las fuentes y/o sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano.

2. La calidad del agua empleada para usos que no son de consumo humano: riego, baldeo de calles, etc. ¿es la adecuada?

a) El origen del agua cuyo destino no es el consumo humano suele ser desconocido.
b) El origen suele ser conocido y fiable (habitualmente las mismas fuentes o captaciones que el agua para consumo humano), pero su calidad no se controla.
c) El origen es conocido y fiable (habitualmente las mismas fuentes o captaciones que el agua para consumo humano) y su calidad está controlada.

3. ¿En qué medida las masas de agua naturales y/o artificiales de la ciudad acostumbran a ser un foco de transmisión de enfermedades o patógenos?

a) Habitualmente las masas de agua naturales y/o artificiales de la ciudad están contaminadas y son focos de infección y propagación de enfermedades.
b) Normalmente las masas de agua están en buen estado, pero cuando ocurre algún evento extraordinario (inundaciones, lluvias torrenciales, sequías, etc.) su calidad desciende considerablemente y se suelen producir estancamientos, arrastres de basura, descensos de caudales etc. que hacen que las masas de agua puedan ser un foco de transmisión de enfermedades.
c) Solamente en casos muy extraordinarios (eventos extremo históricos, vertidos contaminantes puntuales, etc.) las masas de agua pueden representar un problema para la salud.

4. **Las administraciones responsables de la gestión del agua urbana y las de salud pública están coordinadas.**

    a) No.
    b) Sí, pero no de una forma habitual y sin unos protocolos de colaboración claros para los procesos de monitoreo y toma de decisiones que vinculan la salud y el agua. Generalmente, está coordinación se produce en situaciones excepcionales o de emergencia.
    c) Existe un marco de colaboración claro entre las administraciones responsables del agua y la salud. La coordinación se realiza a diferentes niveles: político, estratégico y técnico.

5. **Desde las entidades relacionadas con el agua y la salud a nivel urbano, ¿se promueven o realizan estudios, informes o programas de control que estudian los vínculos entre el sistema del agua y la salud de la población?**

    a) No.
    b) Existen iniciativas puntuales de escaso alcance y que no suelen ser tenidas en cuenta por los tomadores de decisiones.
    c) Existen estudios que han permitido monitorear el vínculo salud-agua y que han derivado en acciones concretas; sin embargo, no han tenido un impacto estratégico.
    d) Existe una clara voluntad para el estudio de las relaciones entre el agua y la salud. Se elaboran de un modo habitual estudios e informes que retroalimentan las políticas y estrategias de coordinación entre ambos sectores.

6. **Desde las respectivas entidades con atribuciones a nivel urbano, ¿se promueven o realizan campañas de educación o sensibilización que aborden la problemática agua-salud?**

    a) No.
    b) Existen algunas campañas que trabajan la relación agua-salud, pero no inciden en toda la sociedad y sólo algunos sectores o colectivos se benefician de ellas.
    c) Existe campañas adaptadas a todos los sectores y colectivos, y focalizada en las acciones o situaciones más relevantes que garantizan que toda la población entienda la problemática agua-salud.

ENERGÍA

7. ¿Se dispone de datos sobre el consumo energético del ciclo urbano del agua?

a) No.
b) Existen datos, pero estos no reflejan el consumo total del sistema y no suelen ser fácilmente accesibles.
c) Existen datos accesibles sobre el consumo energético de los diferentes componentes del sistema del agua urbana, pero no se suelen emplear para hacer análisis que influyan en la toma de decisiones.
d) Existen datos y un monitoreo más o menos sistematizado del consumo de energía del sistema urbano del agua. Estos datos son empleados habitualmente en análisis e informes que influyen en las políticas y estrategias relacionadas con la materia.

8. ¿En qué medida el diseño y la operación del sistema urbano del agua incorpora criterios de eficiencia y ahorro energético?

a) No.
b) Existe voluntad para incorporar el ahorro y la eficiencia energética en el diseño y operación de infraestructuras, pero no es una prioridad para las entidades responsables del sistema urbano del agua.
c) Sí, la eficiencia y el ahorro energético son una prioridad para las entidades responsables de la gestión del agua urbana y esto se materializa en el diseño y operación de las infraestructuras, y también en las acciones de planificación, evaluación, sensibilización etc.

9. ¿En qué medida está garantizado el suministro de energía para el sistema urbano del agua?

a) El sistema urbano del agua depende totalmente, o en gran parte, de fuentes de energía externas y no renovables, y suele verse afectado por cortes de energía.
b) El sistema urbano del agua depende, en gran parte, de fuentes de energía renovables externas.
c) El sistema urbano del agua depende, en gran parte, de fuentes de energía renovables y además cuenta con sistemas de autogeneración derivados de sus propios procesos.

10. Los sistemas de producción de energía vinculados al entorno urbano, ¿demandan grandes cantidades de agua?

a) La energía empleada y/o producida en el entorno urbano demanda grandes cantidades de agua: energía hidroeléctrica, refrigeración termoeléctrica de circuito abierto, extracción y refinamiento de combustibles, producción de biocombustibles en regadío. La producción de energía suele o puede verse afectada por la escasez de agua.
b) Existe una diversidad en la producción de energía que combina fuentes y tecnologías con diferentes niveles de consumo/utilización de agua que tienden a moderar su demanda.
c) Las fuentes y las tecnologías empleadas vinculadas al entorno urbano demandan, en su mayoría, poca agua: energía eólica, fotovoltaica, etc.

11. Desde las entidades con competencias en agua y energía a nivel urbano, ¿se promueven o realizan estudios, informes o programas de control relacionados con el nexo agua-energía?

a) No.
b) Existen iniciativas puntuales de escaso alcance y que no suelen ser tenidas en cuenta por los tomadores de decisiones.
c) Existen trabajos relevantes que han permitido estudiar los vínculos entre agua y la energía y que han derivado en acciones concretas; sin embargo, no han tenido impacto estratégico.
d) Existe una clara voluntad para el estudio del nexo agua-energía. Se elaboran de un modo habitual estudios e informes que retroalimentan las políticas y estrategias de coordinación entre ambos sectores a nivel local, regional y/o estatal.

12. La reglamentación existente (reglamentos, guías, directrices) sobre agua y energía, tiene en cuenta las relaciones o vínculos entre ambos sectores.

a) No.
b) Sí, pero de un modo poco claro que no permite solucionar los potenciales conflictos de interés entre las presiones a las masas de agua y la producción de energía. No hay experiencia en la resolución de conflictos de este tipo.
c) El nexo agua-energía está claramente recogido en la reglamentación existente (reglamentos, guías, directrices) y hay una trayectoria consolidada en la resolución de conflictos de interés.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

RESIDUOS SÓLIDOS Y REUTILIZACIÓN

13. Los servicios municipales de limpieza y recogida de residuos sólidos, ¿funcionan correctamente?

a) No. Los servicios municipales no son suficientes para mantener la ciudad limpia. Es habitual que las calles y espacios públicos acumulen suciedad y basura susceptible de ser incorporada a los conductos de saneamiento y/o drenaje de la ciudad.
b) Los esfuerzos de los servicios de limpieza se concentran determinadas zonas de la ciudad. Sin embargo, en los barrios periféricos los servicios no son adecuados y se acumula basura y suciedad susceptible de ser incorporada a los conductos de saneamiento y/o drenaje.
c) En general la ciudad está limpia y no hay acumulación de residuos ni de suciedad.

14. Hasta qué punto el sistema de gestión de residuos sólidos urbanos contempla la recogida selectiva de residuos y su posterior tratamiento.

a) No existe la recogida selectiva de residuos. Los elementos potencialmente perjudiciales para el sistema urbano del agua (aceites, baterías, etc.) no se tienen en cuenta.
b) Existe una recogida selectiva de residuos, pero no tiene el alcance suficiente y/o no se dispone de capacidad para gestionarlos, por lo que parte de ellos terminan siendo incluidos con el conjunto de los residuos.
c) Se realiza una gestión selectiva y adecuada de los residuos sólidos urbanos que incluye aquellos que pueden ser potencialmente perjudiciales para el sistema urbano del agua.

15. ¿Existen vertederos incontrolados en el territorio urbano?

a) Sí, existen vertederos ilegales cerca de las masas de agua y además estás se suelen emplear para el depósito de la basura doméstica de un modo habitual.
b) Sí, existen vertederos ilegales, pero estos están relativamente identificados y normalmente no están cerca de las masas de agua.
c) No.

16. ¿En qué medida los vertederos oficiales están controlados en relación a sus potenciales afecciones al sistema urbano del agua?

a) No hay un control de los vertederos oficiales que permita valorar sus posibles efectos sobre el sistema urbano del agua.
b) Existe un control del estado de los vertederos oficiales por parte de las administraciones responsables; pero la coordinación entre estas y las del agua no es la adecuada para abordar la problemática de los lixiviados y sus posibles afecciones al sistema urbano del agua.
c) Las autoridades con competencias en la gestión de los residuos y del agua están coordinadas y desarrollan acciones conjuntas para abordar la eventual problemática de los lixiviados en los vertederos.

17. ¿Las entidades responsables de la gestión del agua urbana realizan campañas para promover un uso adecuado de los sistemas de saneamiento en relación al depósito de residuos sólidos en los WC?

a) Esta problemática no es tenida en cuenta por las entidades responsables.
b) Se ha identificado el problema, pero todavía no se han tomado las medidas oportunas de sensibilización.
c) Existen campañas puntuales, pero todavía no se ha podido comprobar su eficacia. (0.6)
d) Se realizan campañas y se monitorea el efecto de las mismas con los datos de operación y mantenimiento de las infraestructuras de saneamiento.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

PARQUES Y JARDINES

18. ¿Las zonas verdes del ámbito urbano ofrecen servicios ambientales relacionados con el sistema urbano del agua?

a) No. En el municipio apenas existen zonas verdes o las que hay están muy deterioradas.
b) Existen zonas verdes relativamente bien conservadas o diseñadas, pero su número es escaso y el impacto de los servicios ambientales de las mismas (incluyendo los relacionados con el agua) es cuantitativamente bajo en el conjunto del entorno urbano.
c) Existen zonas verdes que proveen a la ciudad de un amplio abanico de servicios ecosistémicos o ambientales (regulación, soporte, abastecimiento y cultural); los cuales afectan clara y positivamente al sistema urbano del agua, incidiendo, por ejemplo, en el buen estado de las masas de agua, la biodiversidad, el drenaje, la conectividad de cursos de agua, etc.

19. ¿El diseño de las zonas verdes de la ciudad incorpora medidas relacionadas con el buen estado de las masas de agua naturales?

a) No. En general no se promueve la conservación del estado natural de las masas de agua de la ciudad.
b) Existe cierta voluntad para integrar el buen estado de las masas de agua en el diseño, ejecución y mantenimiento de los parques y jardines de la ciudad. Sin embargo, no es una prioridad y las acciones que se llevan a cabo no forman parte de una estrategia o visión global del agua en la ciudad.
c) Sí, los diferentes proyectos, acciones y medidas relacionadas con las zonas verdes de la ciudad tienen en cuenta, de un modo estratégico y planificado, el buen estado y la continuidad de las masas de agua naturales y de los ecosistemas relacionados.

20. ¿El diseño de las zonas verdes de la ciudad incorpora Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible?

a) No.
b) Existe cierta voluntad de incluir TDUS en las zonas verdes de la ciudad, pero no hay una estrategia clara al respecto. Las entidades responsables de la gestión del agua manejan los conceptos TDUS, pero estos no trascienden lo suficiente y no suelen ser tenidos en cuenta en el diseño de parques y jardines.
c) Existe una estrategia clara para implementar TDUS en el diseño de las zonas verdes de la ciudad. Las entidades responsables del sistema urbano del agua, así como las responsables del diseño de parques y jardines, manejan con soltura los conceptos y las TDUS, que suelen estar incorporadas de forma habitual en los proyectos.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

21. ¿En qué medida las los planes de gestión y las acciones de las entidades responsables de los espacios verdes y del sistema urbano del agua están coordinadas?

a) No existe coordinación entre ambas áreas.
b) Existe relación, pero solamente a nivel operativo (demandas de agua para riego, conservación masas de agua, etc.). No hay planes, acciones o medidas conjuntas y coordinadas.
c) Las entidades responsables de los espacios verdes y del sistema urbano del agua trabajan coordinadamente y existe el flujo de información y conocimientos necesario para incorporar los enfoques de cada una de las áreas en sus respectivos planes o acciones.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

TRANSPORTE

22. ¿En qué medida las entidades responsables de las infraestructuras de transporte urbano y las del sistema de urbano del agua coordinan sus planes y acciones?

a) No existe coordinación alguna.
b) Existe cierta coordinación, pero esta sólo se produce cuando es indispensable (por ejemplo, en el diseño o ejecución de infraestructuras que afecten directamente a una u otra área). Los documentos estratégicos y los planes de acción de ambas áreas no suelen tener en cuenta los enfoques y/o necesidades de la otra parte.
c) Las entidades responsables del agua y del transporte trabajan coordinadamente y existe el flujo de información y conocimientos necesario para incorporar los enfoques de cada una de las áreas en sus respectivos planes y acciones.

23. ¿En qué medida las vías de transporte urbano pueden verse afectadas por eventos extremos como inundaciones o lluvias torrenciales?

a) Es muy frecuente que haya vías afectadas cuando la precipitación es elevada. Los efectos en el transporte urbano suelen ser muy negativos y los daños costosos; la problemática y sus eventuales soluciones no están identificadas.
b) Es habitual que el transporte urbano se ve afectado cuando hay inundaciones o lluvias torrenciales. El impacto, en términos retraso en los desplazamientos, es moderado o alto. Existe voluntad para abordar los problemas, pero no se cuenta con los medios necesarios.
c) El transporte se ve afectado solamente cuando se producen eventos extremos históricos. Las entidades locales cuentan con estudios e informes para abordar la problemática, pero las inversiones para ello son demasiado elevadas y no se contemplan en el corto plazo.
d) El transporte no se ve afectado por inundaciones o lluvias torrenciales. Las infraestructuras de transporte se han diseñado o cuentan con las medidas necesarias para evitar dicho problema.

24. ¿El sistema urbano del agua tiene en cuenta los efectos de la carga contaminante del agua de lavado de las vías de transporte?

a) No, no es tenido en cuenta y el concepto no se maneja.
b) Las entidades responsables son conscientes de la problemática. Pero no disponen de los medios, estudios o datos necesarios para tomar las medidas adecuadas.
c) La carga contaminante procedente del lavado de las vías de transporte se tiene en cuenta en el diseño, operación y mantenimiento de las infraestructuras del sistema urbano del agua.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

25. ¿El diseño de las infraestructuras de transporte incorpora Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible?

a) No, el concepto TDUS no se tiene en cuenta.
b) Existe voluntad para incorporar las TDUS al diseño de las vías de transporte, y cada vez hay una mayor sensibilidad en la administración, pero por el momento no se están incorporando TDUS en los proyectos.
c) Las TDUS han sido incorporadas en el diseño de algunas infraestructuras de transporte, y la tendencia va en aumento.
d) Como norma general, las TDUS forman parte de los criterios de diseño de las infraestructuras de transporte. El impacto de las de las mismas está siendo monitoreado de un modo sistemático.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

PLANIFICACIÓN Y DISEÑO URBANO

26. ¿La ciudad cuenta con un instrumento de planificación urbanística?

a) La realización de un plan urbanístico no está en la agenda política.
b) No se cuenta con plan urbanístico. Su elaboración esté en la agenda política pero no es una prioridad para las autoridades competentes.
c) La ciudad cuenta con un plan urbanístico aprobado, pero por diferentes motivos no está siendo una herramienta de excesiva utilidad en la planificación y el desarrollo urbano.
d) El plan urbanístico es una herramienta de referencia para el desarrollo de la ciudad y de su sistema de agua. Dicho plan ha sido realizado teniendo en cuenta otras herramientas de planificación ambiental y/o de gestión de recursos hídricos (planes de cuenca).

27. ¿En qué medida el proceso histórico de urbanización ha estado controlado o planificado?

a) No ha habido control o planificación. Esto ha derivado en una ciudad caótica y dispersa con problemas funcionales que derivan en el encarecimiento y la calidad de los servicios básicos y en graves carencias relacionadas con infraestructuras (incluidas las del sistema urbano del agua). Además, existen serios problemas relacionados con la impermeabilización y sellado del suelo, impactos ambientales severos, etc.
b) Pese a no haber existido un proceso excesivamente controlado o planificado, el desarrollo urbano ha sido moderadamente satisfactorio y la ciudad no cuenta con graves problemas estructurales. En relación al sistema urbano del agua las principales dificultades residen en la antigüedad de las infraestructuras, el desconocimiento de las redes y del estado de las mismas, y la baja capacidad para hacer frente a eventos extremos.
c) El proceso de desarrollo urbano ha estado planificado y controlado en mayor o menor medida, lo que ha permitido un diseño adecuado de las infraestructuras relacionadas con los servicios básicos. El sistema del agua ha ido evolucionando de un modo ordenado y adaptado a las necesidades de la ciudad.

28. ¿En qué medida la planificación y el diseño urbano tienen en cuenta el enfoque de Infraestructura Verde?

a) No se tiene en cuenta.
b) Existen iniciativas puntuales que tratan de integrar el enfoque de Infraestructura Verde en la planificación y el desarrollo urbanístico. Hay avances hacia la planificación integrada de los espacios verdes de la ciudad.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

c) La planificación urbanística contempla una red estratégicamente planificada de espacios naturales, seminaturales y otros elementos ambientales diseñados y gestionados para ofrecer una amplia gama de servicios ecosistémicos. Existe un plan estratégico municipal de Infraestructuras Verde.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

29. ¿La planificación y el diseño urbano incorporan criterios de Desarrollo Urbano Sensible al Agua?

a) No.
b) Existen iniciativas que integran y/o analizan las interacciones entre los componentes del sistema urbano del agua y también los de este con otros sistemas. Sin embargo, son iniciativas puntuales y aisladas que no forman parte de una estrategia integral de análisis y toma de decisiones.
c) El diseño urbano incorpora criterios de DUSA que parten de un diagnóstico y análisis conjunto y sistematizado de las interacciones entre las diferentes componentes del sistema urbano del agua y de sus relaciones con el ecosistema institucional y los diferentes sistemas urbanos vinculados al agua.

30. ¿En qué medida las administraciones con competencias en planificación urbana coordinan sus acciones con las responsables en la gestión del agua?

a) No existe coordinación.
b) Existe cierta coordinación, pero son iniciativas puntuales y no están regladas.
c) Las administraciones y/o departamentos responsables de la planificación y del sistema del agua urbana, trabajan coordinadamente con unos objetivos comunes y unos protocolos de colaboración claros. Los planes urbanísticos necesitan el informe preceptivo de las autoridades con competencias en la gestión del agua.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

6. BIBLIOGRAFÍA

Puertas, J., Suárez, J., Anta, J., Jácome, A., Penas, V., Álvarez-Campana, J. M., & Sañudo, E. (2018). *Diseño Urbano Sensible al Agua* . La Paz: BID, UE, AECID, MMAYA, Universidad de La Coruña, Aguas de Galicia, Grupo de Ingeniería del agua y Ambiente.

Suárez Lopez, J., Puertas Agudo, J., & Anta Alvarez, J. (2012). *El Desarrollo Urbano Sensible al Agua. Un marco connceptual y estratégico para la gestión sostenible del Sistema de Agua Urbana.* Coruña: Catedra Emalcsa UDC.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ANEXO III
REGLAMENTO DE IMPACTO HIDRAULICO

Este es un trabajo derivado del desarrollo de la tesis y no está publicado, pues está en revisión de los cuerpos jurídicos y direcciones del municipio de Guatemala y EMPAGUA, en el proceso no se puede publicar.
Este es un borrador de Reglamento, se preparó con base a la estructura administrativa de la Municipalidad de Guatemala donde EMPAGUA que es la empresa de Agua. Sin embargo, se considera que los conceptos técnicos se aplican a cualquier municipio y puede servir de ejemplo para su aplicación. Cada municipio deberá hacer los ajustes necesarios en temas de mapas, estructura institucional, intensidades de lluvia y el análisis de costos.

Preparado por Carlos Roberto Cobos

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

REGLAMENTO PARA LA MITIGACIÓN DE IMPACTOS HIDRÁULICOS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA

EL CONCEJO MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA

CONSIDERANDO

Que por mandato constitucional establecido en el artículo 253 de la constitución Política de la República de Guatemala, al Gobierno Municipal le corresponde emitir la ordenanza y reglamentos para la prestación de los servicios públicos locales, obtener y disponer de sus recursos, así como el ordenamiento territorial para garantizar el cumplimiento de sus fines propios.

CONSIDERANDO

Que el artículo 142 y 147 del Gobierno Municipal, Decreto 12-2002 del Congreso de la República de Guatemala, establece que las municipalidades están obligadas a formular y ejecutar los planes de ordenamiento territorial y desarrollo integral de sus municipios, por consiguiente le corresponde la función de planear, proyectar, reglamentar, y ejecutar el control urbanístico, la preservación y mejoramiento del entorno del municipio y el establecimiento de la prestación de los servicios públicos a efecto de tener indicadores de calidad de vida en una ciudad sostenible y generar un sistema integrado a servicios públicos domiciliares que solucione la necesidad de abastecimiento de agua potable y el tratamiento de recurso hídrico derivado de los procesos de urbanización para mitigar el impacto hidráulico ocasionado y aprovechar de forma eficiente y efectiva el manejo de los recursos hídricos dentro del municipio

CONSIDERANDO

Que de conformidad con el artículo 27 de la ley de vivienda decreto no. 9-2012 del Congreso de la Republica de Guatemala establece que para la elaboración de los planes de ordenamiento territorial debe planificarse la provisión de los servicios públicos en tal sentido se establece que los proyectos de construcción y cambio de uso del suelo impactan sobre las condiciones de infraestructura urbana destinada al manejo de recurso hídrico provocan una mayor demanda en el consumo de agua y un mayor desfogue de aguas residuales así como impermeabilización del suelo que no solo disminuye la capacidad de recarga hídrica si no también incrementa los caudales pluviales generando impacto negativo en el acuífero y reduciendo la disponibilidad de agua en tal sentido las descargas aumentan, afectando o disminuyendo la capacidad de transporte, y estos impactos no son internalizados por los causantes de los mismos, de esa cuenta es necesario generar un cuerpo normativo que tenga por objeto definir las evaluaciones y estudios técnicos así como mecanismos para mitigar el impacto hídrico causado a la infraestructura de agua y saneamiento municipal de forma que se distribuya dicha carga equitativamente en los participantes de los procesos de urbanización.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

POR TANTO:

Con fundamento en lo considerado, y en lo que para el efecto establecen los artículos: 39, 43, 44, 97, 254 y 255 de la Constitución Política de la República de Guatemala; 3, 5, 9, 33, 35 en sus incisos a), b), e), i), y a), 42, 68 inciso b), c) y m), 100 inciso s), 101 y 143 del Código Municipal, Decreto 12-2002 del Congreso de la República de Guatemala y sus reformas; 752, 757, 758, 799 y 1137 del Código Civil; 1, 2, 6, 7, 21, 22, 25, 27, 28, 29 y 33 de la Ley de Vivienda, Decreto 9-2012 del Congreso de la República de Guatemala; 7, 8, 96, 102, 104 del Plan de Ordenamiento del Territorial del Municipio de Guatemala.

ACUERDA:

Emitir el siguiente reglamento de observancia general,

REGLAMENTO PARA LA MITIGACIÓN DE IMPACTOS HÍDRAULICOS A LA INFRAESTRUCTURAMUNICIPAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA.

CAPITULO I
DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. Objeto.

El objeto del presente reglamento es mitigar el impacto a la infraestructura hidráulica del municipio producido por la construcción y habilitación de la infraestructura urbana que requiere la dotación, manejo y saneamiento del agua. El reglamento permite la mitigación de los impactos hidráulicos causados por el desarrollo de proyectos inmobiliarios en el municipio de Guatemala, normando las evaluaciones y estudios técnicos que deben elaborarse para la determinación de las obligaciones tendientes a mitigar dicho impacto.

Artículo 2. Autoridad.

La entidad encargada de hacer cumplir las disposiciones del presente reglamento es la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala-EMPAGUA- (en adelante: EMPAGUA). La Dirección de Control Territorial de la Municipalidad de Guatemala (en adelante: DCT) no podrá emitir licencias de construcción y del suelo sin contar el dictamen favorable de mitigación de impacto hidráulico extendido por la EMPAGUA.

Artículo 3. Ámbito de aplicación.

Este reglamento aplica a todos los proyectos de construcción, remodelación, ampliación, cambio de uso y/o localización de establecimientos abiertos al público en la jurisdicción del municipio, sean estos públicos o privados, residenciales y/o no residenciales cuando se conecten a los sistemas de agua potable o extraigan agua del acuífero o que se conecten a la red de drenaje municipales existentes o descarguen directamente en quebradas, barrancos, ríos o cualquier drenaje natural existente, o que modifiquen de alguna manera los cauces de los ríos, quebradas o drenajes naturales dentro de la jurisdicción del municipio de Guatemala, están sujetos a evaluaciones de impacto hidráulico y deben

contar con el dictamen favorable de EMPAGUA a través de la Unidad de Evaluación de Proyectos de Agua y Alcantarillado.

Artículo 4. Licencias de Construcción. Cualquier proyecto de construcción, ampliación, remodelación y/o cambio de uso está sujeto a evaluaciones de Impacto Hidráulico y debe contar con dictamen favorable de EMPAGUA, a través de su representante en el *Departamento de Construcción Urbana, en lo sucesivo denominado DCCU.*

Artículo 5. Definiciones.

Para la correcta interpretación del presente reglamento, cuando se utilicen las siguientes expresiones, se entenderán así:

a. **Aguas Residuales** las aguas residuales son aquellas que se generan después de un uso doméstico, comercial o industrial.
b. **Aguas Grises** son aquellas aguas residuales de tinas, pilas, regaderas, lavabos, lavadoras y lavavajillas.
c. **Agua de Lluvia** Agua captada directamente de la precipitación pluvial.
d. **Área Impermeable Actual.** Es el área que está impermeabilizada previó a la construcción del nuevo proyecto, incluye todos los techos, pavimentos, áreas de parqueo.

e. **Área Impermeable Proyectada.** Es el área que será impermeabilizada con el nuevo proyecto, incluye todos los techos, pavimentos, áreas de parqueo. Excluye áreas verdes que infiltren directamente al suelo.

f. **Colector.** Tubería o túnel principal del sistema de drenaje urbano municipal, que recolecta las aguas. Si existe sistema separativo, las aguas pluviales se conducen separadamente de las aguas servidas, en otros casos el sistema es combinado y transporta tanto aguas servidas como pluviales.

g. **Caudal de Escorrentía Adicional (m^3/s).** Es el caudal generado por el cambio de uso del suelo y su impermeabilización.

h. **Caudal Sanitario Adicional (m^3/s).** Es el caudal generado de agua servidas por el cambio en densidad de población en el inmueble

i. **Caudal Doméstico Adicional (m^3/s).** Es el caudal adicional demandado de agua doméstica, por el cambio en densidad de población en el inmueble

j. **Control de Crecidas.** Es controlar la magnitud de las crecidas con elementos estructurales (infraestructura) y no estructurales (infiltración y cobertura vegetal), para mantener tirantes y volúmenes de agua manejables.

k. **Curva IDF.** Curva de Intensidad Duración y Frecuencia que relaciona la magnitud de la intensidad de lluvia, con la duración de la tormenta y el período de retorno de la misma.

l. **Disipador de Energía.** Es una estructura en las descargas a los cuerpos de agua, que reduce la energía para disminuir los efectos de erosión en los cauces.

m. **Estudio de impacto hidráulico:** Es el análisis del impacto neto sobre la infraestructura hidráulica municipal que genera un proyecto nuevo, para ello evalúa los incrementos de caudal que requerirá el desarrollo para abastecimiento, así como las descargas pluviales y sanitarias que generará, dicho estudio deberá ser elaborado y preparado por un profesional con experiencia en hidráulica, hidrología o sanitaria, haciendo un balance de la situación del sitio previo al proyecto y con el proyecto. La situación con proyecto se evaluará con y sin medidas de mitigación.

n. **Evaluaciones de impacto hidráulico:** Término genérico que engloba diferentes tipos de análisis de impacto en las infraestructuras urbanas de agua. Para el efecto de este reglamento hay dos tipos de análisis: revisiones de impacto hidráulico y estudios de impacto hidráulico.

o. **Impacto hidráulico:** Constituye cualquier efecto negativo que pueda darse en las infraestructuras urbanas de agua. Son en función de la infraestructura municipal y no dependen de la aprobación del estudio de impacto ambiental. Los impactos hidráulicos previstos en este reglamento son: i) por no infiltración, mi) por incremento de la demanda; iii) por incremento en la escorrentía; iv) por incremento de descargas contaminadas; v) por incremento de las descargas sanitarias; y vi) por modificación e intervención en cauces de ríos.

p. **Impacto por no Infiltración.** Es el impacto sobre la falta de recarga del acuífero, al limitar la infiltración debida a la impermeabilización, lo que afecta la disponibilidad de agua subterránea de los pozos existentes.

q. **Impacto por Incremento de la Demanda.** Al aumentar la densidad de uso, hay un incremento en el caudal doméstico y esta demanda debe ser satisfecha. Si se usa pozo privado para satisfacer esta demanda, el impacto es directamente sobre el acuífero disminuyendo la disponibilidad y por tanto afectando la productividad de los pozos cercanos. Si la demanda se satisface con agua de EMPAGUA, el impacto puede ser sobre la disponibilidad de la capacidad instalada existente de agua superficial o subterránea dependiendo de la ubicación del proyecto.

r. **Impacto por incremento en la escorrentía.** La impermeabilización generada por un proyecto incrementa la escorrentía, lo que afecta la capacidad del sistema de conducción de aguas pluviales.

s. **Impacto por incremento de descargas contaminadas.** Es el debido a descargar aguas sin el debido tratamiento, al sistema de alcantarillado, a cuerpos receptores o al subsuelo.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

t. **Impacto por incremento de las descargas sanitarias.** Es el debido al incremento de volumen de aguas residuales, producido por el incremento de la demanda, que se asume como un 80% de la demanda requerida.

u. **Impacto por modificación e intervención en cauces de ríos.** Es el impacto que se produce en proyectos que modifican la alineación de un cauce, su pendiente, su longitud o cualquiera de sus características naturales, incluyendo la modificación del régimen hidrológico por descargas puntuales tres veces el volumen correspondiente al caudal medio del cauce.

v. **Impacto neto:** El impacto neto es el resultante del impacto total producido por un proyecto menos la reducción que se logre con las medidas de mitigación.

w. **Infraestructuras urbanas de agua:** Todo componente dentro de un sistema de captación, distribución, saneamiento y descarga de agua, como, por ejemplo, redes de agua y redes de alcantarillado y drenajes, plantas de tratamiento de agua potable, tanques de almacenamiento de agua potable, sistemas de captación de agua pluvial, plantas de tratamiento de aguas residuales, estaciones de bombeo, pozos de absorción, pozos de captación de agua, presas, y otros de similar naturaleza.

x. **Intensidad de lluvia.** Es la magnitud o cantidad de lluvia que cae en períodos cortos de tiempo, normalmente expresada en mm/hr y usada para el diseño de los drenajes.

y. **Interesado:** El propietario, planificador y/o ejecutor de un proyecto.

z. **Medidas de mitigación hidráulicas.** Son todas aquellas medidas, estructurales o no, que se realicen para reducir o atenuar los impactos hidráulicos que produce el proyecto.

aa. **Obras de Protección de Márgenes.** Obras de infraestructura, normalmente longitudinales a los cauces, para proteger las márgenes de erosión o reducir los desbordamientos. Estas pueden ser gaviones, enrocados, muros, etc.

bb. **Pendiente del Cauce.** Es el gradiente de altura que tiene el río a lo largo de su longitud o del tramo en estudio y que determina la velocidad del flujo.

cc. **Pendiente Hidráulica.** Es el gradiente del componente de energía del río. Es una línea imaginaria que permite determinar las condiciones de flujo en el canal del río.

dd. **Período de Retorno.** Es una forma de expresar la probabilidad de ocurrencia de un evento. También puede expresarse en función de porcentaje, como la probabilidad de excedencia de un evento. El período de retorno que se selecciona para el diseño de un proyecto, es igual o mayor a la vida útil de la infraestructura.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ee. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Planta que, mediante procesos primarios, secundarios y/o terciarios, reduce la contaminación orgánica e inorgánica de aguas domésticas e industriales.

ff. Población Actual del Inmueble. Es la población existente en el inmueble previo al proyecto y que, de acuerdo al uso del inmueble, demanda una dotación de agua.

gg. Población Proyectada del Inmueble. Es la población que tendrá el inmueble con el proyecto y que de acuerdo al uso que tendrá el inmueble, demanda una dotación de agua.

hh. Protección de Taludes. Obras de infraestructura para retención y drenaje o manejo de cobertura de suelos, para reducir la erosión y deslizamiento de taludes.

ii. Proyecto. Se denomina proyecto, para fines de este reglamento, toda aquella remodelación, construcción nueva o cambio de uso, que se hará en un inmueble existente.

jj. Recarga Artificial. Se refiere a la recarga de los acuíferos por métodos artificiales, como pueden ser pozos de absorción, pozos de inyección, lagunas de recarga o cualquier otro método que facilite la recarga de los acuíferos.

kk. Regulador de Sedimentos. Es una estructura generalmente transversal al cauce, que permite reducir la pendiente del cauce, reducir las velocidades y por consiguiente disminuir la erosión y reducir el arrastre de sedimentos.

ll. Red de Drenajes. Es la red de tubería que conduce las aguas pluviales, las aguas negras o la combinación de ambas a los colectores principales.

mm. Reciclaje de Aguas. El reciclaje implica tratamiento de aguas para poder ser utilizadas nuevamente en cualquier otra actividad. Por ejemplo, las aguas negras, deben ser tratadas previo a poder ser nuevamente utilizadas, o las aguas de lluvia si se quieren usar como agua potable.

nn. Reusó de Aguas. Se llama así a utilizar agua que ya fue usada al menos una vez, sin ningún tratamiento. Ejemplo las aguas grises pueden ser usada para regar o llenar los depósitos de los inodoros.

oo. Revisión de impacto hidráulico: Una revisión de impacto hidráulico tiene como objeto establecer rápidamente, si un proyecto potencialmente puede influir negativamente en la infraestructura urbana de agua del sector. Esta revisión será realizada por la Unidad de Evaluación de Proyectos de agua y Alcantarillado de EMPAGUA. En general si el proyecto por sus dimensiones no produce impactos hidráulicos significativos, no se le requerirá un estudio de impacto hidráulico.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

pp. **Tanques o Lagunas de Retardo:** Son tanques o lagunas con el propósito de retardar o laminar el efecto de las crecidas o avenidas, producidas por eventos meteorológicos con alta intensidad de lluvia, y que no almacenan o mantiene espejo de agua.

qq. **Tanques o Lagunas de Retención:** Son tanques o lagunas con el propósito de retardar o laminar el efecto de las crecidas o avenidas, producidas por eventos meteorológicos con alta intensidad de lluvia, y que almacenan y mantienen un espejo de agua, por períodos prolongados.

Artículo 6. Objetivos Específicos.

Se definen los siguientes objetivos:

a. Mejorar la capacidad de las infraestructuras urbanas de agua con el objeto de permitir una densificación sostenible de la ciudad, en la que pueda sus habitantes disfrutar de sus servicios urbanos sin con ello disminuir la calidad en la prestación del servicio público del agua.

b. Mejorar la capacidad de las infraestructuras urbanas de agua con el objeto de disminuir las inundaciones ocasionadas por las temporadas lluviosas dentro la ciudad.

c. Fomentar la instalación de infraestructuras domiciliares eficientes que permitan que las aguas servidas y pluviales no generan un impacto negativo sobre las infraestructuras urbanas de agua de la ciudad.

d. Promover la reutilización de las aguas servidas y aguas pluviales.

CAPITULO II
TIPOS DE EVALUACIONES Y PROYECTOS QUE REQUIEREN ESTUDIO DE IMPACTOS HIDRAULICOS

Artículo 7. Tipos de evaluaciones de impactos hidráulicos.

Dependiendo de las probables repercusiones de la magnitud y localización de un proyecto sobre las condiciones en las infraestructuras urbanas de agua, se establecen dos tipos de evaluaciones de impacto hidráulico:

a. **Revisión de impacto hidráulico:** Constituye la escala menor de evaluación, donde a través de una revisión de planos se establece si potencialmente existiesen impactos negativos a la infraestructura urbanas de agua. Si la revisión determinará que está sujeto a cualquiera de las condiciones del artículo 9 (**Proyectos Afectados)**, se requerirá un estudio de impacto hidráulico, en caso contrario esta evaluación con las medidas de mitigación que recomiende será suficiente para proseguir con la licencia de construcción.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

b. **Estudio de impacto hidráulico.** Constituye un tipo de evaluación de más detalle, donde a través de un análisis de las infraestructuras urbanas de agua, las características del proyecto y un estudio hidráulico realizado por un profesional con experiencia en el tema, se determinan los impactos y las medidas de mitigación. El estudio de impacto hidráulico determina el efecto del cambio de uso de suelo, cambio de densidad poblacional o un nuevo proyecto, que genera un incremento de la demanda y un incremento de las descargas pluviales y sanitarias, sobre la infraestructura pública y las cuencas en la jurisdicción municipal. El estudio debe presentar medidas de mitigación que disminuyan estos impactos. Es decir, se revisa la situación sin proyecto, con proyecto primero sin medidas de mitigación y luego con medidas de mitigación. Esto permite determinar el impacto neto.

Artículo 8. Objetivos de las evaluaciones de impacto hidráulico.

El objetivo de las evaluaciones de impacto hidráulico es determinar el impacto y si es necesario efectuar recomendaciones que permitan garantizar el funcionamiento de las infraestructuras urbanas de agua y mejorar las condiciones en la prestación de los servicios públicos vinculados al agua mitigando el impacto que pueda causar el desarrollo de un proyecto inmobiliario.

Los dictámenes y recomendaciones emanados deberán estar acorde con los reglamentos y políticas vigentes de EMPAGUA.

Artículo 9. Proyectos Afectados. Es obligatorio que presenten un estudio de impacto hidráulico en caso de que aplique cualquiera de estas condiciones:

a) Todos los proyectos en las zonas G0 y G1 del POT, aunque tuviesen licencias de Planes Generales o Planes Locales.
b) Cuando la población proyectada triplique la población actual, en el caso de centros comerciales se considera la población proyectada a la población flotante
c) Cuando el área impermeabilizada proyectada se incremente más de un 10% con respecto a la actual, o que se impermeabilice completamente el terreno.
d) Donde se modifique las características de un cauce natural, es decir su alineamiento, sus condiciones de pendiente, rugosidad, velocidad o sección hidráulica.
e) Cuando el cambio de uso de suelo sea de residencial a industrial o comercial en terrenos mayores de 300 m2

Artículo 10. Tipos de Impactos. Se determinarán por separado cada uno de los siguientes impactos: i) por no infiltración, ii) por incremento de la demanda; iii) por incremento en la escorrentía; iv) por incremento de descargas sin tratamiento; v) por incremento de las descargas sanitarias; y vi) por modificación e intervención en cauces.

Artículo 11. Determinación del Impacto por No Infiltración. Es el impacto sobre la falta de recarga del acuífero al limitar la infiltración, debido a la impermeabilización. La pérdida de infiltración al acuífero, se determinará en base al Cuadro No. 5 y el Mapa No.1, que se presentan a continuación. El porcentaje indicado será el que corresponda de

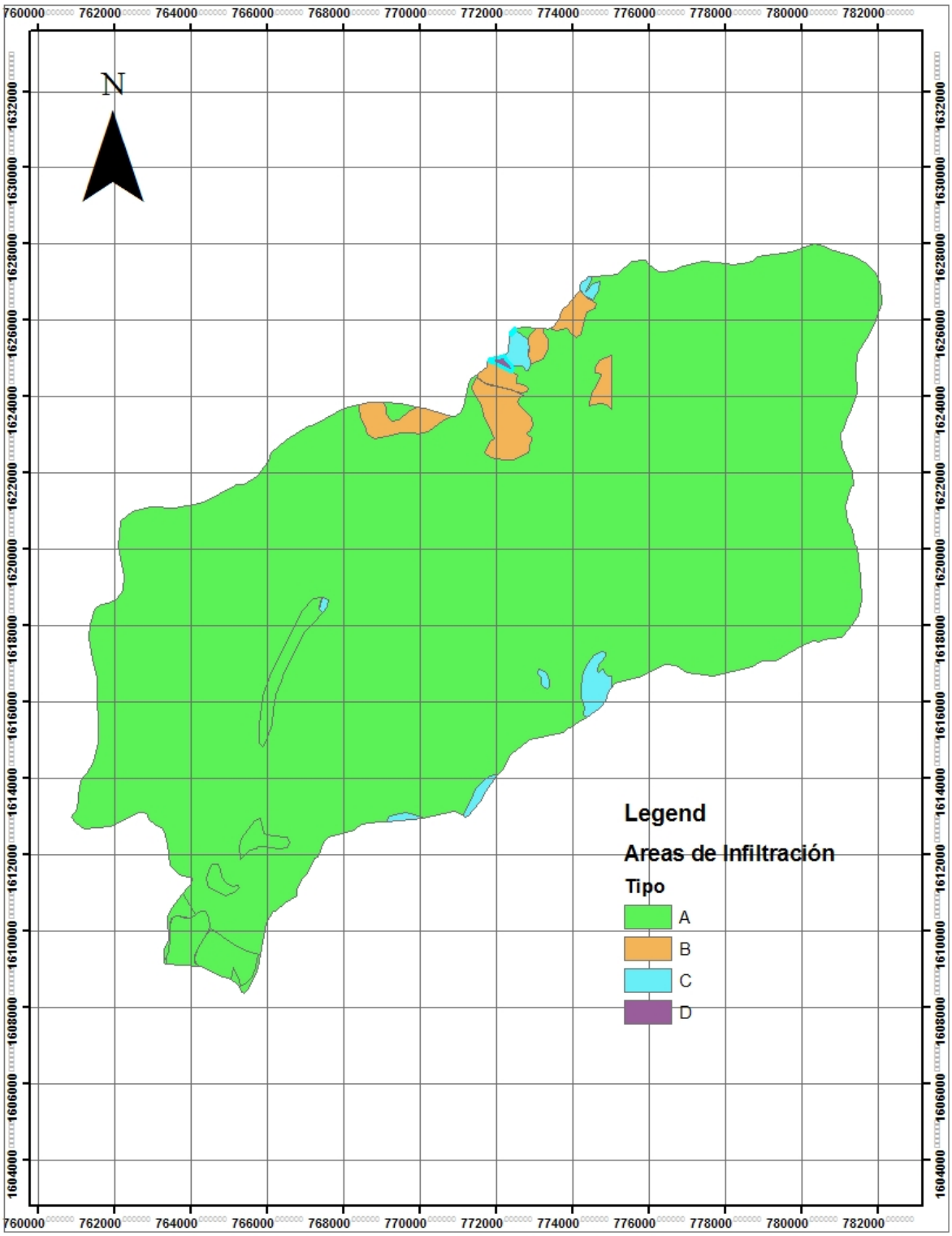
acuerdo a la ubicación del proyecto. Una prueba de infiltración con la metodología propuesta por EMPAGUA.

Cuadro No. 5. Infiltración de acuerdo al tipo de área.

Tipo	Descripción	Porcentaje
A	Arenas suelos Franco Arcillosos y Sedimentos eólicos y fluviales	60%
B	Suelos Franco Arcillosos Calizas, Filtas etc	50%
C	Lavas asfálticas y Tobas	40%
D	Intrusivas Graníticos	20%

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Figura No. 1. Mapa de Infiltración. Debe desarrollarse a más detalle solo se pone como ejemplo



Se estimará el volumen no infiltrado, en base a la lluvia media anual (de la estación INSIVUMEH u otra más cercana al sitio de estudio, que tenga al menos 5 años de registro) multiplicada por el porcentaje respectivo y el área impermeabilizada en m^2 por año. Este valor se convertirá al volumen equivalente de diez años.

VNIA= Pm*INF*AIMP

VTNI= VNIA*Años

Donde

VNIA = Volumen de agua No Infiltrada en m3/anuales
Pm = Precipitación media anual en m
INF = % infiltración dependiendo de datos de prueba y mapa
AIMP = Área adicional que se impermeabilizara con el proyecto m2.
Años = número de años (10 es el valor que se utilizará)
VTNI = Volumen Total de agua No Infiltrada m3

Artículo 12. Determinación del Impacto Hidráulico por Incremento de la Demanda. Para el cálculo del Impacto Hidráulico del sistema de agua potable, se determinarán los siguientes parámetros:

Caudal doméstico original	Qdo = Población actual * dotación
Caudal doméstico proyectado	Qdp = población proyectada *dotación
Caudal Doméstico Adicional	Qda= (Qdp-Qdo)

Este caudal se convierte a metros cúbicos anuales. Este valor se convertirá al volumen equivalente de diez años, que será el volumen necesario requerido de agua potable a EMPAGUA. Ese volumen, en el caso de abastecimiento por pozo privado, es el que será extraído del acuífero y afectará a todos los pozos de la zona, al reducir el nivel freático en esa zona. En el caso de que el proyecto considere un pozo privado para su abastecimiento se requiere la presentación de una copia del estudio hidrogeológico que solicita el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Artículo 13. Determinación del Impacto Hidráulico por escorrentía. Para el cálculo del impacto hidráulico del sistema pluvial, se determinarán los siguientes parámetros usando la fórmula racional para determinar el caudal pico generado:

Caudal pluvial adicional	Qpa= la diferencia entre el caudal proyectado y el original
Caudal pluvial original	Qpo = el caudal con el área impermeabilizada actual sin proyecto

Caudal pluvial proyectado Qpp = el caudal con el área impermeabilizada proyectada

Para cada caudal pico se utiliza la formula racional variando el área utilizada y el coeficiente de escorrentía de acuerdo a la impermeabilización:

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Q = CIA/360

Donde

C es el coeficiente de escorrentía

I la intensidad de lluvia para el tiempo de concentración

A el área en Ha

El Coeficiente de escorrentía depende del material utilizado para impermeabilizar la superficie. Se debe ponderar de acuerdo a las diferentes áreas del terreno. Para los valores del coeficiente de escorrentía se usarán los del Cuadro No. 4.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Cuadro No. 4. Tabla coeficientes C.

Tipo de área de drenaje	*Coeficiente C*
Pastos	
Suelo arenoso, plano, 2%	0.05-0.10
Suelo arenoso, promedio, 2-7 %	0.10-0.15
Suelo arenoso, escarpado, 7 %	0.15-0.20
Suelos pesados, plano, 2%	0.13-0.17
Suelos pesados, promedio, 2-7 %	0.18-0.22
Suelos pesados, escarpado, 7 %	0.25-0.35
Negocios	
Centros urbanos	0.70-0.95
Áreas vecinas	0.50-0.70
Residencial	
Casas unifamiliares	0.30-0.50
Multiunidades separadas	0.40-0.60
Multiunidades juntas	0.60-0.75
Suburbios	0.25-0.40
Áreas de departamentos	0.50-0.70
Industrial:	
Áreas ligeras	0.50-0.80
Áreas pesadas	0.60-0.90
Parques, cementerios	0.10-0.25
Áreas de juego	0.20-0.35
Patios ferroviarios	0.20-0.40
Áreas no urbanizadas	0.10-0.30
Calles	

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Asfalto	0.70-0.95
Concreto	0.80-0.95
Ladrillo	0.70-0.85
Senderos y Caminamientos	0.75-0.85
Techos	0.75-0.95

* Cuadro 14.1 de Hydrology Handbook V.T. Chow

Para la intensidad de lluvia se utilizará como mínimo un período de retorno de 50 años y se usará la curva de Intensidad Duración y Frecuencia que esté vigente de la estación meteorológica llamada INSIVUMEH de dicha institución.

Para el tiempo de concentración se utilizará la fórmula de Kirpich, que permite determinar la intensidad de lluvia, considerando la distancia más larga y la pendiente de techo o de las superficies impermeabilizadas.

Con ello se calcula el caudal pluvial adicional:

Caudal Pluvial Adicional Qpa = (Qpp - Qpo)

Es necesario indicar el punto de descarga en coordenadas UTM, ya sea que se conecte a un colector existente o directamente a un cuerpo de agua. Si es a un colector, se deberá analizar la capacidad del mismo y si puede conducir el Caudal Pluvial Adicional. Si es una descarga directa a un drenaje natural existente, analizar cuál será el efecto de las crecidas agua abajo, considerando un efecto acumulativo de otros proyectos importantes en el sector.

Artículo 14. Determinación del Impacto Hidráulico por descargas sin tratamiento. Para el cálculo del impacto hidráulico por descargas sin tratamiento se determinará el valor de contaminación. La descarga final deberá cumplir como mínimo con los estándares del Acuerdo Gubernativo 236-2006 y sus actualizaciones. Para el cálculo del impacto por descargas sin tratamiento al sistema sanitario, se determinarán los siguientes parámetros:

Caudal Sanitario Contaminado = Caudal Sanitario Proyectado Qsp

Es necesario indicar el punto de descarga en coordenadas UTM al colector o cuerpo de agua, si fuese el caso. Se debe caracterizar la descarga y la carga total de contaminación, incluyendo como mínimo, los parámetros de la tabla de cargas permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento a Descargas a Cuerpos Receptores y sus actualizaciones del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Artículo 15. Determinación del Impacto Hidráulico por incremento de descargas al Sistema Sanitario. Para el cálculo del impacto hidráulico al sistema sanitario se tomará en cuenta el volumen y la contaminación producida. Se determinarán los siguientes parámetros:

Caudal sanitario original	Qso = Población actual * 0.8* dotación
Caudal sanitario proyectado	Qsp = población proyectada * 0.8*dotación
Caudal Sanitario Adicional	Qsa = Fdmax* (Qsp-Qso)

Donde el Fdmax es el factor día máximo.

El volumen se convierte a m^3/s, para determinar si es necesario incrementar la capacidad del sistema de transporte de las aguas generadas, tratadas o no, para evacuarlas a otro sitio. Esto requiere una ampliación de los servicios debidamente cuantificada y que depende de la capacidad de los colectores en la zona.

Artículo 16. Determinación del Impacto Hidráulico por Cambios al Cauce. Cuando el proyecto requiera hacer modificaciones a un cauce existente es necesario hacer un estudio de mecánica fluvial, que considere no sólo los aspectos hidrológicos del río, sino también el comportamiento hidráulico del mismo; haciendo un análisis histórico del comportamiento del cauce, durante la última década, en base a fotografía área. El análisis de la hidráulica fluvial debe considerar el comportamiento en la situación previa a la obra y posterior a la obra. Debe considerar el cauce tanto aguas arriba, como aguas abajo del sitio de construcción. Requiere de estudios hidrológicos e hidráulica. El estudio hidrológico debe incluir todas las subcuencas que descargan al tramo de estudio y considerar el crecimiento de la zona urbana y el aumento de densidad poblacional basado en la condición crítica que presente el plan de Ordenamiento Territorial a futuro. El estudio hidráulico debe incluir un tramo que abarque las zonas que puede afectar el posible remanso, pero no menos de 500 metros aguas arriba y aguas abajo, del punto de intervención. Esta longitud no incluye el área del proyecto. El análisis del comportamiento del cauce debe incluirlas condiciones con y sin proyecto, la zona de divagación, erosión y sedimentación.

Artículo 17. Propuestas para Mitigación. Para reducir el impacto que se determine en el Estudio de Impacto Hidráulico se propondrán medidas de mitigación, a los impactos producidos por el proyecto o por el cambio de uso del suelo. Las medidas de mitigación deberán realizarse de preferencia dentro del área del proyecto, pero podrán estar en el área de influencia, esto es válido principalmente en los casos de cambio de cauce. La mitigación se estimará de acuerdo a las buenas prácticas implementadas y permitirá estimar el impacto neto producido.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

CAPÍTULO III

Características de las Medidas de Mitigación

Artículo 18. Medidas de Mitigación Existen algunas medidas de mitigación que incluyen buenas prácticas (BP) de recarga de acuíferos con diferentes métodos de infiltración, (BP) de reducción de demanda con artefactos ahorradores, reciclaje de agua grises o cosecha de agua de lluvia, reducción de contaminación con tratamientos de aguas residuales y disminución de caudal a tratar, reducción de escorrentía con tanques de retención, de retardo, infiltración y reciclaje.

Artículo 19. Para reducir el impacto de No Infiltración. Entre las medidas para reducir el impacto de No infiltración se deben buscar métodos de recarga de acuíferos donde sea factible, asegurando que la misma se hace con técnicas adecuadas, estudios de infiltración, niveles freáticos, filtros adecuados y almacenamiento previo para que la recarga sea a velocidades adecuadas sin producir daños de tubificación del suelo o saturación.

Artículo 20. Para reducir la Demanda. Entre las medidas para reducir la demanda se encuentran las que reducen el consumo, como la colocación de artefactos eficientes o que no utilizan agua, las que aprovechan y reciclan agua, como son las redes domésticas donde se combinan redes de aguas grises, agua potable y agua de lluvia para diferentes usos. Un diseño adecuado permite reducir significativamente la demanda, con fuentes no tradicionales como agua de lluvia, aguas grises o reciclaje. Se deberá mostrar los cálculos de almacenamiento para justificar la disminución de la demanda. Al reducir la demanda usando otras fuentes también se reduce en algunos casos los impactos en las descargas pluviales o las descargas finales a los sistemas de drenajes.

Artículo 21. Para reducir el impacto hidráulico por escorrentía. Entre las medidas para reducir el impacto al sistema pluvial se encuentran todas aquellas que retarden el tiempo de llegada de los volúmenes al sistema de colectores o que reduzcan efectivamente los volúmenes que llegan al colector. Los métodos y (BP) que se pueden incluir son techos verdes, pavimentos permeables, recolección o “cosecha” de agua de lluvia, infiltración al acuífero, tanques o reservorios de retención y de retardo. Algunas de estas medidas también sirven para reducir el impacto de no infiltración.

Artículo 22. Para reducir el impacto hidráulico por contaminación. Entre las medidas para reducir este impacto es la instalación de plantas de tratamiento, se considerará que el cumplimiento del reglamento 236-2006 y sus actualizaciones del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales debe ser lo mínimo a cumplir. Cualquier mejora se considerará una reducción en el tema de contaminación. La medida de mitigación propuesta (planta de tratamiento de aguas residuales) deberá describirse a detalle con sus características y dimensiones generales de la planta, así como incluir una declaración jurada del constructor o fabricante de la misma de que cumple con las características de descarga requeridas por MARN. Además de una declaración jurada del propietario desarrollador del proyecto comprometiéndose con la operación de la misma, por la vida útil de la obra. En caso de que a futuro se cambie la titularidad de dominio del bien inmueble, será el propietario original quien deberá presentar la declaración jurada

USC UNIVERSIDAD DE COMPOSTELA

ante EMPAGUA, donde se comprometa a continuar a cumplir con las normas legales establecidas para el tratamiento de agua residuales.

Artículo 23. Para reducir el impacto hidráulico por incremento de caudal al sistema sanitario. Entre las medidas para reducir este impacto esta la recirculación de aguas grises, un diseño adecuado puede reducir no solo los volúmenes a tratar sino el volumen total a descargar. Las plantas de tratamiento simplifican los problemas de descarga y de tratamientos posteriores, especialmente en el caso de colectores con descargas combinadas. Se deberá demostrar cuáles son los resultados esperados y colocar sistemas de monitoreo adecuado midiendo el caudal de descarga.

Artículo 23. Para reducir el impacto por Intervención en Cauces de ríos. Las medidas de mitigación propuestas, deben abarcar toda la zona del cauce que se vea afectada por el proyecto, no importando que este fuera de la propiedad del proyecto. Las medidas de mitigación pueden ser bordas, protección de márgenes con gaviones, enrocado, muros de concreto, diques transversales, protección de fondo, protección de pilas de puentes, remodelación de secciones de bóvedas, alcantarillas, pozas o puentes; a efecto con las referidas medidas de mitigación, se proteja la infraestructura pública, así como la seguridad peatonal de los vecinos y transeúntes. Tanto aguas arriba como aguas abajo. Si los riesgos son inciertos se podrá solicitar una fianza a que cubra los daños en casos de problemas futuros por la vida útil de la obra.

Artículo 24. Monitoreo. Todo estudio de impacto hidráulico deberá presentar un sistema de monitoreo y evaluación, esto para mejorar diseños a futuro y asegurarse del cumplimiento de algunas normas ya establecidas. Cada año el propietario deberá presentar un informe a EMPAGUA con los resultados del monitoreo y la evaluación. El incumplimiento será causa de sanción al propietario del proyecto conforme a lo que indica este reglamento.

CAPÍTULO IV

IMPACTO NETO, INCENTIVOS Y MEDIDAS DE COMPENSACIÓN

Artículo 25. Impacto Neto. El impacto neto es la diferencia entre el impacto estimado original menos el impacto con las medidas de mitigación propuestas. El objetivo de todo proyecto sería no tener ningún impacto en cada una de las áreas. Sin embargo, es muy probable que, por las condiciones específicas del terreno, su ubicación, tipo de suelo y otras variables no sea posible lograr un impacto neto igual a 0, por lo que se prevé algunos, incentivos y medidas de compensación para minimizar los efectos. El impacto residual neto se calcula independientemente para cada uno de los impactos. Con las medidas de mitigación se producirá un valor o volumen resultante, este valor se deberá dividir por el volumen del impacto estimado previo a las medidas de mitigación.

Artículo 26. Valoración del Impacto. Cada impacto se valorará de acuerdo a los valores económicos del siguiente cuadro.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Impacto Neto	Unidad	Valor	Origen esta columna es de referencia no debe ir en el reglamento
No infiltración	m^3	Q 8 a valores actuales 2020	Es el costo de traer un m^3 de agua desde el proyecto Nor-occidental del PLAMABAG (Q 0.4 por m^3 a precios de 1982) actualizado al año de ejecución del proyecto.
Incremento de demanda	m^3	Q8.00	Se compone por el costo de traer agua externa, pues afecta la disponibilidad de la ciudad.
Impacto sistema sanitario	l/s	Q.5,000.00	En base al volumen de aguas servidas, se propone una tasa fija si el incremento de descarga máxima diaria es menor a 1 l/s, en caso de que el colector actual es insuficiente las obras necesarias para evacuar el caudal que se excede.
Impacto por descarga residual no tratada	l/s	Q. 1,000,000.00	Costo de implementación de sistema de tratamiento de metro cúbico que exceda los parámetros basados en un costo estimado de Q2,000 por persona con una dotación media diaria de 250 l/Hab/día y 80%de agua residual convertido a litros/s.
Impacto por escorrentía	l/s	Q. 5000.00	En base al volumen de aguas pluviales se propone una tasa fija, si el incremento de descarga para la tormenta de 50 años no excede 0.15 m^3/s. En caso de que el colector actual es insuficiente la medida de mitigación serán las obras necesarias para evacuar el caudal que se excede.
Impacto por intervención en cauces		Variable	La construcción de las obras de mitigación requeridas aguas arriba y aguas abajo para minimizar el efecto de las obras.

Artículo 27. Impacto Neto mayor del 90%. Si el impacto neto es igual o mayor al 90% de incremento sobre la condición inicial, este reglamento indica que se compense con obras de infraestructura, equivalentes al valor estimado del impacto y relacionadas a la infraestructura hidráulica. La magnitud de las obras solicitadas debe ser proporcional a la magnitud del impacto neto del proyecto. Pero debe manejar adecuadamente el caudal pluvial adicional, si el valor estimado para el impacto no es suficiente para el tipo de obra y magnitud que se requiere, se podría considerar la no autorización de la obra.

Articulo 28 Impacto Neto entre el 50 y 90%. Si el impacto neto es entre el 50 y 90% de incremento sobre la condición inicial, este reglamento indica que se compense con

medidas que pueden ser obras de infraestructura hidráulica, equivalentes al valor estimado del impacto y relacionadas a la infraestructura hidráulica.

Articulo 29 Impacto Neto entre el 30 y 50%. Si el impacto neto es entre el 30 y 50% o menos de incremento sobre la condición inicial, este reglamento indica que se haga una reducción en los costos de la valoración del impacto de un 5% y de un 5% en los permisos de construcción o en el IUSI.

Articulo 30 Impacto Residual entre el 10 y 30%. Si el impacto residual es entre el 10 y 30% de incremento sobre la condición inicial, este reglamento indica que se haga una reducción en los costos de los permisos de EMPAGUA de un 10% y de un 10% en los permisos de construcción o en el IUSI.

Articulo 31 Impacto Residual de menos del 10%. Si el impacto residual es menor al 10% de incremento sobre la condición inicial, este reglamento indica que se haga una reducción en los costos de los permisos de EMPAGUA de un 40% y de un 10% en los permisos de construcción o en el IUSI.

Artículo 32. Retribución del Impacto Neto. El impacto residual es la diferencia entre el impacto estimado y la medida de mitigación propuesta. Si el impacto residual no es igual o menor al 10% de la condición inicial, este reglamento indica que se compense con obras de infraestructura, equivalentes al valor estimado del impacto y relacionadas a la infraestructura hidráulica, como pueden ser:

a) Obras equivalentes al valor estimado al impacto, que se requieran en el plan específico de la cuenca donde se encuentre localizado el proyecto, si el plan existe
b) Ampliación de colectores, alcantarillado y drenajes
c) Obras de recarga del acuífero que este afectado por el proyecto determinado
d) Plantas de Tratamiento de Agua Potable
e) Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
f) Obras de descarga (disipadores)
g) Obras de control de inundaciones
h) Obras de protección de márgenes
i) Tanques o lagunas de retardo en puntos externos al proyecto
j) Tanques de almacenamiento.
k) Sistemas de captación de agua lluvia (SCALL).
l) Estaciones de bombeo.
m) Pozos de absorción.
n) Pozos de captación de agua.
o) Presas.
p) Otros trabajos de mejoramiento de la infraestructura urbana de agua.

La magnitud de las obras solicitadas debe ser proporcional a la magnitud del impacto neto del proyecto. Pero debe manejar adecuadamente el caudal pluvial adicional, si el monto del impacto no es suficiente para el tipo de obra y magnitud que se requiere, se podrá ingresar el equivalente monetario a un fondo específico. Si al interesado le corresponde sufragar con exclusividad algún tipo de obra, pero su monto de inversión es inferior al que le correspondería según el valor que se determine de acuerdo al artículo 26 le

corresponderá a éste invertir el monto restante en obras de mitigación de impactos hidráulicos que defina la EMPAGUA.

En estos casos, el interesado tendrá el derecho que al finalizar las obras de mitigación exclusivas se audite su costo final, y con base a dicha auditoria se defina el monto adicional que debe satisfacer.

El costo de los cambios antes mencionados debe ser sufragado por el interesado por medio de:

1. La ejecución por cuenta propia de las obras de mitigación de impacto hidráulico.
2. La adquisición de superficies de terreno a terceros y cesión de las mismas a favor de la Municipalidad de Guatemala con destino a la ampliación las infraestructuras urbanas de agua.
3. La aportación de materiales de construcción para la ejecución de las obras de infraestructura hidráulica previstas por la Empresa; debiendo la Municipalidad evaluar la calidad y costos de los mismas.
4. El pago en efectivo del costo de dichas obras a la Municipalidad de Guatemala, el cual deberá utilizarse exclusivamente para mitigar el impacto hidráulico de conformidad con las obras de infraestructura previstas por la Empresa. *El interesado podrá hacerse uso de* esta opción de mitigación siempre que el monto a invertir no sea superior a los trescientos mil quetzales (Q. 300,000.00), monto que será anualmente ajustado tomando en consideración el nivel de inflación publicado por _____.

En aquellos casos que el interesado deba sufragar exclusivamente el costo de las obras de mitigación derivado del resultado de los estudios de impacto hidráulico, tendrá a su cargo toda obra que deba ejecutarse para poder implementar las medidas; las cuales serán supervisadas por la EMPAGUA.

Las infraestructuras urbanas de agua que defina la EMPAGUA a nivel general deberán estar acorde con el resultado de las obras de mitigación de los estudios de impacto hidráulico, así como con la planificación estratégica de EMPAGUA.

El interesado podrá elegir voluntariamente una o varias de las opciones expuestas con anterioridad. Si el interesado opta por efectuar el pago en efectivo del costo de dichas obras a la Municipalidad, cuando aplique, la Dirección podrá emitir las licencias con el acreditamiento del pago correspondiente.

Artículo 33. Ejecución de obra por cuenta del interesado.

En los casos que el interesado opte por ejecutar las obras por cuenta propia, se procederá de la siguiente forma según sea el caso:

a. Cuando el costo de las medidas de mitigación de impacto hidráulico estimado por la Municipalidad de Guatemala sea igual o menor al monto proporcional del impacto hidráulico ocasionado por el proyecto que le corresponde pagar al interesado, éste deberá asumir el compromiso de realizarlas sufragando el costo total de las obras.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

b. Cuando los costos de las medidas de mejoramiento de la infraestructura urbana de agua necesarias superen el monto proporcional correspondiente al impacto hidráulico ocasionado por el proyecto, la diferencia entre estos costos podrá ser compensada por la Municipalidad de Guatemala a favor del interesado, deduciendo el monto adicional invertido en las obras de mejoramiento del valor de la tasa de licencia correspondiente al mismo proyecto. Para dicho efecto, previamente deberá formularse una auditoria exhaustiva para definir los costos de las inversiones efectuadas. Para esto se deberá elaborar un contrato que suscriba las obligaciones de la Municipalidad que debe contener una cláusula que diga que es ***título ejecutivo o en su defecto debe suscribir un acta notarial de compromiso de pago.***

c. Cuando los costos de las medidas de mitigación del impacto hidráulico necesarias superen la suma del monto proporcional por mitigación de impacto hidráulico y el monto de la tasa de licencia municipal, y estas obras sean imputables al proyecto, correrá a cargo del interesado el excedente del costo de la obra.

En cualquiera de los casos antes mencionados de la obligaciones y responsabilidades del interesado deberán quedar establecidos a través de un contrato que documente las obras a ejecutarse por el interesado, en el que se indique expresamente el monto a invertir. En el contrato el interesado deberá reconocerse deudor de los montos de inversión correspondiente a favor de la Municipalidad de Guatemala; y su monto se tendrá por saldado al emitirse una constancia de cumplimiento de sus obligaciones o al haberse hecho el pago en efectivo del monto adeudado. En el caso que la Municipalidad de Guatemala deba exigir el pago del monto de inversión adeudado, se sancionará por el Juzgado de Asuntos Municipales al interesado con un monto equivalente, siempre que no se exceda de los límites establecidos en el Código Municipal.

La Municipalidad de Guatemala será la responsable, a costa del interesado, de la supervisión y auditoría de la ejecución de las obras, estando la Empresa plenamente facultada para solicitar al interesado los informes que estime conveniente.

Artículo 34. Cancelación de aporte dinerario en cuotas.

Los interesados que accedan a cancelar el aporte dinerario podrán pagar su obligación en cuotas. Al efecto, al momento de solicitar la liquidación del monto, el interesado deberá indicar que opta por el pago diferido, caso en el cual deberá suscribirse un reconocimiento de deuda que contemplará las condiciones de plazo, número de cuotas y el valor de cada una. En todo caso el interesado deberá realizar un pago inicial no inferior al veinte por ciento (30%) del monto calculado, y deberá suscribir los documentos legales que aseguren el pago futuro de la obligación.

El plazo máximo en el cual se podrá amortizar los pagos correspondientes será de dos años, sin embargo, la Dirección no podrá entregar la constancia de obra conforme si no se ha liquidado el saldo correspondiente.

Artículo 35. Proyectos en fases.

En los proyectos que se ejecuten en fases, los interesados podrán definir sus inversiones en concepto de mitigación del impacto hidráulico de acuerdo con la fase o fases que se ejecuten. En estos casos se documentará las inversiones a efectuarse en escritura pública,

definiéndose las obligaciones por cuenta del interesado, y los tiempos en los que se ejecutarán las obras.

Artículo 36. Cumplimiento de obligaciones de mitigar el impacto hidráulico en consorcio.

Las obras que deban ejecutarse en concepto de mitigación del impacto hidráulico podrán ejecutarse a favor de la Municipalidad Guatemala por dos o más interesados en la adquisición de licencias municipales. En estos casos los interesados presentarán su solicitud a la Empresa y éste les informará el monto del aporte proporcional aplicable a cada uno, debiendo suscribir un documento legal mancomunado en la que se obligue a la ejecución de las obras correspondientes, o en su caso, el pago del aporte dinerario. Habiéndose otorgado las licencias municipales los interesados deberán acreditar haberse ejecutado las obras correspondientes previo al otorgamiento de constancia de obra conforme de cualquiera de los proyectos afectos, caso contrario, los obligados cancelarán el aporte dinerario correspondiente y estarán sujeto a las multas por incumplimiento definidas en el presente Reglamento.

Artículo 37. Fianzas de cumplimiento.

EMPAGUA en toda obra que ejecute un interesado exigirá que se garantice su cumplimiento por medio de fianzas de cumplimiento; las que deberán garantizar como mínimo el pago del costo de inversión de las obras a las que se encuentra obligado el interesado.

CAPÍTULO V

PROCEDIMIENTO DEL ESTUDIO DE IMPACTO HIDRAULICO

Artículo 38. Información requerida.

EMPAGUA publicará el manual para el cálculo del Impacto Hidráulico, el cual deberá cumplirse a detalle y será autorizado por la Junta Directiva de EMPAGUA. Todo proyecto que requiera el Estudio de Impacto Hidráulico, de acuerdo a lo indicado en el artículo 9, deberá presentarse con la siguiente información:

a. Nombre del proyecto de acuerdo a la solicitud de la Licencia de Construcción.
b. Recibo de pago del Estudio de Impacto Hidráulico (Pago de tasa por revisión 0.001 del valor estimado de la obra).
c. Copia simple del formulario VU-PPAP-02.
d. Copia simple del formulario F-02 (en el caso de ser PRE-POT formulario F-01).
e. Del profesional a cargo del Estudio de Impacto Hidráulico:
   e. i Constancia de colegiado activo con su especialidad
   e. ii Copia simple de DPI y boleto de ornato

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

e. iii Declaración jurada sobre los resultados del Estudio de Impacto Hidráulico

f. Del Estudio de Impacto Hidráulico:

f. i Memoria descriptiva, técnica y de cálculo detallada propia del Estudio de Impacto Hidráulico, en concordancia con lo definido del proyecto respecto a la Guía Normativa del Reglamento para la Evaluación de Proyectos de Agua, Drenajes y Sistemas de Tratamiento de la Ciudad de Guatemala.

f. ii Presentar tabla resumen del impacto hidráulico actual y del proyecto propuesto.

f. iii Los planos de la infraestructura hidráulica derivados del Estudio de Impacto Hidráulico del proyecto y de las medidas de mitigación presentarse debidamente firmados, sellados y timbrados por el Profesional Responsable y firmados por el Representante Legal o Propietario.

g. De utilizar pozo propio, se deberá adjuntar copia del Estudio Hidrogeológico (con los mismos requisitos establecidos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN)

h. De utilizar infiltración, se deberá adjuntar toda la documentación que respalde y avale técnicamente dicha medida de mitigación.

EMPAGUA notificará de oficio cualquier expediente que ingrese con información incompleta, que contenga información incomprensible o que incluya una interpretación equívoca de las condiciones físicas de las infraestructuras urbanas de agua del sector, solicitando al interesado subsanar la información faltante o incompleta, en un plazo de ocho días hábiles.

Artículo 39. De los Resultados. Independientemente de los impactos hidráulicos que genere el proyecto, los posibles resultados de los dictámenes de EMPAGUA podrán ser:

a) *Autorizado.* El proyecto con las medidas de litigación propuestas, es aprobado sujeto a verificación de la ejecución de las mismas.

b) *Autorizado condicionado.* Los impactos residuales o netos, requieren de obras adicionales externas al proyecto y valoradas de acuerdo al capítulo anterior.

c) *Denegado y condicionado a cambios internos en el diseño*. Los impactos netos producidos requieren ajustes de diseño, pues la infraestructura existente no puede absorber el impacto producido por el proyecto.

d) *Denegado y condicionado a cambios internos y externos.* Los impactos netos producidos requieren ajustes del diseño interno para reducir los impactos y/o ampliación de la infraestructura existente, para mitigar adecuadamente el impacto producido por el proyecto de acuerdo al dictamen del estudio.

En los casos de los incisos c) y d) el interesado deberá presentar ajustes a su propuesta en 30 días hábiles para reingresar la solicitud, después de este plazo el expediente será denegado.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Artículo 40. Plazos para Dictaminar. Se establecen los siguientes plazos para que EMPAGUA dictamine:

a) Las revisiones de los estudios de impacto hidráulico, con impactos netos en todos los aspectos menores al 10%, 15 días hábiles.
b) Las revisiones de los estudios de impacto hidráulico, con impactos netos en todos los aspectos mayores al 10%, 25 días hábiles.
c) Las revisiones de impactos hidráulicos sobre cauces naturales, 30 días hábiles.

Artículo 41. Recomendaciones. En los casos c y d del artículo 32, EMPAGUA podrá proveer las recomendaciones y observaciones que crea conveniente, para solucionar la problemática de cada caso en particular. El interesado podrá proponer alternativas para solventar conjuntamente las medidas de mitigación. No obstante, el proyecto no podrá ser aprobado hasta que no estén solventados todos los impactos hidráulicos en el dictamen, debiendo solicitarse y resolverse las ampliaciones del Estudio de Impacto Hidráulico.

Artículo 42. Recurso de Revocatoria
Si el interesado no está de acuerdo con el dictamen de la EMPAGUA, podrá presentar los estudios técnicos que respalden su inconformidad a EMPAGUA, el recurso se eleva ante el Concejo Municipal, con informe circunstanciado, y corresponderá al Concejo Municipal resolver en definitiva si acoge el recurso de revocatoria presentado, o confirma la resolución por la cual se denegó el dictamen.

Artículo 43. Del Cumplimiento y Monitoreo. Es necesario evaluar la efectividad de las medidas de mitigación propuestas, para mejorar los diseños a futuro, así como para verificar la correcta operación de los mismos. Se deberán llevar como mínimo los registros siguientes:

a. Para plantas de tratamiento de aguas residuales, ser realizará como mínimo, un reporte semestral que deberá ser presentado a la Unidad de Control y Monitoreo de Aguas Negras (UCMAN) de EMPAGUA y que debe ser similar al que se prepara para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN, conteniendo como mínimo:
    i. Carátula indicando dirección del inmueble, nombre del representante legal o propietario, finca, folio y libro del inmueble (conforme al Registro General de la Propiedad), indicar el número de Dictamen o Providencia de Autorización del Sistema de Tratamiento emitido por la Unidad de Evaluación de Proyectos de Agua y Alcantarillado de EMPAGUA.
    ii. La calidad de agua en la salida de la planta de tratamiento de aguas servidas, por medio de un laboratorio certificado
    iii. Energía eléctrica consumida en la planta, si requiere, respaldada con recibos o con mediciones del contador
    iv. Registro de caudales medios diarios de la salida de la planta.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

EMPAGUA se reserva el derecho de hacer análisis de calidad de agua en la salida de cualquier sistema o planta de tratamiento de aguas residuales autorizada. También se reserva el derecho de realizar inspecciones a la planta de tratamiento para verificar el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

b. Para tanques de retardo y retención, se presentará el informe anual en el mes de enero a la Unidad de Evaluación de Proyectos de Agua y Alcantarillado de EMPAGUA, con fotografías de dichos tanques de retardo y retención funcionando, así como un registro de hora y día donde se encontraban en operación, incluyendo nivel máximo y mínimo así como las descargas pluviales diarias en la salida de las estructuras o previo a la entrada a los colectores, con el registro de caudales diarios en época de lluvia.

Para casos específicos en el Dictamen, podrán solicitarse otros controles de monitoreo. Estos registros podrán ser solicitados por el departamento, en caso de dudas sobre la operación o funcionamiento de las medidas de mitigación.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

CAPÍTULO VI

Sanciones

Artículo 44. Si los informes solicitados de monitoreo no se presentasen, EMPAGUA lo podrá requerir por escrito. Si después de dos solicitudes escritas por parte de EMPAGUA no se atendiera la solicitud, esta podrá solicitar al Juez de Asuntos Municipales el apercibimiento del propietario(s). Incumplimiento continuado de los reportes y calidades de agua que no cumplen con los límites, EMPAGUA solicitará al MARN y al Ministerio Público las sanciones correspondientes consideradas en la Ley de Medio Ambiente.

Artículo 45. Multas. El Juez de Asuntos Municipales, de acuerdo con lo dispuesto en el presente reglamento y los procedimientos establecidos en el Código Municipal, impondrá las multas que correspondan cuando el interesado no cumpla con las disposiciones de este reglamento.

Independientemente del pago de las multas correspondientes, la Dirección no emitirá la constancia de obra conforme, licencias de uso del suelo y/o dictamen de establecimiento abierto al público, hasta que no hayan sido cumplido y/o modificado aquellos aspectos que dieron razón para imponer la multa.

El Juez de Asuntos Municipales podrá ordenar que se impida físicamente el desfogue de agua de plantas de tratamiento, drenajes sanitarios o pluviales a colectores o cuerpos de agua, que incumplan las normas de este reglamento, hasta que las medidas de mitigación se lleven a cabo y operen correctamente.

Artículo 46. Obligación de Subsanar. Independientemente de las multas correspondientes, la Municipalidad de Guatemala a través de la dirección que corresponda no dará permiso de ocupación, o colocara un sello municipal para cerrar el inmueble, hasta que no hayan sido modificados aquellos aspectos que dieron razón a imponer la multa.

CAPITULO VII
DISPOSICIONES TRANSITORIAS Y FINALES

Artículo 47. Casos no contemplados. Aquellos casos que no estuvieren contemplados en el presente reglamento serán resueltos en definitiva por el Concejo Municipal, previa opinión técnica de la EMPAGUA.

Artículo 48. Vigencia. El presente Reglamento es de observancia general y empezará a regir _____ días después de su publicación en el Diario Oficial de Centro América, órgano oficial del Estado.

Dado en el salón de sesiones _____, el día _____ del _____ del año dos mil _____.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ANEXO IV

PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

En este anexo se presenta todo lo relacionado al documento “Modelo para estimar demanda de servicios públicos urbanos, zonificados, aplicando sistemas de información geográfica” (https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/3328), DOI: 10.24850/j-tyca-15-4-10.

REFERENCIA COMPLETA

Título da publicación: “Modelo para estimar demanda de servicios públicos urbanos, zonificados, aplicando sistemas de información geográfica”

Nombre de las Personas Coautoras

- **Carlos Roberto Cobos, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-9634-9489 Universidad de Santiago de Compostela, España**
- **José Anta Álvarez, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2002-0618 Universidade da Coruña, Centro de Innovación Tecnolóxica en Edificacioìn e Enxeñaría Civil (CITEEC), España**
- **María Teresa Teijeiro, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6179-3348 Proyectos y Planificación, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escola Politécnica Superior de Enxeñaría, Universidade de Santiago de Compostela, España**
- **Manuel Basterrechea. Academia de Ciencias, Guatemala**

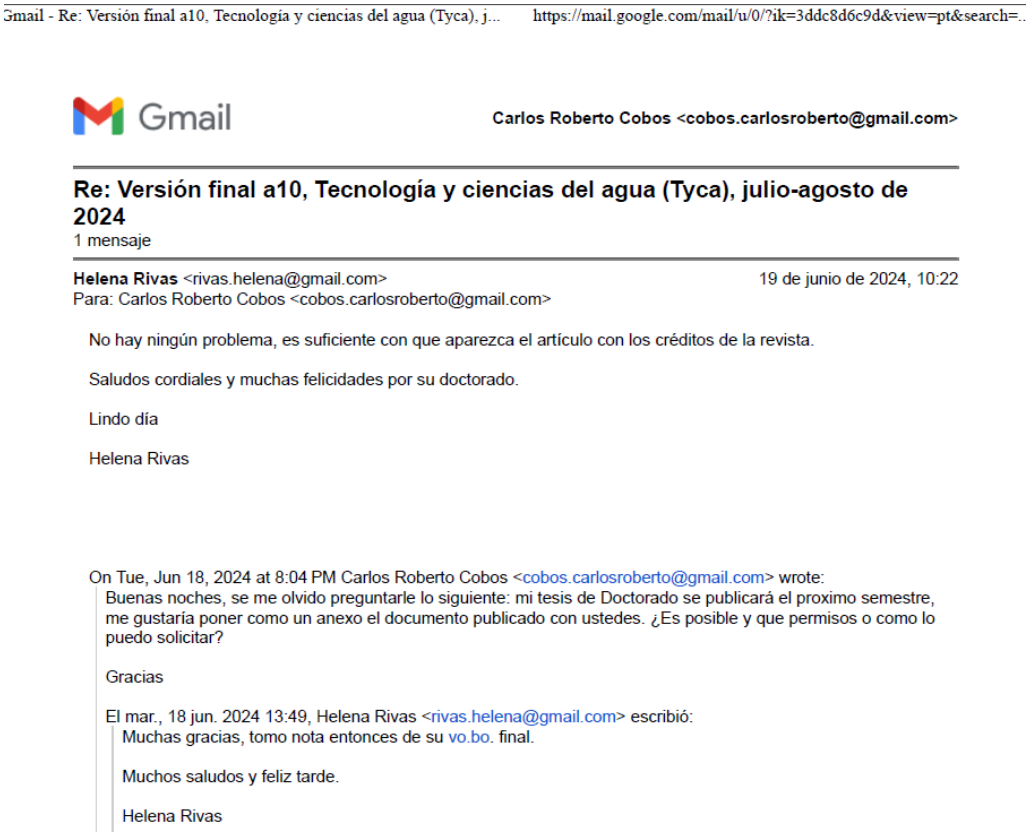
Revista: Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. 15, núm. 4, julio-agosto 2024
Editorial: Instituto Mexicano del Agua (IMTA)
ISSN electrónico **2007-2422**, y **DOI** 10.24850/j-tyca-15-4-10.
Año de publicación: 2024

Indices de calidad

- Nombre de revista/editorial TECNOLOGIA Y CIENCIAS DEL AGUA/INSTITUTO MEXICANO TECHNOLOGIA AGUA
- Factor de impacto (IF) en el año da publicación de la publicación: 0,3 (2024)
- Posición en la categoría (tercil o cuartil en el JCR o índice similar categoria; ingeniería civil, posición; 176/183, Q4
- Otras métricas relevantes Scimago Journal Rank (SJR) 2024 .224 Q4 y H-INDEX 17.

Autorización:

}Se adjunta correo de la revista autorizando publicación y uso del documento en la tesis.



Gmail - Re: Versión final a10, Tecnología y ciencias del agua (Tyca), j... https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=3ddc8d6c9d&view=pt&search=..

Gmail Carlos Roberto Cobos <cobos.carlosroberto@gmail.com>

Re: Versión final a10, Tecnología y ciencias del agua (Tyca), julio-agosto de 2024
1 mensaje

Helena Rivas <rivas.helena@gmail.com> 19 de junio de 2024, 10:22
Para: Carlos Roberto Cobos <cobos.carlosroberto@gmail.com>

No hay ningún problema, es suficiente con que aparezca el artículo con los créditos de la revista.

Saludos cordiales y muchas felicidades por su doctorado.

Lindo día

Helena Rivas

On Tue, Jun 18, 2024 at 8:04 PM Carlos Roberto Cobos <cobos.carlosroberto@gmail.com> wrote:
Buenas noches, se me olvido preguntarle lo siguiente: mi tesis de Doctorado se publicará el proximo semestre, me gustaría poner como un anexo el documento publicado con ustedes. ¿Es posible y que permisos o como lo puedo solicitar?

Gracias

El mar., 18 jun. 2024 13:49, Helena Rivas <rivas.helena@gmail.com> escribió:
Muchas gracias, tomo nota entonces de su vo.bo. final.

Muchos saludos y feliz tarde.

Helena Rivas

Contribución del doctorando en la publicación

Este documento fue elaborado ante la necesidad en la tesis de determinar la demanda del servicio de agua potable de la ciudad de Guatemala, tomado en cuenta que la demanda está constituida, no solo por la población residente sino la población flotante. La población residente se obtiene fácilmente de los censos de población, pero la dinámica de la población flotante es más compleja) por lo que mi colaboración se extiende a prácticamente todos los aspectos de la publicación (según taxonomía CRediT); conceptualización para tener una forma objetiva de establecer la demanda de la población flotante en base al área construida, de acuerdo a su tipo de uso, considerando que el municipio debería proporcionar servicios a todas las áreas construidas dentro de su jurisdicción.

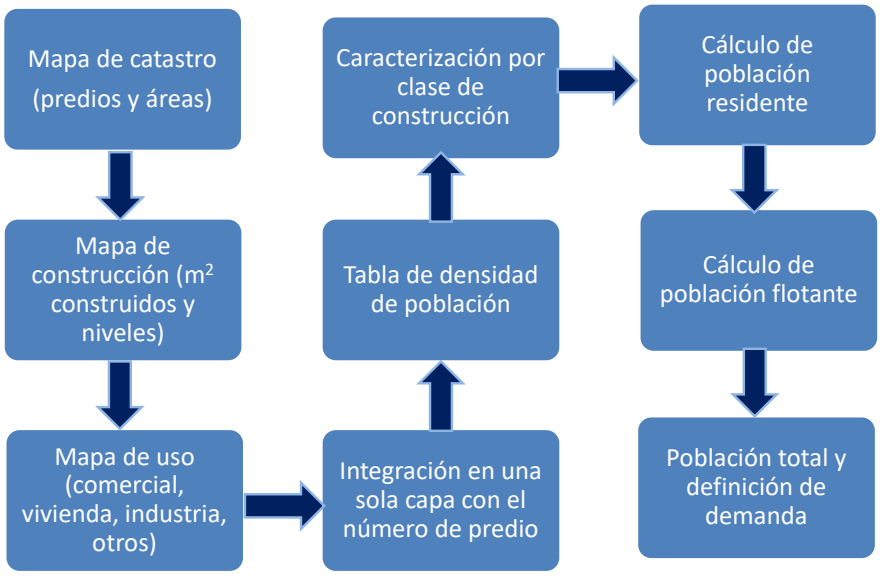
Para la gestión de los datos se utilizó un mapa georeferenciado en digital modificado de la dirección de catastro municipal, de 2017 la información sensible como nombres de propietarios, cedula catastral, y otros datos que pudiesen afectar a los propietarios, fueron eliminados de la base de datos. Adicionalmente se utilizó también un mapa de usos del suelo.

Los datos se analizaron por el autor aplicando algebra de mapas haciendo varias pruebas para determinar precisión, usando una zona con mayor información validada recientemente y datos de las alcaldías zonales para validar datos.

Se utilizaron fondos y tiempo del autor, haciendo entrevistas con personal clave de la municipalidad para validar la información existente en diferentes fuentes.

Se realizaron varios intentos para establecer la mejor forma de integrar los mapas, inicialmente se definieron regiones homogéneas, pero los resultados no coincidían con la información existente, por lo que se adoptó un análisis directo, que implico mayor tiempo de análisis de datos, pero un mejor ajuste a los datos reales.

La metodología se define en la Figura No.26 que forma parte del inciso 5.1.3 Oferta y demanda de la tesis, Se repite la Figura a continuación.



La gestión y coordinación del trabajo estuvo a cargo del autor, consistiendo principalmente en la recopilación de datos, entrevistas, algún apoyo de personal municipal en el procesamiento de datos.

USC DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Se utilizaron dos computadoras de la Dirección de Planificación urbana, y los mapas de catastro y uso del suelo. El software utilizado fue el Sistema de Información Geográfica QGIS de libre acceso utilizando la herramienta de algebra de mapas incorporada.

La supervisión de las actividades fue liderada por el autor principal, con el apoyo de los otros coautores en las direcciones y ajustes necesario tanto de la investigación como del documento.

La validación se realizó en base a las poblaciones del censo y algunos datos específicos de la zona 14 del municipio. Las diferencias se debían principalmente a que en el modelo se considera población en propiedades que pueden estar desocupadas o sin acceso en el momento de recolección de datos, pero que el modelo genera como un servicio que se debe prestar.

La visualización de la mayoría de datos se realizó con el SIG preliminar desarrollado en la tesis, sin embargo, algunos ajustes fueron realizados para cumplir con los requisitos de la revista.

El borrador original fue revisado por todos los coautores y una vez ajustado se envió a la Revista. La Revista Tecnología y Ciencias del Agua revisó el documento, invito a cinco expertos a que evaluaran el documento e hicieran comentarios. Se hicieron los ajustes o se agregaron comentarios para aclarar temas que los revisores consideraron debían ampliarse. Incluso el titulo final fue modificado por la sugerencia de un revisor, al determinar que los alcances del modelo incluían prácticamente todos los servicios, y no solo agua como originalmente se había propuesto.

Una vez incorporados todos los cambios fue aceptado para su publicación.

Indicación de contenidos en los capítulos de la tesis

La información y datos de la publicación se indican en el Capitulo 5 Fase de Pre-diagnóstico, específicamente en el inciso 5.1.3 Oferta y demanda del Inciso 5.1 Prediagnóstico de agua potable. En la tesis se muestra la Figura

N.26 que es parte de la publicación, así como los cuadros No. 8 , 10 y 11 que son directamente generados en la publicación.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Publicación de acceso abierto

Licencia de Derechos de autor 2024 Tecnología y ciencias del agua

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Por Instituto Mexicano de Tecnología del Agua se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Basada en una obra en https://www.revistatyca.org.mx/. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden encontrarse en Política editorial

La investigación desarrolla una metodología para elaborar un Plan maestro de la Gestión Integrada de Aguas Urbanas (GIAU) en grandes ciudades de países con información escasa, instituciones débiles e infraestructura insuficiente, para que pueda ser utilizada en otras ciudades con situaciones similares, y que permita hacer un cambio de paradigma en el manejo de las aguas urbanas. La metodología se basa en aprovechar la herramienta de los Sistemas de Información Geográfica para facilitar el desarrollo y generar la información básica necesaria, indicando el proceso a seguir para encontrar los vacíos que impiden una gestión integral del agua; desarrollando los pasos y metodologías para construir el Plan GIAU con una visión de Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA).