



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS  
MODALIDAD VIRTUAL**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**Sistematización de experiencias de recarga gestionada de acuíferos (MAR) en la  
Región Metropolitana de Guatemala (RMG) como herramienta clave para generar  
políticas de seguridad hídrica**

**ANGELA MARÍA MÉNDEZ MORA**

**TURRIALBA, COSTA RICA**

**2022**

Este trabajo de final de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Examinador de la estudiante, como requisito para optar por el grado de

**MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**FIRMANTES:**



Cornelis Prins, M.A.  
**Coasesor del Trabajo de Graduación**

Héctor Espinoza García, M.Sc.  
**Coasesor del Trabajo de Graduación**

Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.  
**Decano de la Escuela de Posgrado**

Ángela María Méndez Mora  
**Candidata**

## **Agradecimientos**

A Funcagua (Fundación para la conservación del agua de la Región Metropolitana de Guatemala) por permitirme la oportunidad de desarrollar este primer esfuerzo tan crucial y permitir que se aprovechara el proyecto para el desarrollo de este trabajo de manera abierta y colaborativa. Especialmente agradecer a la Dra. María José Iturbide y al Ing. Héctor Espinoza por la confianza depositada en mi persona para realizarlo.

A Gremia (Gremial de Empresas para el Manejo Integral del Agua) por ser un actor impulsor, cuyo aporte económico ha hecho posibles las obras descritas en este trabajo y a su directora la Licda. Maricruz Villatoro por su apertura y espíritu conciliatorio y resolutivo. Igualmente se extiende el agradecimiento a la gestora de proyectos María Beatriz Alonzo, quien ha sido un apoyo crucial para la logística del proyecto y obtener información relevante.

A los ingenieros Jorge García y Joel Mayorga quienes aportaron su conocimiento y experiencia para el desarrollo de las obras y el monitoreo de estas, además de contribuir con sus informes, opiniones y entrevistas en todo el proceso de sistematización.

A la Municipalidad de Guatemala representada por la Arq. María José Avendaño y el Ing. Jhonatan Sicán, por la apertura para trabajar en conjunto y lograr con su apoyo que se hicieran realidad las obras demostrativas en Zona 15 de la Ciudad de Guatemala.

A la Empresa Municipal del Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA), en especial a la Arq. Claudia Muñoz, quien colaboró con la entrevista y participó en las reuniones de seguimiento del proyecto.

A la Municipalidad de San Antonio Aguas Calientes y el señor alcalde Elwin Hernández, así como al equipo de la municipalidad por recibirnos y darnos la oportunidad de recorrer el municipio y conocer de primera mano su experiencia con los pozos secos.

A la Licda. Maricarmen Angiamo de Cáritas Arquidiocesana quien nos abrió las puertas del Hospital Juan Pablo II para conocer los pozos de infiltración de agua de lluvia y permitirnos adaptar tres de ellos para contribuir a generar información sobre este tipo de obras.

Finalmente, a los asesores de este trabajo de graduación Prof. Kees Prins y el Ing. Héctor Espinoza por compartir su conocimiento y brindar su orientación oportuna y valiosos aportes para materializar este esfuerzo en un documento funcional y una hoja de ruta más allá de esta primera fase del proyecto.

# Índice

|  |    |
|--|----|
| 1. Introducción  | 1  |
| 1.1 Antecedentes   | 3  |
| 1.2 Justificación del tema   | 4  |
| 1.3 Importancia  | 5  |
| 1.4 Objetivo general   | 6  |
| 1.5 Objetivos específicos  | 6  |
| 1.6 Alcance geográfico   | 7  |
| 2. Marco referencial   | 9  |
| 2.1 Antesala ¿Qué son los fondos de agua?  | 9  |
| 2.2 Situación del recurso hídrico en Guatemala                                       | 11 |
| 2.2.1 Cantidad   | 11 |
| 2.2.1.1 Aguas superficiales  | 11 |
| 2.2.1.2 Aguas subterráneas   | 11 |
| 2.2.2 Calidad  | 14 |
| 2.2.3 Acceso   | 15 |
| 2.2.4 Situación legal  | 16 |
| 2.4 Región Metropolitana de Guatemala  | 19 |
| 2.4.2 Acuíferos de la RMG  | 19 |
| 2.4.3 Efectos del cambio climático   | 22 |
| 2.3 Recarga Gestionada de Acuíferos (MAR)  | 24 |
| 2.3.1 Beneficios y ventajas de la recarga gestionada de acuíferos                    | 25 |
| 2.3.2 Técnicas de Recarga Gestionada de Acuíferos (MAR)                              | 26 |
| 3. Procedimientos metodológicos  | 27 |
| 3.1 Recopilación de información secundaria y visitas de campo a experiencias locales | 29 |
| 3.2. Sistematización de experiencias   | 29 |
| 3.2.1 Recopilación de información secundaria de la experiencia a sistematizar        | 31 |
| 3.2.2 Línea del tiempo   | 31 |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.3 Grupo focal  | 31 |
| 3.2.4 Intercambios, observación y discusión in situ  | 32 |
| 3.2.5 Entrevista a informantes clave   | 33 |
| 3.2.6 Devolución y validación  | 33 |
| 3.3 Binomios problema solución   | 34 |
| 3.4 Recursos   | 34 |
| 4. Resultados  | 35 |
| 4.1 Estado del arte: Experiencias en MAR ya generadas en otros países de América Latina adaptándolas a la RMG y experiencias locales de Guatemala  | 35 |
| 4.1.1 México   | 36 |
| 4.1.2 Chile  | 38 |
| 4.1.3 Perú   | 39 |
| 4.1.4 Puerto Rico  | 39 |
| 4.1.5 Guatemala: experiencias locales con recarga hídrica  | 40 |
| 4.1.5.1 Municipio de San Antonio Aguas Calientes   | 40 |
| 4.1.5.2 Hospital Juan Pablo II - Cáritas Arquidiocesana  | 42 |
| 4.2 Sistematización de la experiencia obtenida del proyecto piloto de manejo gestionada de la recarga hídrica impulsado en el 2020 por Funcagua y Gremia   | 43 |
| 4.2.1 Línea del tiempo construida de manera participativa  | 44 |
| 4.2.2 Ideas destacadas durante el taller, entrevistas y visitas de campo   | 46 |
| 4.2.2.1 Coyuntura nacional y local (RMG)   | 46 |
| 4.2.2.2 Factores que incidieron en la ejecución y arranque del proyecto  | 47 |
| 4.2.2.3 Problemas y cómo se han superado   | 47 |
| 4.2.2.4 Aspectos interesantes durante la implementación  | 48 |
| 4.2.2.5 Observaciones sobre potencialidades y escalabilidad  | 49 |
| 4.2.2.6 Respuesta a las preguntas críticas   | 50 |
| 4.2.3 Descripción del pilotaje de recarga hídrica en la RMG  | 52 |
| 4.3 Binomios problema-solución Comparación de estrategias para abordar la escasez hídrica o déficit de agua  | 54 |
| 4.4 Guía con lineamientos técnicos de implementación, gestión y monitoreo para incidir en políticas públicas en materia de conservación de agua y futuros proyectos de MAR en zonas urbanas de Guatemala, haciendo énfasis en pozos secos. | 54 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 5.    | Reflexiones finales y hoja de ruta  | 58  |
| 5.1   | Desafíos por resolver   | 61  |
| 5.1.1 | Cultura del agua y normatividad   | 61  |
| 5.1.2 | Financiamiento  | 63  |
| 5.1.3 | Ciencia para respaldar decisiones   | 64  |
| 5.1.4 | Percepción de la ciudadanía sobre las técnicas MAR  | 64  |
| 5.1.5 | Conflictividad y gobernanza   | 65  |
| 6.    | Literatura citada   | 66  |
| 7.    | Apéndices   | 71  |
| 7.1   | Ficha de registro para visitas de campo   | 71  |
| 7.2   | Fotografías de la visita de campo a San Antonio Aguas Calientes   | 72  |
| 7.3   | Fotografías de la visita de campo a Hospital Juan Pablo II - Cáritas Arquidiocesana   | 73  |
| 7.4   | Diseño de los tableros de trabajo en la aplicación web “Miro” para taller participativo (virtual): actores impulsores Gremia y Funcagua | 75  |
| 7.5   | Fotografías del taller tipo “focus group”   | 76  |
| 7.6   | Guion para entrevista con informante clave  | 78  |
| 7.7   | Fotografías de visitas de campo a pozos de recarga hídrica (octubre 2021 y marzo 2022)  | 80  |
| 7.8   | Fotografías de pozo_VN-01 y pozo_VN-02  | 83  |
| 7.9   | Fotografías de pozo_z3  | 85  |
| 7.10  | Fotografías de pozo_z15   | 88  |
| 7.11  | Fotografías de pozo_VH-1 y pozo VH-2  | 90  |
| 7.12  | Fotografías de Jardin_Iluvia_VH-1 y Jardin_Iluvia_VH-2  | 92  |
| 7.13  | Fotografías de pozo_MIX-01 al pozo_MIX-03   | 94  |
| 7.14  | Cronograma  | 98  |
| 7.15  | Hoja de ruta para seguir impulsando MAR en Guatemala  | 100 |

## Índice de cuadros

| <b>Nombre</b>   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| Cuadro 2.1 Acuíferos de la Región Metropolitana de Guatemala  | 19            |
| Cuadro 2.2 Acuíferos superior e inferior en la ciudad capital de Guatemala  | 20            |
| Cuadro 2.3 Ventajas y beneficios de los proyectos de recarga gestionada de acuíferos.   | 25            |
| Cuadro 3.1 Metodología utilizada para cada objetivo específico.   | 27            |
| Cuadro 3.2 Preguntas clave para la sistematización de experiencias desarrollada en este trabajo.                                      | 30            |
| Cuadro 3.3 Preguntas críticas para la interpretación del proceso en el grupo focal  | 32            |
| Cuadro 4.1 Proyectos de recarga gestionada de acuíferos en México   | 37            |
| Cuadro 4.2 Inventario de obras del pilotaje de recarga hídrica desarrollado entre Gremia y Funcagua y sus principales características | 52            |

## Índice de figuras

| <b>Nombre</b>   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| Figura 1.1 Cuencas y municipios priorizados para la Funcagua en la RMG.   | 8             |
| Figura 2.1. Proceso de aprobación de una ley en Guatemala   | 18            |
| Figura 2.2. Índice de aridez en las microcuencas de la Región Metropolitana de Guatemala (línea base y escenarios 2030, 2050 y 2070)                | 23            |
| Figura 3.1 Figura 3.1 Cinco tiempos de la sistematización de experiencias.  | 30            |
| Figura 4.1 Principal objetivo de los casos de MAR en América Latina.  | 35            |
| Figura 4.2. Línea del tiempo del proyecto (parte 1)   | 43            |
| Figura 4.3. Línea del tiempo del proyecto (parte 2)   | 44            |
| Figura 4.4. Línea del tiempo del proyecto (parte 3)   | 45            |
| Figura 4.5 Ubicaciones de los cinco sitios con obras de recarga hídrica en los municipios de la RMG.  | 54            |
| Figura 4.6 Contenidos de la Guía técnica para la recarga gestionada de acuíferos mediante pozos secos   | 56            |
| Figura 4.7 Pasos para la implementación de proyectos de MAR abordados en Guía técnica para la recarga gestionada de acuíferos mediante pozos secos. | 57            |



## Lista de siglas y acrónimos

|           |   |
|-----------|---|
| CeReGAS   | Centro Regional para la Gestión de las Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe |
| Empagua   | Empresa Municipal de Agua de Guatemala  |
| Funcagua  | Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala         |
| Gremia    | Gremial de Empresas para el Manejo Integral del Agua                                    |
| Iarna     | Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad               |
| INE       | Instituto Nacional de Estadística   |
| Insivumeh | Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología                        |
| MAR       | Managed Aquifer Recharge  |
| MARN      | Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales   |
| MGCS      | Mancomunidad Gran Ciudad del Sur  |
| OCDE      | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos                             |
| ONU       | Organización de las Naciones Unidas   |
| RMG       | Región Metropolitana de Guatemala   |
| Segeplán  | Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia                            |
| SIG       | Sistemas de Información Geográfica  |
| TNC       | The Nature Conservancy  |
| Unesco    | Organización de las Naciones Unidas para la educación, la ciencia y la cultura          |
| URL       | Universidad Rafael Landívar   |
| USAC      | Universidad de San Carlos de Guatemala  |
| UVG       | Universidad del Valle de Guatemala  |

## Resumen

La Región Metropolitana de Guatemala (RMG) presenta señales de inseguridad hídrica cada vez más evidentes; visibilizados en varios estudios publicados por Funcagua (Fondo de agua de la RMG) desde 2019 donde se expone el descenso acelerado de niveles piezométricos en pozos de abastecimiento municipal, algo significativo si se considera que hay una altísima dependencia del recurso hídrico subterráneo en esta zona del país.

Como parte de sus objetivos Funcagua busca fomentar la recarga hídrica no solo mediante programas de recuperación y conservación de áreas boscosas, sino también con técnicas de recarga intencionada mediante obras para tal fin. MAR se posicionó por lo tanto como una opción atractiva que requería ser estudiada y validada con experiencias locales por la organización.

En este contexto, Funcagua en alianza con Gremia (Gremial de empresas para el manejo integral del agua) impulsaron el proyecto piloto de MAR en la región metropolitana de Guatemala que inició en 2021 con nueve obras experimentales cuyo monitoreo permanece y continuará en una segunda fase del proyecto.

Este trabajo sistematizó el origen de la idea, el papel de los actores involucrados que impulsaron el proyecto y aquellos que fueron sumándose en el camino. El ejercicio se desarrolló recopilando las ideas, impresiones y opiniones en dos visitas de campo a obras del proyecto piloto con distintos participantes, un grupo focal de actores impulsores, la construcción de una línea del tiempo, entrevistas con informantes clave y la recopilación de datos sobre dos experiencias empíricas no documentadas que se están dando en el país desde hace varias décadas.

Los resultados más significativos fueron: a) una hoja de ruta para dar continuidad al proyecto piloto que deja claros cuáles son los próximos pasos para escalar el tema, y que fue construida utilizando los insumos del ejercicio reflexivo y analítico de la sistematización y b) una guía técnica para orientar la implementación de obras MAR del tipo pozos secos basada en el conocimiento adquirido durante el pilotaje.

Estos productos permitirán que el proceso continúe y contribuya a escalar el tema de MAR como alternativa para los municipios de la RMG transformándola paulatinamente en una iniciativa validada por diversos sectores con carácter de normatividad y política pública que contribuya a la seguridad hídrica de la zona más poblada y económicamente representativa del país.

Palabras clave: fondo de agua, MAR, recarga gestionada de acuíferos, sistematización de experiencias, seguridad hídrica.

## **Abstract**

The Metropolitan Region of Guatemala (RMG) presents increasingly evident signs of water insecurity; this situation has been presented by Funcagua (Water fund for RMG) in several studies published since 2019. These reports have shown the accelerated descent in piezometric levels in municipal supply wells. Meaningful information, taking into consideration the very high dependence on groundwater resources in this area of the country.

As part of its objectives, Funcagua seeks to promote water recharge not only through programs for the recovery and conservation of forested areas, but also with intentional recharge techniques through works for that purpose. MAR was therefore positioned as an attractive option that needed to be studied and validated with local experiences by the organization.

In this context, Funcagua in alliance with Gremia (trade union for integrated water management) promoted the MAR pilot project in the RMG that began in 2021 with nine experimental works whose monitoring remains and will continue in a second phase of the project.

This work made a systematization about the origin of the idea, the role of the actors involved who promoted the project and those who joined along the way. The exercise was developed with ideas, impressions and opinions collected during two field visits to pilot project sites with different participants, a focus group of driving actors, the construction of a timeline, interviews with key informants and the collection of data about two undocumented empirical experiences that have been taking place in the country for several decades.

The most significant results were: a) a roadmap to give continuity to the pilot project that makes clear next steps to escalate MAR, and that was built using the inputs of the reflections and analytical exercise of the systematization; and b) a technical guide to promote the implementation of MAR works using the dry wells technique, based on the knowledge acquired during pilot experience.

These products will allow the process to continue and contribute to escalating MAR as an alternative for the municipalities of the RMG, gradually transforming it into an initiative validated by diversity of actors evolving to a regulatory and public policy figure that contributes to water security in the most populated and economically representative area of the country.

Key words: water fund, MAR, managed aquifer recharge, systematization of experiences, water security.

# 1. Introducción

La Región Metropolitana de Guatemala (RMG) está conformada por 12 municipios del departamento de Guatemala<sup>1</sup>, que reúnen alrededor del 20% de la población del país y abarcan 1379 km<sup>2</sup>, siendo la región más importante en términos económicos, ya que en promedio albergó entre 2001 y 2010, el 47.67% del PIB a nivel nacional (Funcagua, 2018).

La Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala (Funcagua) tiene como misión:

«Fortalecer la gobernanza del agua con alianzas público-privadas, utilizando información basada en ciencia para la adecuada toma de decisiones, que promueva la conservación del agua en la RMG» (Lloret, et.al., 2020:28).

Desde su creación, la Fundación ha publicado informes técnicos que hacen práctica esta misión y exponen, con información basada en ciencia, la grave situación de inseguridad hídrica que se vive en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG).

Estos documentos han sido elaborados con datos obtenidos tanto de estudios realizados en años anteriores por diversas instancias como recopilados en campo por el programa de monitoreo de pozos municipales que la Funcagua ejecuta desde 2018.

El programa de monitoreo de pozos se realiza con el apoyo de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS) en seis municipios del departamento de Guatemala (Mixco, San Miguel Petapa, Villa Canales, Amatitlán, Villa Nueva y Santa Catarina Pinula). Para 2021 se contaba con datos de niveles piezométricos recopilados entre el 2018 y el 2021, de más de 160 pozos distribuidos en los seis municipios de la MGCS; demostrando alarmantes descensos de decenas de metros por año en los niveles de los acuíferos estudiados (Funcagua, 2020).

En la RMG, cada año son más evidentes los problemas en el abastecimiento continuo de agua para sus diversos usos, desatando crisis y conflictos hídricos que deterioran la calidad de vida de los habitantes. De hecho, se determinó que en la RMG se extrae 3.59 veces más agua de la que se recarga (Funcagua, 2018). Esto si se considera una recarga de agua disponible de 139.8 millones de metros cúbicos con una explotación promedio del acuífero de 502.3 millones de metros cúbicos (Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna) y *The Nature Conservancy* (TNC), 2012, citados por Funcagua, 2018).

---

<sup>1</sup> Esta delimitación se ha utilizado para definir el área de acción de la FUNCAGUA, que abarca 12 de los 17 municipios del departamento de Guatemala: Amatitlán, Chinautla, Fraijanes, Guatemala, Mixco, San José Pinula, San Juan Sacatepéquez, San Pedro Sacatepéquez, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva. Teniendo asociada a su vez, 16 microcuencas.

El documento denominado Plan de Conservación del Agua, fue desarrollado por la Funcagua en el 2018, como una herramienta clave para orientar sus acciones en la región. Dicho documento, cita entre sus objetivos “mejorar la recarga potencial de los acuíferos en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG)”.

Este objetivo se ha materializado por la Fundación al propiciar no solo la recarga natural mediante acciones de reforestación de zonas altas en microcuencas prioritarias para la producción de agua, sino también al estudiar los mecanismos de recarga gestionada para aprender sobre su uso, incentivar su implementación local y promover su posterior adopción principalmente a nivel municipal.

El presente trabajo responde al interés de la Funcagua por promover la recarga gestionada de acuíferos (MAR) como una práctica que contribuye directamente con la recarga del nivel freático en los municipios de la Región Metropolitana de Guatemala (RMG), municipios que, de acuerdo con el programa de monitoreo de pozos, presentan descensos constantes de sus niveles de agua subterránea.

El principal objetivo de este estudio, es generar lineamientos técnicos para el adecuado diseño e implementación de obras de recarga gestionada de acuíferos (MAR) en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG), para que puedan constituirse como herramientas clave en la formulación de políticas públicas, que contribuyan a la seguridad hídrica tanto a nivel de la Región Metropolitana de Guatemala (RMG), como a nivel nacional.

El documento se encuentra dividido en cuatro capítulos principales: Capítulo 2: Marco referencial sobre los fondos de agua, la situación del recurso hídrico en Guatemala y la conceptualización de MAR y sus técnicas. Capítulo 3: Procedimientos metodológicos con especial énfasis en la sistematización de experiencias. Capítulo 4: Resultados según cada objetivo específico. Capítulo 5: Reflexiones finales sobre el proceso de sistematización.

## **1.1 Antecedentes**

El crecimiento poblacional, la contaminación del agua en fuentes superficiales y subterráneas y los cambios en la disponibilidad del recurso hídrico asociados a la variabilidad climática ejercen una enorme presión en el uso de este recurso natural, haciendo que las poblaciones sean cada vez más vulnerables a la inseguridad hídrica en el corto y mediano plazo, ya sea de forma estacional o permanente.

Zheng et. al. (2021) afirman que los sistemas de aguas subterráneas a nivel mundial abastecen un 30% las necesidades de agua de los hogares, así como el 40% del riego; sin embargo, el 25% del uso de estas fuentes subterráneas es insostenible y su uso crece al ritmo de un 5% anualmente. Los autores destacan la clara necesidad de identificar soluciones innovadoras para abordar estas situaciones, combinándose con la seguridad hídrica y la resiliencia climática.

En la RMG se depende en más de un 60% del abastecimiento de aguas subterráneas y se estima que existen más de 500 pozos en algunas microcuencas dentro de este territorio, como las microcuencas Villalobos y Las Vacas (Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna), 2012, citado por Funcagua 2018).

El manejo gestionado de la recarga de acuíferos (MAR por sus siglas en inglés de Managed Aquifer Recharge) es una técnica donde intencionalmente se busca aumentar la disponibilidad de agua, volviéndose además una oportunidad para mejorar su calidad. Sin embargo, la disponibilidad actualmente existe un vacío de experiencias en proyectos MAR en Guatemala que aborden todo su ciclo de elaboración y sus posteriores resultados, facilitando así comprender el impacto de la recarga artificial en la maximización del almacenamiento de agua y, en consecuencia, extender su aceptación y promoción como caso de éxito para la gestión del agua en el país, con potencial para reducir problemas de abastecimiento y sobreexplotación de acuíferos.

En una revisión realizada por Figueredo (2019), de 32 artículos y tesis sobre recarga artificial de acuíferos realizados en el período 2000-2019, se reportó en 2015 únicamente una tesis de licenciatura desarrollada en Guatemala, enfocada en la identificación de sitios de recarga hídrica en la microcuenca del río Negro.

Por otra parte, Bonilla y Stefan en Escolero, Gutiérrez y Mendoza (2017), reportaron para América Latina, 139 casos de MAR (MAR por sus siglas en inglés de Managed Aquifer Recharge), de los cuales el 65% se ubicaron en Brasil. El resto distribuido entre México, países de América del Sur y en América Central y Caribe se encontraron proyectos únicamente en Costa Rica.

MAR se emplea como una herramienta que fortalece la gestión de los recursos hídricos, pues en los diversos casos de éxito documentados a nivel internacional; se denota como a partir de una problemática de escasez o sobreexplotación se fortalecen de una u otra forma la cooperación interinstitucional, se construyen nuevos procesos de interacción entre

actores, surgen nuevas ideas de gobernanza y nuevas relaciones. De manera que, la técnica no solo mitiga una problemática en torno a la cantidad del recurso; sino además contribuye en estos procesos sociales.

## **1.2 Justificación del tema**

Al respecto del uso de MAR Fernández-Escalante y San Sebastián (en Escolero et al. 2017:913) señalan lo siguiente:

«En estos tiempos en los que la escasez de recursos hídricos se ha convertido en un tema de interés general, la recarga artificial o técnica MAR se ha convertido en una alternativa sólida, seria, barata y segura para, combinada con las técnicas de gestión hídrica adicionales, encarar de manera frontal y solucionar problemas recurrentes relacionados con la escasez de agua y los efectos adversos del cambio climático.

No es necesario ser un científico para desarrollar un dispositivo de recarga gestionada, si bien hace falta unos conocimientos básicos de los métodos más apropiados, la tendencia es a sistemas pasivos y permanentes y actualizar la sabiduría heredada de nuestros antepasados.»

Funcagua (2018:91) señala que:

«aunque la RMG cuenta con un aporte de precipitación abundante para recarga hídrica ideal, en términos generales los acuíferos no se recargan localmente, sino en zonas externas, y las pocas zonas de captación de agua, no reúnen condiciones para la infiltración; la mayor parte de la RMG cuenta con un uso de suelo predominantemente urbano (poco permeable a impermeable), donde la cobertura forestal es limitada y las zonas de recarga disponibles son cada vez más escasas; por ende no existe recarga local para los acuíferos».

Dada la información presentada, se reconoce la importancia de estudiar la recarga gestionada de acuíferos en Guatemala, como una alternativa para recuperar las fuentes de agua subterránea, práctica que además pueda ser incentivada a nivel municipal y en el sector privado. Para ello es necesario documentar, desde un punto de vista práctico, casos reales de obras de recarga, como las que se impulsan en el proyecto de pilotaje desarrollado por Funcagua y Gremia concebido en 2020 y desarrollado desde entonces, a la fecha.

Este trabajo será la primera recopilación de un proyecto de recarga gestionada en Guatemala, permitiendo registrar todo el proceso de aprendizaje desde su origen hasta su desarrollo, y posteriores aprendizajes, logrando que todo este conocimiento quede debidamente registrado y ordenado para referencias futuras en proyectos similares, no solo a nivel local sino también como aporte regional.

En el proceso de interacción con otros actores alrededor del tema de manejo gestionado de recarga de acuíferos se espera conocer si existen otras experiencias en el país y ante la

ausencia de su registro o documentación, poder describirlas y hacerlas parte de esta recopilación y sistematización.

Con el presente trabajo se aportará conocimiento, basado en la práctica, sobre una técnica que permite trabajar directamente el problema de sobreexplotación de acuíferos y de manera indirecta, mitigar, el desabastecimiento y potenciales conflictos por el uso del agua. Además, permitirá analizar argumentos a favor y en contra de su aceptación y reducir mitos sobre su implementación.

### **1.3 Importancia**

La información generada en este proyecto beneficiará a diferentes partes de manera directa e indirecta.

Directamente permitirá que la Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala (Funcagua) y la Gremial de Empresas para el Manejo Integral del Agua (Gremia) se consoliden como referentes en el tema de recarga gestionada de acuíferos, abriendo las puertas al desarrollo de otros proyectos colaborativos de este tipo y permitiendo que el conocimiento adquirido sea utilizado al servicio de diferentes sectores, tanto público como privado.

El acompañamiento a instituciones municipales en la implementación de estos proyectos de recarga beneficiará directamente al gobierno local involucrado con el conocimiento que le permitirá adaptar las ideas de recarga en otros sitios, con modificaciones *ad hoc* y diversidad de aplicaciones.

La creación de una guía técnica sobre el tema ampliará el rango de incidencia para que estos proyectos sean implementados más allá de la región metropolitana, no solo a nivel municipal sino también a nivel comunitario.

De manera indirecta, el impulso del tema y su posicionamiento, tanto a nivel municipal como en el sector privado, permitirá que los beneficiados en el mediano y largo plazo sean los habitantes de la región, quienes dependen del abastecimiento de agua subterránea, pues se impulsa una técnica capaz de mitigar una de las causas de la inseguridad hídrica en la zona.



## **1.4 Objetivo general**

Generar lineamientos técnicos para el adecuado diseño e implementación de obras de recarga gestionada de acuíferos (MAR) en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG) y más allá, en el futuro, para que puedan constituirse como herramientas clave en la formulación de políticas públicas, que contribuyan a la seguridad hídrica en dicha región y en el país.

## **1.5 Objetivos específicos**

1. Aplicar experiencias en MAR ya generadas en otros países de América Latina adaptándolas a la RMG.
2. Identificar, mediante la sistematización de la experiencia, las etapas de implementación, hallazgos, lecciones aprendidas y oportunidades de mejora de obras de recarga gestionada de acuíferos (MAR) en la Región Metropolitana de Guatemala.
3. Definir el aporte específico, ventajas comparativas y valor agregado de la recarga gestionada de acuíferos, a la luz de otras estrategias existentes para abordar el creciente déficit de agua en la RMG y otros territorios del país.
4. Elaborar una guía con lineamientos técnicos, de implementación, gestión y monitoreo para incidir en políticas públicas en materia de conservación de agua y futuros proyectos de MAR en zonas urbanas de Guatemala.

## **1.6 Alcance geográfico**

El proyecto piloto de MAR sistematizado en este trabajo se desarrolla en la Región Metropolitana de Guatemala.

Los límites de la RMG fueron propuestos en 2013 por Iarna y TNC combinando una delimitación administrativa a nivel municipal y criterios hidrológicos a nivel de subcuencas (Funcagua, et. al., 2022).

Esta delimitación se ha utilizado para definir el área de acción de la Funcagua que abarca 16 microcuencas dentro de 12 de los municipios del departamento de Guatemala. Los 12 municipios son: Amatitlán, Chinautla, Fraijanes, Guatemala, Mixco, San Miguel Petapa, San José Pinula, San Juan Sacatepéquez, San Pedro Sacatepéquez, Santa Catarina Pinula, Villa Nueva y Villa Canales. Las 16 microcuencas son: Aguacapa, Amatitlán, El Cangrejal, El Zapote, La Cuya, Las Cañas, Las Flores, Las Vacas, Lo de Diéguez, Los Ocotes, Michatoya, Paxot, Rustrián, Sactzi, Teocinte-Las Cañas y Villalobos (Funcagua, et. al., 2022).

Dependiendo del enfoque que se desee dar a un proyecto o investigación Funcagua puede usar la división por municipios, por mancomunidad (Mancomunidad Gran Ciudad del Sur) o por microcuencas, en otros casos se trabaja a nivel de la RMG en general. Las obras pilotaje de MAR reportadas en este proyecto se ubicaron según la disposición de colaborar de los propietarios de los terrenos, por lo cual no se usó un criterio administrativo o de microcuenca, sino enfocado en toda la RMG.

La figura 1.1 representa la RMG en división administrativa (municipios) e hidrológica (microcuencas) con respecto al departamento de Guatemala.

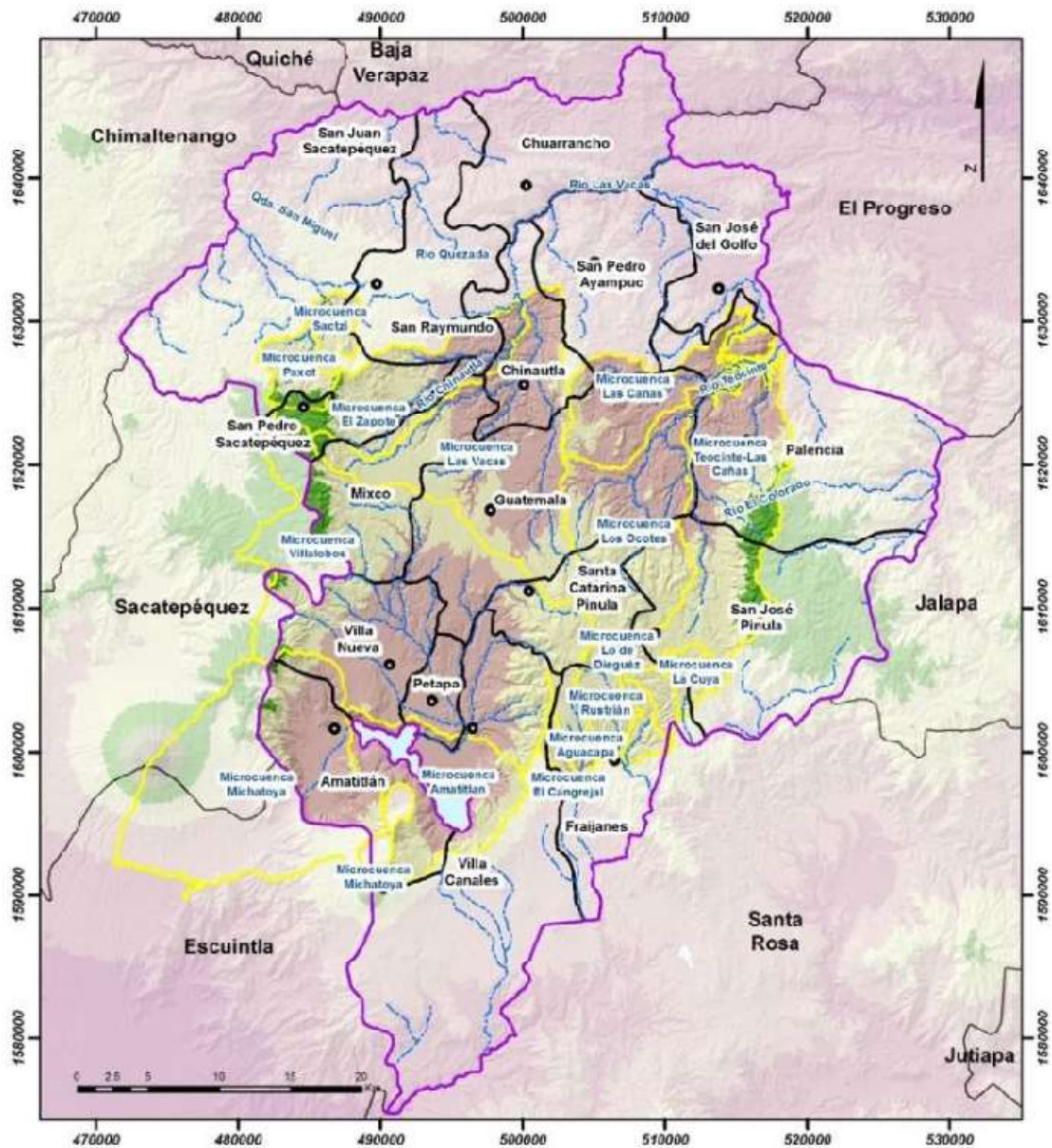


Figura 1.1 Cuencas y municipios priorizados para la Funcagua en la RMG.  
Fuente: tomado de Funcagua, 2018, p.17.

## 2. Marco referencial

### 2.1 Antesala ¿Qué son los fondos de agua?

Los Fondos de Agua surgieron como una respuesta local al reto de la seguridad hídrica desde una visión principalmente enfocada en los aspectos de conservación de las cuencas. Son organizaciones que contribuyen a la mejor gobernanza del recurso hídrico: una vez identificadas las partes interesadas clave para la buena gestión del agua de una cuenca, el Fondo de Agua se acerca y genera las condiciones de diálogo necesarias, algunas veces, siendo el puente entre los distintos sectores. El Fondo de Agua ofrece información científica para la identificación y priorización de los retos a resolver, de manera que la toma de decisiones esté basada en ciencia y en donde se incorporen las distintas visiones y soluciones posibles para contribuir de la mejor forma a la seguridad hídrica de las ciudades (Fondos de Agua, 2021).

El primer fondo de agua se constituyó en los humedales altoandinos para paliar la problemática del deterioro ambiental y especies amenazadas en este tipo de ecosistema. Adicionalmente, la zona es fuente de agua indispensable para la ciudad de Quito, Ecuador. Esta motivación dio lugar a que en el año 2000 *The Nature Conservancy* (TNC) y la Empresa Municipal de Agua Potable de la Ciudad de Quito, Ecuador (EMAPS) crearan el Fondo para la Protección del Agua (FONAG) de Ecuador. Otras ciudades como Río de Janeiro y Espíritu Santo, en Brasil; Bogotá, en Colombia y Paute y Tunguragua, en Ecuador se inspiraron para también adoptar este modelo (Fondos de Agua, 2021).

En la actualidad, son 26 los Fondos de Agua en América Latina y el Caribe, presentes en 9 países, cuya misión es aportar múltiples soluciones a los retos de seguridad hídrica. La definición y el ámbito de acciones de los Fondos de Agua en la región se ha ido transformando y ampliando para poder contribuir de una manera más amplia a garantizar el abastecimiento de agua en sus respectivas ciudades adaptándose a «(...) los retos y características particulares de cada lugar implementando diversas soluciones basadas en la naturaleza y el trabajo colectivo» (Fondos de Agua, 2021:4).

De manera general, los Fondos de Agua contribuyen al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas; a continuación, se presenta un pequeño resumen de su contribución con 8 ODS (Fondos de Agua, 2021):

- ODS 4 (Educación de calidad): Muchos Fondos de Agua crean programas educativos y de sensibilización para crear una cultura del agua.
- ODS 6 (Agua limpia y saneamiento): Los Fondos de Agua son organizaciones que contribuyen a la seguridad hídrica y al manejo sustentable de la cuenca a través de soluciones basadas en la naturaleza para que las ciudades, las personas y las industrias puedan coexistir e impactarse positivamente.

- ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles): Los Fondos de Agua contribuyen a la seguridad hídrica de las ciudades, identifican los problemas y proponen soluciones para tener ciudades más habitables, saludables y con mayor cultura del agua.
- ODS 12 (producción y consumo responsables): Los Fondos de Agua favorecen la adopción de mejores prácticas sostenibles en la agricultura y ganadería y promueven estrategias de reabastecimiento y reúso de agua de las empresas y la optimización del uso en entornos urbanos, favoreciendo la producción y consumo sostenibles.
- ODS 13 (Acción por el clima): Los Fondos de Agua ayudan a la mitigación y adaptación de comunidades rurales y urbanas ante efectos del cambio climático a través de soluciones probadas científicamente.
- ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres): Los Fondos de Agua utilizan el conocimiento científico para identificar las mejores estrategias de intervención para la conservación y restauración de los ecosistemas y su biodiversidad como parte del manejo integral de cuencas.
- ODS 16 (Paz, justicia e instituciones sólidas): Los Fondos de Agua fortalecen los esquemas de gobernanza del agua contribuyendo a evitar conflictos en el futuro por la distribución y disponibilidad del agua.
- ODS 17 (Alianzas para lograr los objetivos): Los Fondos de Agua vinculan a distintos sectores para lograr una visión conjunta y accionable de Seguridad Hídrica. Además, recaudan y unen recursos (humanos, financieros y de cooperación) para la implementación de proyectos.

En Guatemala, el único Fondo de Agua existente -Fondo de Agua de la Región Metropolitana de Guatemala- fue legalmente constituido en el año 2018; sin embargo, su visualización se venía impulsando desde 2011 cuando surge inicialmente la figura de los fondos de agua en Latinoamérica con la Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua (Funcagua, 2017).

Este fondo contenido en la figura de una fundación resume su accionar en tres programas (Lloret, et.al., 2020):

- 1) gobernanza y articulación para la gestión integral del agua,
- 2) generación de información hídrica para la toma de decisiones, y
- 3) comunicación y capacitación ambiental del agua.

Enmarcados en estos programas Funcagua diseña proyectos de reforestación y protección de manantiales en zonas altas de las cuencas de interés de la Región Metropolitana del país involucrando asociaciones comunitarias, propietarios de terrenos, empresas privadas y ciudadanos; diseña intervenciones piloto con academia,

municipalidades y la empresa municipal del agua (articulación); realiza monitoreos sistemáticos de los niveles de aguas subterráneas en los pozos municipales y participa en la mesa técnica de agua y saneamiento de una de las mancomunidades de mayor relevancia en el territorio, la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur; expone a cada municipalidad los resultados de los monitoreos de sus pozos (información científica) y difunde el tema del recurso hídrico a nivel local y nacional mediante seminarios, conferencias, cursos y capacitaciones dirigidos a públicos de todas las edades fomentando la cultura del agua (comunicación y capacitación).

## **2.2 Situación del recurso hídrico en Guatemala**

### **2.2.1 Cantidad**

#### **2.2.1.1 Aguas superficiales**

Guatemala tiene una buena disponibilidad hídrica en términos de precipitación con una media anual aproximadamente de 2000 mm, con variaciones que van desde 700 mm en las regiones secas del oriente, hasta 5000 mm en la zona norte y occidente (Arteaga, 1994 citado por Iarna, 2005).

La precipitación se concentra en cuatro meses (de junio a septiembre) en las zonas más secas que acumulan hasta seis meses sin lluvias, pero en las regiones húmedas tiene una distribución anual más uniforme (Iarna, 2005).

Para 2011 se afirmaba que «Guatemala tiene una disponibilidad de más de 97 mil millones de metros cúbicos anuales de agua, cantidad siete veces mayor al límite de riesgo hídrico establecido por estándares internacionales al relacionarla con su población» (Colom y Morales, 2011:4).

Insumeh (1976 y 1992, citado por Iarna, 2005) reporta un escurrimiento superficial entre 1760 y 3190 m<sup>3</sup>/s (55.6 y 100.6 miles de millones de metros cúbicos por año).

En el territorio, debido a las características montañosas se forman tres vertientes para las aguas superficiales. Un 7.5% escurren hacia México, 7% hacia El Salvador, 6% escurren hacia Belice y un 0.5% hacia Honduras. De ahí que el 55% del país posea cuencas transfronterizas (Iarna, 2005).

#### **2.2.1.2 Aguas subterráneas**

El potencial de agua subterránea se estima en 33 699 millones de m<sup>3</sup> (Iarna, 2005). Se reporta un mayor rendimiento en los acuíferos aluviales de la costa del Pacífico, pero debido a la complejidad geológica del país las variaciones en la productividad de pozos en sitios relativamente cercanos pueden ser sustanciales (desde 30 GPM hasta 2000 GPM). En algunos sectores del norte de Ciudad de Guatemala se reportan variaciones de 900 GPM a 160 GPM en una distancia de 800 m entre los pozos, lo cual obedece a fuertes cambios

estructurales y litológicos (Asociación para el Manejo Sostenible de los Recursos Kársticos y Espeleológicos, Centro Universitario del Norte Carrera de Geología y Cordillera, 2010).

El estudio de aguas subterráneas del valle de la Ciudad de Guatemala publicado en 1978 indica que hasta el año 1977 el valle registraba un total de 357 pozos mecánicos, 213 pozos en acuífero sur y 143 pozos en el acuífero norte, delimitados por sus características geológicas. (Insivumeh et.al., 1978). Estos acuíferos se detallan en la sección 2.4.2.

En 2012 se realizó el estudio *Evaluación del potencial de aguas subterráneas de Guatemala en escala 1:250 000) como apoyo al desarrollo del riego para la producción agrícola en comunidades de pequeños y medianos productores*. En este reportaba que el departamento que contaba con más información de pozos de agua era Chimaltenango con 12 pozos, seguido de Totonicapán, Sololá y San Marcos con datos de 5 pozos de agua. Otros departamentos del país como Alta Verapaz, Santa Rosa y El Progreso no contaban con datos de pozos de agua para la elaboración de los modelos de potencial de agua subterránea (Asociación para el Manejo Sostenible de los Recursos Kársticos y Espeleológicos, Centro Universitario del Norte Carrera de Geología y Cordillera, 2010).

Alrededor de un 57% del agua abastecida a la Ciudad de Guatemala proviene de fuentes subterráneas, compuesta en un 33% por la compra de agua en bloque y un 24% de pozos propiedad de Empagua (Funcagua, 2022) (Paz, 2017).

En el año 2000 en el Valle de Guatemala se reportaban rendimientos de algunos pozos entre 3962 y 7925 GPM para el sector de Ojo de Agua en Villa Nueva, que es una planta de abastecimiento de agua subterránea de Empagua. La zona de menor rendimiento se identificó al norte de Ciudad Guatemala con caudales entre 30 y 300 gpm. Para el año 1995 EMPAGUA administraba 121 pozos (Spillman et.al., 2000). En 2019 se reportaba la necesidad de construcción de 13 pozos nuevos para abastecer a las familias que viven en áreas altas de la ciudad o alejadas de las plantas de agua, pasando así de una producción de 120 millones de metros cúbicos a una de 130 millones de metros cúbicos (Funcagua, 2022).

La escasez de información sobre el recurso hídrico subterráneo a la hora de realizar el modelo de potencial de aguas subterráneas requiere que los mapas resultantes para el resto del país sean validados con datos de pozos de agua locales (Asociación para el Manejo Sostenible de los Recursos Kársticos y Espeleológicos, Centro Universitario del Norte Carrera de Geología y Cordillera, 2010). Se evidencia con ello la necesidad de seguir investigando y caracterizando los acuíferos en una escala más detallada y generando información mucho más reciente.

En 2018 Funcagua inició el programa de monitoreo de pozos municipales en alianza con la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS)<sup>2</sup>, el cual que permanece activo hasta la fecha.

El monitoreo se ha desarrollado de manera continua en los siete municipios que forman parte de la Mancomunidad, realizándose medición de nivel estático (siempre que las condiciones de operación lo permitan) y nivel dinámico; en época seca y época lluviosa de cada año. Las mediciones se realizan con sonda de inmersión. En total para 2021 se recopilaron resultados de 250 pozos en siete campañas de monitoreo (no se realizó monitoreo en época seca 2020 por las restricciones derivadas de la pandemia de COVID-19).

Los resultados de 91 pozos medidos en 2018 se han comparado con datos de 48 pozos de 1978, registrados en un estudio realizado por Insivumeh junto con otras instituciones en dicho año. Algunos resultados relevantes de esta comparación son:

Los pozos tienden a ser más profundos y de diámetros más reducidos. Esto podría asociarse a mejores técnicas de perforación (equipos más compactos y eficientes) como a una mayor densidad de pozos, ya que la urbanización demanda más pozos aunque resulten menos productivos (Funcagua, 2022).

Los niveles estáticos de los pozos en 1978 se ubicaban predominantemente en el rango de 31 a 75 m de profundidad (52% de los pozos estudiados). Para 2018 el nivel estático se ubica predominantemente en los rangos de 101 a 200 m (46%), de 201 a 300 (28%) y de 301 m o más (7%) de profundidad (en total el 81% de los pozos) (Funcagua, 2022).

También se han realizado comparaciones entre 2018 y 2021 que han evidenciado situaciones críticas de descensos en los niveles estáticos. En algunos municipios el 49% de los niveles estáticos ha descendido más de 10 metros en dicho período. En otros casos el descenso del nivel estático, aunque es menor a los 10 m (pero mayor a 1 metro) se reporta para el 56% de los pozos (Funcagua, 2022).

El problema de pozos que quedan deshabilitados porque el nivel del agua ha descendido más allá de su profundidad perforada es cada vez más recurrente. Algunos solo se deshabilitan estacionalmente, en la época seca, en otros casos se debe acudir a perforar nuevos pozos más profundos o a la práctica del telescopiado<sup>3</sup>.

Esta situación puede llegar a ser más grave según escenarios del cambio climático para la región. Pons y otros estimaron el Índice de Aridez<sup>4</sup> para las microcuencas de la RMG a

---

<sup>2</sup> La Mancomunidad Gran Ciudad del Sur se conformó en 2012 y agrupa a los municipios: Amatitlán, Villa Canales, San Miguel Petapa, Mixco, Santa Catarina Pinula, Guatemala y Villa Nueva.

<sup>3</sup> Técnica constructiva empleada en pozos mecánicos profundos, que consiste en hacer un entubado con el mayor diámetro y continuar dentro de éste, con un diámetro menor de tubería, permitiendo alcanzar una nueva y mayor profundidad, posibilitando así alcanzar zonas saturadas de agua más profundas.

<sup>4</sup> El Índice de Aridez reúne los efectos combinados de temperatura y cantidad de lluvia sobre la disponibilidad del agua. Valores del índice entre 0.20-0.50 indican regiones semiáridas, entre 0.50-0.65 regiones subhúmedas y mayores a 0.65 refieren regiones húmedas.



2030, 2050 y 2070 usando el escenario optimista de reducción de emisiones RCP 2.6. La línea base de dicho índice fue calculada para el período 1960-1990. Para el período base las 16 microcuencas de la RMG presentan índices de aridez con valores entre 1.42 y 2.10. Si bien se clasifican como regiones húmedas los resultados indican que las microcuencas experimentarán descensos en los valores de su índice de aridez para 2030 (es decir, que habrá menor disponibilidad de agua). El valor del índice variará en -3.2% y -6.3% dependiendo de la microcuenca (Pons, et.al., 2018, citados por Funcagua, 2022)

La sobreexplotación de los acuíferos y el descenso acelerado de los niveles piezométricos que se reporta es producto del crecimiento poblacional, la pérdida de cobertura boscosa y la contaminación de las aguas superficiales, situaciones exacerbadas por el cambio climático.

En este contexto, de mayor demanda y menos disponibilidad las técnicas de MAR tienen potencial de volverse una práctica valiosa en el territorio, para mitigar estas consecuencias y ser complementarias en una estructura de gestión integrada del recurso hídrico donde se puedan manejar las múltiples causas de la escasez.

### **2.2.2 Calidad**

El país experimenta un deterioro considerable de sus recursos hídricos superficiales. Se ha reportado que, según cifras del MSPAS el 90% de las aguas nacionales están contaminadas con heces (Mosquera citada por Basterrechea et.al. 2018, p.386).

Aunque se ha mostrado que el país posee una buena disponibilidad hídrica, ocurre un manejo deficiente de las aguas residuales ordinarias y especiales, produciendo que la suficiencia hídrica reportada se convierta en una simple sensación de abundancia, pues la sola existencia material del agua no significa que se tenga acceso en las cantidades y calidades requeridas.

Importantes ríos que recorren la RMG se encuentran severamente contaminados, como sucede con el Río Motagua, Río Villalobos, Río Michatoya, Río Las Vacas (Spillman et.al., 2000).

El caso del Río Motagua incluso ha tomado relevancia a nivel internacional por afectar la Bahía de Omoa en Honduras y convertirse en un conflicto ambiental entre Guatemala y el vecino país que prepara una demanda internacional contra la Municipalidad de Guatemala (Lima, 2020) (Pérez y Domínguez, 2022).

En la vertiente Pacífica de Guatemala al evaluarse la calidad de seis ríos de la zona durante un año, se concluyó que presentaban contaminación de moderada a muy severa. El estudio utilizó indicadores de coliformes fecales, fosfatos y carga orgánica y usó como referencia para la clasificación el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica (Gil et al., 2021).

La alta contaminación del recurso hídrico superficial ha ocasionado que el uso se vuelque hacia la explotación de las aguas subterráneas, siendo esta la principal fuente de

abastecimiento en los municipios de la RMG, estimándose la dependencia de este recurso en un 82% (Funcagua, 2022).

El recurso hídrico en el país experimenta numerosas presiones como: reducción de la recarga hídrica en el sistema superficial y subterráneo, efectos del cambio climático, cambios en el uso de la tierra y el suelo, aumento de la demanda de agua para usos domésticos, agrícolas e industriales y contaminación directa por aguas residuales no tratadas que se traducen en mayores concentraciones de contaminantes emergentes y metales pesados. A ello se suman el uso de agroquímicos, la lixiviación desde vertederos y la deforestación (Funcagua, 2022 y Basterrechea, et.al. 2018).

La ingobernabilidad y débil institucionalidad en cuanto al recurso hídrico es una de una de las causas principales del deterioro de la calidad de agua. Aunque el país cuenta desde hace casi treinta años con regulaciones para prevenir, controlar y proteger el agua, la fiscalización para el cumplimiento es reducida y no se cuenta con capacidad instalada para cumplir lo estipulado en algunos reglamentos como el Acuerdo Gubernativo 236-2006 (Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos) (Basterrechea, et.al. 2018).

### **2.2.3 Acceso**

A 2015 se reportaba para el país que 3 millones de habitantes no contaban con acceso al servicio de agua apta para consumo humano. La cobertura de agua con chorro exclusivo o público era de 77.8% en ese momento. Guatemala, Sacatepéquez y Sololá fueron los departamentos con mayor acceso a estas fuentes mejoradas de abastecimiento, con un 90% de cobertura (INE, 2015, citado por Funcagua, 2022).

En algunos municipios de la RMG como San Juan Sacatepéquez se ha encontrado que el 50% de las viviendas del casco urbano está conectado al sistema de agua municipal en forma anómala y en otros casos, como el de Mixco los costos de operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua superan por GTQ 14 millones a los ingresos por pago del servicio que percibe la municipalidad (Funcagua, 2022).

En 2020, Ministerio de Educación (Mineduc) reportó que a nivel nacional 10 mil escuelas “no contaban con acceso a servicios sanitarios ni de agua potable, o requerían mejoras en los sistemas de agua potable” (Quino, 2020 citado por Funcagua, 2022).

El acceso limitado a fuentes de agua mejoradas o aptas para consumo humano tiene repercusiones importantes en: la incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos y enfermedades diarreicas en el país, la mortalidad infantil y la deserción escolar; esta última con un remarcado componente de género, al resultar más afectadas las niñas y adolescentes en edad menstruante, ya que no pueden asearse correctamente, aunado a su rol como ayudantes en labores del hogar que implican el acarreo de agua (Funcagua, 2022).

Por otro lado, la producción agropecuaria en unidades familiares y para subsistencia está supeditada al régimen de precipitaciones y la reducida gestión del agua para su manejo en embalses u opciones de reservorios para actividades agrícolas se traduce en inseguridad alimentaria a nivel del país, principalmente en las poblaciones ubicadas dentro del denominado Corredor Seco Centroamericano (Iarna, 2005)

#### **2.2.4 Situación legal**

Guatemala no cuenta con una ley específica para la regulación del agua y los recursos hídricos. Existen políticas públicas que “abordan algunos aspectos relacionados con el agua” pero ante la falta de una ley “la gobernanza del agua en el país descansa sobre un conjunto de disposiciones desactualizadas e incompletas, que denota la falta de claridad en las competencias y actuar de las instituciones públicas” (Funcagua et.al, 2022, p.1).

Esta situación ha producido desregulación en la explotación del recurso donde no hay cánones por aprovechamiento de agua superficial ni subterránea, por la descarga al alcantarillado municipal o cuerpos receptores y ocurre la perforación de pozos sin registro y de manera desordenada, reportándose incluso interferencia entre pozos que operan a pocos metros de distancia entre sí.

Varias instituciones del Estado relacionan su quehacer en temas del agua (municipalidades, Ministerio de Salud, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, autoridades de cuencas por ej. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y Lago de Amatitlán) y empresas privadas y públicas que prestan el servicio de distribución, generándose información dispersa y existiendo contrariedades y poca coordinación a la hora de brindarse permisos y autorizaciones.

El Código Municipal asigna en su artículo 68 la responsabilidad del “abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada” a las autoridades locales municipales, sin embargo, estas instituciones son las que en muchos casos experimentan mayores desafíos presupuestarios y de capacidad logística y técnica para hacer frente a dicha tarea, existiendo inclusive poca comunicación interna y coordinación entre las oficinas municipales de agua y saneamiento con el departamento u oficina que tramita y otorga las licencias de construcción.

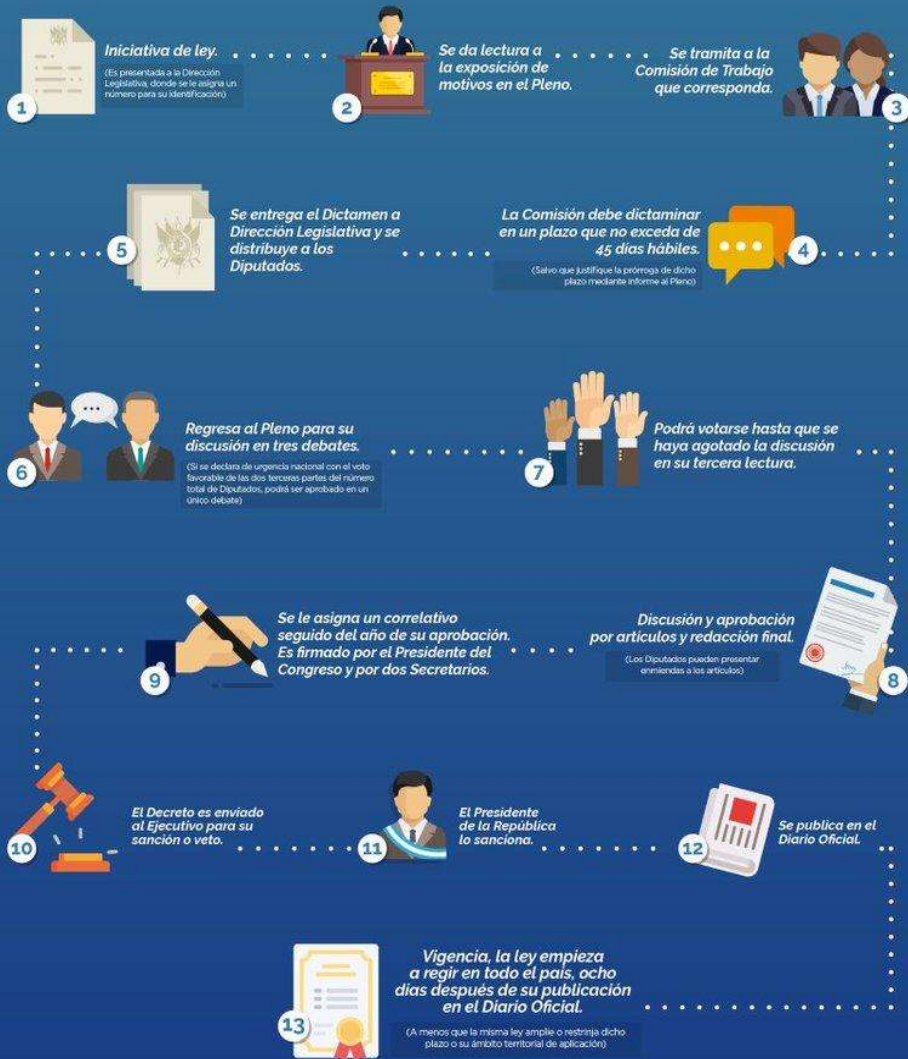
Por otro lado, se ha reportado por las municipalidades de la región que la recaudación de recursos económicos por medio de las tarifas de servicio municipal de agua resulta insuficiente para cubrir los costos reales de provisión del servicio (captación, tratamiento, distribución, operación, mantenimiento, etc.) (Funcagua, 2018).

La carencia de una ley específica “limita el desarrollo del potencial hídrico, la protección de los derechos de agua, la capacidad pública de proteger la vida de las personas y sus bienes ante eventos hidroclimatológicos extraordinarios, así como la de conservar la

integridad del patrimonio hídrico y de valorar sus aportes, sea como bien vital, recurso útil para la economía o elemento fundamental de procesos ecológicos” (Funcagua, 2022, p. 31).

Entre 2016 y 2021 se presentaron 13 iniciativas de ley para regular el recurso hídrico en Guatemala, de las cuales solo tres han obtenido dictamen favorable (Funcagua, 2022, p. 150), esto significa que fueron dictaminadas por la comisión de trabajo correspondiente pero no pasaron a la siguiente fase de discusión en el pleno del Congreso de la República (hasta en tres debates), alcanzando el cuarto paso de un total de trece según el proceso del organismo legislativo (Figura 2.1).

# PROCESO DE APROBACIÓN DE UNA LEY



**CONGRESO DE LA REPÚBLICA**

Figura 2.1. Proceso de aprobación de una ley en Guatemala  
Fuente: tomado de Congreso de la República de Guatemala. 6 de marzo de 2021. (en línea, Twitter). Guatemala. Disponible en <https://twitter.com/congresoguate>

Conforme se permanece en este limbo legal la conflictividad y necesidades podrán escalar con el paso del tiempo llegando a convertirse en un asunto de seguridad nacional:

«El agua en Guatemala debe considerarse como un tema de «seguridad nacional», ya que sin este recurso se pone en peligro la salud y nutrición principalmente, así como la seguridad y el desarrollo económico del país». (Iturbide, 2022 en Funcagua, 2022:XI).

Ante este panorama es clave rescatar la idea resultante de los espacios participativos a nivel de municipios que se desarrollaron en 2017 para la elaboración del Plan de Conservación del Agua de la Funcagua:

«No atenerse a la publicación de la ley general de aguas para la regulación del aprovechamiento del agua, sino tomar decisiones y acciones para gestionar y manejar el recurso hídrico a cortoplazo desde la autoridad local» (Funcagua, 2018:150).

## 2.4 Región Metropolitana de Guatemala

### 2.4.2 Acuíferos de la RMG

La información que se presenta a continuación es una síntesis de la caracterización presentada en el Plan de Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala (Funcagua, 2018).

Se han agrupado los acuíferos de la RMG según sus estratos y período de evolución. Sus características se resumen en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Acuíferos de la Región Metropolitana de Guatemala

| <b>Acuífero Sur</b>  | <b>Acuífero del Valle de la Ciudad Capital</b>   | <b>Acuífero Norte</b>  |
|--|--|--|
| <p>Constituido por relleno volcánico cuaternario.</p> <p>Aluviones fluviales cuaternarios (gravas, arenas, limos y arcillas) cuyo material ha sido erosionado, acarreado y vuelto a depositar mecánicamente por una corriente de agua, formando lechos, capas o estratos sedimentarios.</p> <p>Depósitos volcánicos cuaternarios, formados por</p> | <p>Constituido por andesita fracturada, sedimentos fluviales y lavas volcánicas del terciario, lavas volcánicas del terciario son lavas coladas de variada composición mineralógica generalmente fracturadas (andesitas, riolitas y basaltos).</p> | <p>Constituido por calizas del cretácico, tiene diferentes niveles de aguas subterráneas. Estas se encuentran localizadas en la región Norte de la cuenca del río Las Vacas (metamórficas).</p> <p>Los afloramientos existentes muestran una intensa fracturación y en algunos casos presentan indicios de karstificación.</p> |

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p>una gran acumulación de fragmentos de rocas resultantes depositadas por distintas erupciones, de ceniza y diversos flujos de lava (relleno piro clástico).</p> <p>Sedimentos fluido-lacustres cuaternarios, se encuentran distribuidos dentro de los flujos de lava y los depósitos de caída de ceniza, se ubican al Sur de la divisoria continental de aguas, cerca de Villa Canales, San Miguel Petapa, Villa Nueva y Amatitlán.</p> |  |  |
|---|--|--|

Fuente: elaboración propia con información de Funcagua, 2018, p. 92-93.

Otra clasificación se realiza basándose en el uso del agua subterránea presente en la zona. Esto permite distinguir dos acuíferos: superior e inferior, que por sus características geológicas tienen buena conexión entre sí (Funcagua, 2018, p. 95). El Cuadro 2.2 resumen las características de estos dos acuíferos.

Cuadro 2.2 Acuíferos superior e inferior en la ciudad capital de Guatemala

| <b>Acuífero Superior</b>  | <b>Acuífero Inferior</b>  |
|---|---|
| <p>Constituido por potentes depósitos cuaternarios de piroclastos pomáceos compactos hasta sueltos, en los cuales existen localmente intercalaciones de sedimentos fluvio-lacustres, paleosuelos y lavas.</p> <p>Se han incluido dentro del acuífero superior los sedimentos aluviales depositados en la parte media e inferior de los valles de los ríos Villalobos, Pinula y Las Minas.</p> <p>El agua subterránea contenida en el acuífero superior se encuentra en su mayor parte</p> | <p>Constituido por sedimentos aluviales y depósitos piroclásticos que descansan sobre lavas andesíticas y tobas vítricas soldadas terciarias en la mayoría del área. En pocos lugares descansan sobre calizas y granitos cretácicos.</p> <p>El acuífero se conforma principalmente de las lavas y tobas vítricas soldadas en menor grado, y por sus características de permeabilidad secundaria, extensión y espesor por fracturación y figuración, constituye el principal acuífero del área.</p> <p>El espesor total de las lavas y tobas terciarias no es conocido, pero con información</p> |

|   |   |
|---|---|
| <p>bajo condiciones libres o freáticas.</p> <p>Los piroclastos pomáceos más compactos se encuentran hacia la parte norte del área, mientras que los piroclastos cuaternarios se encuentran hacia el sur. Ocupan el área extensa de la región metropolitana, con espesores en la parte central del área del valle, donde generalmente sobrepasa los 200 metros, con tendencia a disminuir en los extremos.</p> <p>La granulometría de los piroclastos disminuye de sur a norte, estos están saturados en un promedio de 38 metros.</p> <p>El acuífero superior tiene una transmisividad de:</p> <p>En los depósitos piroclásticos varía entre 50 m<sup>2</sup>/día y 750 m<sup>2</sup>/día</p> <p>En sedimentos aluviales (delta del río Villalobos): 150-2000 m<sup>2</sup>/día. En depósitos sedimentarios de ríos Villalobos, Pinula y Las Minas: 2500 m<sup>2</sup>/día</p> <p>En rocas volcánicas fracturadas: 500-5000 m<sup>2</sup>/día</p> <p>Los valores de transmisividad reflejan que se trata de acuíferos bajo la condición libre y semiconfinada, característica que permite que la recarga de estos ocurra a través de la capa permeable inmediata superior, por medio de la filtración del agua.</p> | <p>obtenida de algunas perforaciones, al parecer es mayor de 220 metros, estando saturadas aproximadamente en los primeros 200 metros.</p> <p>Este acuífero se encuentra también bajo condiciones libres y de semiconfinamiento, lo cual se debe principalmente a que sobre este yacen los piroclastos pomáceos compactos y en menor grado sedimentos aluviales, los cuales tiene una permeabilidad más baja que las lavas fracturadas del acuífero.</p> <p>El acuífero inferior tiene una transmisividad de:</p> <p>En los depósitos piroclásticos varía entre 50 m<sup>2</sup>/día y 750 m<sup>2</sup>/día.</p> <p>En sedimentos aluviales: 150-2000 m<sup>2</sup>/día.</p> <p>En rocas volcánicas fracturadas: 500-5000 m<sup>2</sup>/día</p> <p>En las calizas poco fracturadas: 10-80 m<sup>2</sup>/día, calizas moderadamente fracturadas 250-500 m<sup>2</sup>/día, calizas muy fracturadas: 1000-3000 m<sup>2</sup>/día</p> |
|---|---|

Fuente: elaboración propia con información de Insivumeh et.al., 1978, citado por Funcagua, 2018, p.95-98.



### **2.4.3 Efectos del cambio climático**

Se espera que en Guatemala la temperatura aumente entre 3°C y 6°C a finales de siglo, y que la precipitación se reduzca hasta en 30% (Rivera et al., 2019, citado por Funcagua, 2022, p. 54).

Pons et.al. (2018, citado por Funcagua, 2022) estimó el Índice de Aridez para las microcuencas de la RMG a 2030, 2050 y 2070 usando el escenario optimista de reducción de emisiones RCP 2.6. La línea base de dicho índice fue calculada para el período 1960-1990. El Índice de Aridez reúne los efectos combinados de temperatura y cantidad de lluvia sobre la disponibilidad del agua. Valores del índice entre 0.20-0.50 indican regiones semiáridas, entre 0.50-0.65 regiones subhúmedas y mayores a 0.65 refieren regiones húmedas.

Para el período base las 16 microcuencas de la RMG presentan índices de aridez con valores entre 1.42 y 2.10. Si bien se clasifican como regiones húmedas los resultados indican que las microcuencas experimentarán descensos en los valores de su índice de aridez para 2030 (es decir, que habrá menor disponibilidad de agua). El valor del índice variará su valor en -3.2% y -6.3% dependiendo de la microcuenca.

La microcuenca Las Cañas experimentará la mayor reducción pasando de un índice de aridez base de 1.26 a uno en 2070 de 0.83 (reducción del 34.2% en el valor) y al menos 169 hectáreas de esta entrarán en una categoría "semiárida". La figura 2.1 representa estas variaciones.

Se afirma que, aunque la RMG cuenta con un aporte de precipitación abundante para recarga hídrica ideal (las lluvias están regidas por la Zona de Convergencia Intertropical, respetando el régimen lluvioso alto mayor de 1000 mm al año) «en términos generales los acuíferos no se recargan localmente, sino en zonas externas, y las pocas zonas de captación de agua, no reúnen condiciones para la infiltración; la mayor parte de la región cuenta con un uso de suelo predominantemente urbano (poco permeable a impermeable), donde la cobertura forestal es limitada y las zonas de recarga disponibles son cada vez más escasas; por ende no existe recarga local para los acuíferos» (Funcagua, 2018: 91).

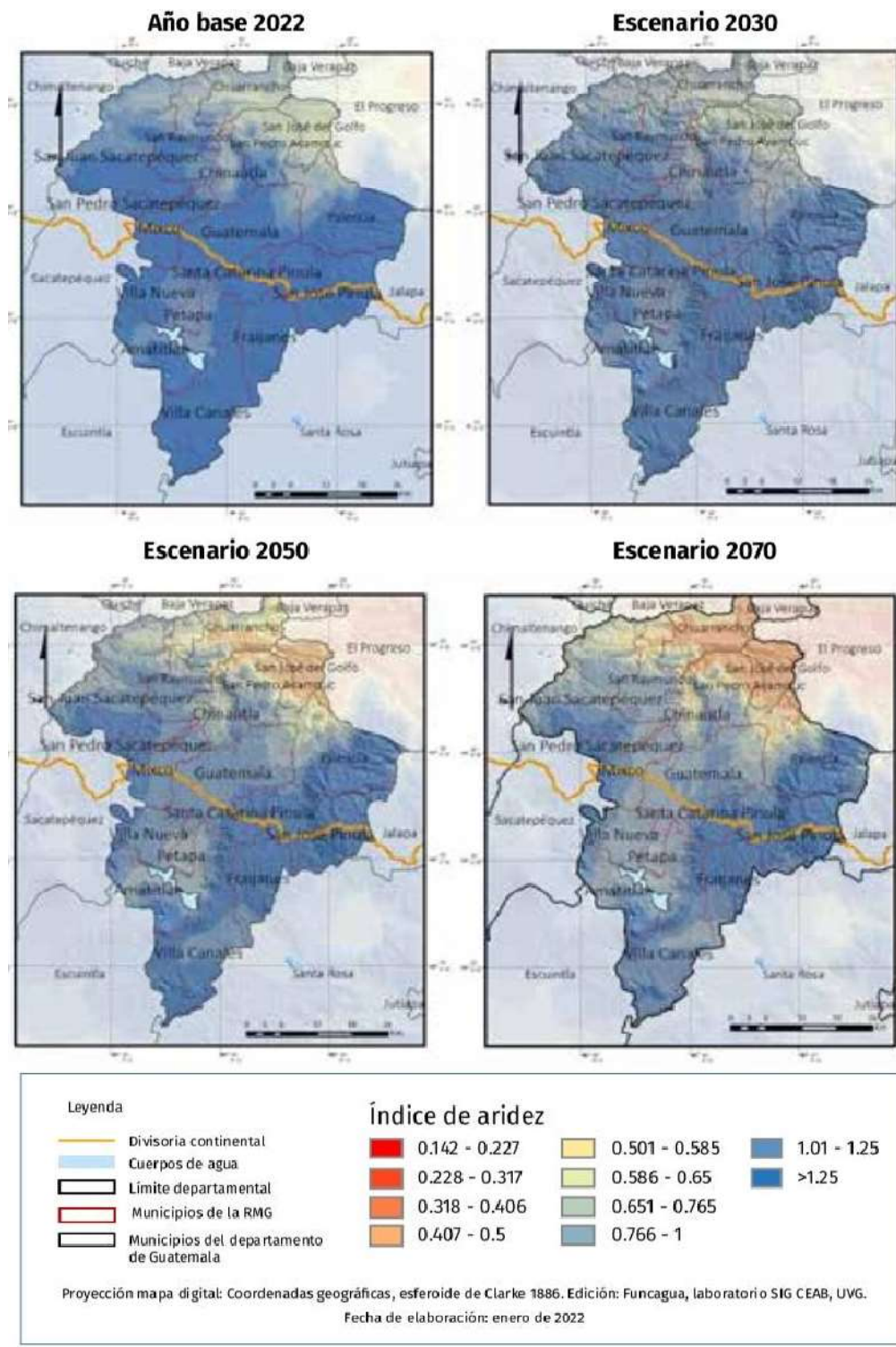


Figura 2.2. Índice de aridez en las microcuencas de la Región Metropolitana de Guatemala (línea base y escenarios 2030, 2050 y 2070).

Fuente: tomada de Funcagua, 2022, p.56.

### **2.3 Recarga Gestionada de Acuíferos (MAR)**

El manejo gestionado de la recarga de acuíferos (MAR por sus siglas en inglés de *Managed Aquifer Recharge*) o recarga artificial, es una técnica donde intencionalmente se busca aumentar la disponibilidad de agua subterránea, volviéndose además una oportunidad para mejorar su calidad.

Para denominarla se usa también términos como recarga potenciada, banco de agua y almacenamiento subterráneo sostenible. Además, se sugiere evitar el uso del término "recarga artificial" puesto que suelen asociársele connotaciones negativas (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco, 2005).

La recarga de acuíferos gestionada es la recarga intencionada de agua en acuíferos para su posterior recuperación o beneficio ambiental (Ward y Dillon, 2012, citados por Mendoza en Escolero et. al. 2017). No es un método para la eliminación de desechos (Zheng et. al. 2021).

Unesco (2002) citada por Quispe (2017:14) define la recarga artificial como «el aumento de la alimentación natural de agua subterránea a los acuíferos o embalses de agua subterránea suministrando agua a través de pozos, inundando o cambiando las condiciones naturales».

Se emplea como una herramienta complementaria en la gestión de recursos hídricos. Al respecto se señala:

«Por sí sola no es la solución en situaciones de sobreexplotación de acuíferos, y podría únicamente aumentar las tasas de extracción. Sin embargo, puede tener un importante papel en el "paquete" de medidas de control de la extracción y restablecimiento del balance hídrico subterráneo» (Unesco, 2005:2).

Se añade también que, la recarga gestionada de acuíferos «debe ser considerada como un método para la gestión de los recursos hídricos junto con un amplio espectro de métodos, incluyendo el almacenamiento superficial, la explotación del agua subterránea, la gestión de la demanda, la reutilización del agua, etc.» (Unesco, 2005:4).

Fernández y García (2008) afirman que las técnicas de MAR son poco aplicadas por el desconocimiento sobre su alto potencial y por predominar en enfoque principalmente a la infraestructura hidráulica respecto a la gestión de los recursos hídricos, según el país. También se resalta poca continuidad en experiencias existentes y la escasa divulgación tanto en medios de comunicación como en los espacios educativos, de ahí que se destaque la poca difusión de experiencias de este tipo e investigaciones con rigor científico.

Se afirma que las prácticas de recarga gestionada de acuíferos se remontan a más de 3000 A.C. Se incluyen obras como tanques de percolación, represas de control y estanques de almacenamiento de agua en áreas áridas y semiáridas para almacenar agua, permitiendo

la recarga indirecta de cuerpos de agua subterráneos (Chadka (2003) citado por Unesco, 2005:4).

«Muchos proyectos requieren bajos niveles de tecnología y pueden ser (y han sido por siglos) implementados con poco conocimiento de ingeniería» (Unesco, 2005:10).

Aunque el concepto no es nuevo ((Zheng et. al. 2021) reporta proyectos desde 1936 en Estados Unidos) los proyectos de MAR han incrementado con el paso de los años, acumulándose más de 1200 experiencias en 62 países, con especial incremento a partir de 1990 (Bonilla y Stefan en Escolero et. al. 2017).

### 2.3.1 Beneficios y ventajas de la recarga gestionada de acuíferos

Las ventajas y efectos positivos del uso de la recarga gestionada de acuíferos son destacados desde diversos puntos de vista. El Cuadro 2.3 sintetiza lo destacado por varios autores.

Cuadro 2.3 Ventajas y beneficios de los proyectos de recarga gestionada de acuíferos.

| Ventaja / Beneficio            | Ampliación   | Reportado en   |
|--------------------------------|--|--|
| Adaptación al cambio climático | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se disminuyen las pérdidas de agua ante el aumento de las tasas de evaporación y evapotranspiración</li> <li>• Disminuye las fluctuaciones en la relación abastecimiento/demanda por un mayor uso de agua por la población</li> <li>• Funciona como una barrera hidráulica para reducir la intrusión salina debido al aumento del nivel del mar</li> <li>• Es una estrategia ante la reducción de la oferta hídrica y problemas de suministro relacionados con la variante distribución anual de las precipitaciones</li> <li>• Es una forma de combatir el aumento de los precios del abastecimiento de agua, debido a incrementos en el costo de la electricidad por la menor producción de energía hidroeléctrica (optimización del bombeo de agua subterránea).</li> <li>• Previene los picos de escorrentía provocados por eventos extremos</li> </ul> | <p>Fernández et al. 2018</p> <p>Bonilla y Stefan en Escolero et. al. 2017</p> <p>Unesco 2005</p> |

| <b>Ventaja / Beneficio</b>              | <b>Ampliación</b>   | <b>Reportado en</b>   |
|---|---|---|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ayuda a mantener los caudales ambientales en arroyos/ríos</li> </ul>   |   |
| Mejora física de los acuíferos          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de reservas de agua (uso de acuíferos como depósitos subterráneos y maximización del almacenamiento natural)</li> <li>• Aumenta la facilidad para el transporte de agua en los acuíferos,</li> <li>• Reducción de costes de bombeo</li> <li>• Retención de la intrusión marina</li> <li>• Ascensos del nivel freático en acuíferos sobreexplotados</li> </ul> | Fernández y García 2008.<br>Fernández et al. 2018<br>Bonilla y Stefan en Escolero et al. 2017 |
| Mejora de la calidad del suelo y agua   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la humedad de los suelos</li> <li>• Las capas filtrantes del acuífero funcionan como una depuración adicional de aguas previamente regeneradas</li> <li>• Impide la escorrentía de tormenta y la erosión del suelo</li> </ul>   | Fernández et al. 2018<br>Bonilla y Stefan en Escolero et al. 2017<br>Unesco 2005              |
| Reducción de vulnerabilidad a desastres | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Retención e infiltración de excedentes de agua; operando como sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)</li> <li>• Incremento de la infiltración en zonas altamente urbanizadas</li> <li>• Evitar procesos de hundimiento del terreno y subsidencia de la tierra.</li> <li>• Previene los picos de escorrentía provocados por eventos extremos</li> </ul>            | Fernández et al. 2018<br>Bonilla y Stefan en Escolero et al. 2017<br>Unesco 2005              |

Fuente: elaboración propia con información de las fuentes citadas

El almacenamiento natural y el manejo físico de los acuíferos ocupan el 50% de los casos a nivel mundial (Fernández et al. 2018; Bonilla y Stefan en Escolero et al. 2017).

Las técnicas y tecnologías MAR «son una herramienta de gestión hídrica económica de gran efectividad con respecto a las grandes obras hidráulicas, resultando en una actividad de primer orden en varios países del mundo» (Ward y Dillon, 2009; 2012, citados por Mendoza en Escolero et al., 2017:96).

### **2.3.2 Técnicas de Recarga Gestionada de Acuíferos (MAR)**

Las obras de recarga hídrica pueden clasificarse dependiendo de la infraestructura utilizada o del tipo de agua que reciben.

También se pueden agrupar en dos grandes grupos: técnicas que interceptan agua y técnicas que infiltran agua. En el caso de la técnica de interceptación de agua se tienen la modificación de cauces de arroyos y ríos y la captación de agua de lluvia (Mendoza en Escolero et al. 2017).

Se mencionan a continuación las estrategias más utilizadas alrededor del mundo, recopiladas por Fernández-Escalante et al. (2018), Zheng et. al. (2021), Escolero et al. (2017), Unesco (2005).

- Inyección profunda (injection wells)
- Lagunas de infiltración / Estanques de infiltración (infiltration ponds)
- Pozos de infiltración por gravedad o pozos secos (borehole wells)
- Infiltración desde lecho de río natural o inducida (riber bank infiltration)
- Retención de humedad edáfica (zanjas de infiltración)
- Barreras hidráulicas (pozos costeros)

La Guía Metodológica para Proyectos de Recarga Gestionada de Acuíferos de Chile clasifica las obras en tres tipos: recarga fuera del cauce, recarga en medio del cauce y recarga usando pozos secos (Comisión Nacional de Riego (CNR) y Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Chile, 2020).

Por la fuente de agua que se recarga se puede tratar de: aguas pluviales captadas en techos (cosecha de agua), aguas de escorrentía urbana, aguas de escorrentía en terrenos agrícolas, aguas tratadas provenientes de sistemas de tratamiento de aguas residuales y aguas superficiales captadas desde un cuerpo de agua (corrientes naturales, embalses, canales permanentes).

### 3. Procedimientos metodológicos

Se utilizaron diferentes procesos metodológicos en el desarrollo del trabajo. Un mismo proceso metodológico pudo contribuir a la consecución de varios de los objetivos específicos planteados, tal como se presenta en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Metodología utilizada para cada objetivo específico.

| No. | Proceso metodológico empleado | Actividades desarrolladas   | Objetivo específico 1 | Objetivo específico 2 | Objetivo específico 3 <sup>5</sup> | Objetivo específico 4 |
|-----|-------------------------------|---|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|
| 1.  | Recopilación de información   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de casos documentados de MAR</li> </ul> | ☑                     |                       | ☑                                  | ☑                     |

<sup>5</sup> Este objetivo migró para ejecutarse en la Fase 2. La información que se ha obtenido de las actividades desarrolladas en otros objetivos de la Fase 1 contribuirá también a su apropiada realización en el futuro.

| No. | Proceso metodológico empleado   | Actividades desarrolladas   | Objetivo específico 1               | Objetivo específico 2               | Objetivo específico 3 <sup>s</sup>  | Objetivo específico 4               |
|-----|---|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|     | secundaria y visitas de campo   | <p>en América Latina y resto del mundo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Visita de campo a dos experiencias locales de pozos secos en Guatemala</li> </ul>  |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 2.  | Sistematización de experiencias   |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2.1 | Recopilación de información secundaria de la experiencia a sistematizar | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de registros como: actas o minutas de reuniones, listas de participantes, correos electrónicos, historiales de chat, reportes, informes de visitas de campo, fotografías, videos, dibujos y planos, memorias de labores, convenios de cooperación e informes institucionales</li> </ul> |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2.2 | Línea del tiempo  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taller participativo virtual</li> </ul>  |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2.3 | Grupo focal   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taller participativo virtual</li> </ul>  |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2.4 | Intercambios, observación y discusión in situ                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos visitas de campo a obras del pilotaje en octubre 2021 y marzo 2022 con diferentes participantes</li> </ul>   |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2.5 | Entrevista a informantes clave  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrevista con los informantes clave Ing. Jorge García Chiú y Ing. Joel Mayorga y Arq. Claudia Muñoz usando la guía para entrevista Apéndice 7.4.</li> </ul>   |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2.6 | Devolución y validación   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrega del documento de la Guía Técnica a revisores internos y externos</li> </ul>  |                                     |                                     |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3.  | Binomios problema-solución  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendiente de realizarse. Pasa a la Fase 2 del proyecto (ver Hoja de Ruta en Apéndice 7.16)</li> </ul>  |                                     |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> |                                     |

Fuente: elaboración propia.

### **3.1 Recopilación de información secundaria y visitas de campo a experiencias locales**

Para conocer el estado la aplicación de técnicas MAR en América Latina se acudió a una revisión de experiencias reportadas en la literatura para la región, así como la consulta de otros artículos sobre MAR a nivel internacional y la participación en seminarios virtuales y conferencias sobre la materia.

Esta revisión permitió corroborar que las técnicas constructivas aplicadas en el pilotaje de este proyecto en efecto pertenecen al paquete de soluciones de MAR referenciados por múltiples publicaciones en la región y en el mundo.

Adicionalmente se realizaron visitas de campo a sitios en Guatemala con proyectos de pozos secos cuya experiencia no estaba documentada, permitiendo así plasmar sus características y aprendizajes en este trabajo, como un aporte a la literatura existente.

En estas visitas se empleó como guía para obtener la información la *Ficha de registro para visitas de campo* incluida en el Apéndice 7.1.

Los resultados de este proceso metodológico se presentan en el apartado 4.1.

### **3.2. Sistematización de experiencias**

La base metodológica principal del trabajo fue la sistematización de la experiencia usando los cinco tiempos planteados por Jara (2018).

Este autor señala que los ejercicios de sistematización buscan coherencia institucional, definir sistemas de funcionamiento, obtener criterios para mejorar experiencias, orientar decisiones institucionales, abrir nuevas etapas hacia realidades dinámicas y cambiantes en el contexto en que se desenvuelven las organizaciones, hacer un recuento del camino andado y la experiencia acumulada y facilitar diálogos entre grupos, partiendo de la experiencia propia.

El apartado 4.2 recopila los resultados obtenidos empleando esta metodología y sus herramientas complementarias.



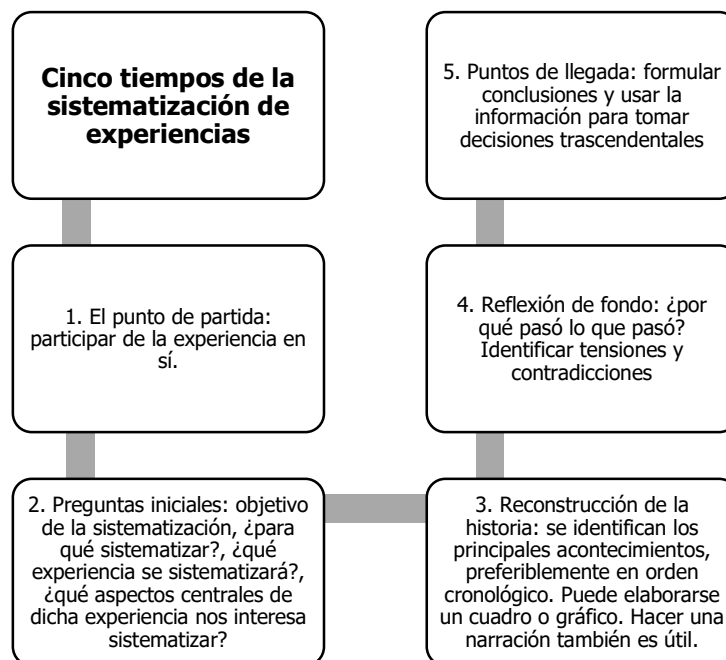


Figura 3.1 Cinco tiempos de la sistematización de experiencias.

Fuente: elaboración propia basado en Jara (2018)

Parte del método (tiempo 2) es el planteamiento de las preguntas que delimitan el rumbo de la sistematización. Las preguntas que se presentan en el Cuadro 3.2 permitieron definir el objeto de la sistematización, su objetivo y un hilo conductor para no perderse en multiplicidad de análisis.

Cuadro 3.2 Preguntas clave para la sistematización de experiencias desarrollada en este trabajo.

| <b>Objeto de sistematización</b><br>¿Qué se sistematizó?   | <b>Objetivo de la sistematización</b><br>¿Para qué se realizó esta sistematización?  |
|--|--|
| El proyecto de manejo gestionada de recarga hídrica (MAR) en la región metropolitana de Guatemala. Idea inicial (antesala 2018-2020) y obras planeadas, construidas y monitoreadas en el marco de dicho proyecto entre los meses de noviembre 2020 a enero 2022. | 1) Para contribuir a la reflexión teórica con conocimientos surgidos directamente de las experiencias: validación de los supuestos y contribuir a la mejora continua con base en experiencias seleccionadas, réplica de tecnología y trasfondos precisos de su aplicación.<br>2) Para incidir en políticas y planes a partir de aprendizajes concretos que provienen de experiencias reales. |
| <b>Eje de sistematización (hilo conductor)</b> - ¿Qué aspectos centrales de esta experiencia nos interesaba sistematizar?  |  |
| 1) Secuencia de las acciones para la implementación (antes, durante, después).<br>2) Interacción de los actores y definición de sus roles.   |  |

Cada uno de los cinco tiempos de sistematización presentados en la Figura 3.1 requirió herramientas específicas que se explican a continuación:

### **3.2.1 Recopilación de información secundaria de la experiencia a sistematizar**

Jara (2018) afirma que sin algún tipo de registros se vuelve casi imposible o muy difícil hacer una sistematización.

De ahí que la primera etapa de la sistematización requiriera que se recopilaran y revisaran materiales como: actas o minutas de reuniones, listas de participantes, correos electrónicos, historiales de chat, reportes, informes de visitas de campo y otras formas de documentación como fotografías y videos. También se acudió a la revisión de dibujos y planos, memorias de labores, convenios de cooperación e informes institucionales.

### **3.2.2 Línea del tiempo**

Prins (2021) recomienda el uso de esta herramienta cuando no existen registros escritos u ordenados. Con ella se puede ir compaginando información suelta, rescatarla y recomponerla verbalmente.

La línea del tiempo fue una herramienta clave para el ejercicio de recopilación y sistematización. En este caso se construyó con los aportes, de forma interactiva con un grupo de personas envueltas en el proceso. Permitted reconstruir de forma precisa los diferentes aspectos de la experiencia, vista como un proceso. En la construcción se tomaron en cuenta las acciones, los resultados intermedios, las intenciones, las opiniones y reajustes; tanto de quiénes promueven la experiencia como de quiénes participan en ella, según lo recomendado por Prins (2021).

La línea del tiempo resultante del proceso de sistematización se presenta en el apartado 4.2.1

### **3.2.3 Grupo focal**

El grupo focal permitió dejar constancia de las diferentes interpretaciones que dan los protagonistas y la manera de superar obstáculos encontrados en el camino tal como menciona Prins (2021).

Se realizó un taller recopilando la perspectiva de los actores impulsores del proyecto (Gremia y Funcagua) en las siguientes etapas:

1. Antesala del proyecto y su diseño
2. Arranque de las actividades, la superación de problemas iniciales, creación de capacidad instalada
3. La implementación plena de actividades; la posible ampliación y masificación.
4. La institucionalización y creación de sostenibilidad de procesos, productos y procesos (explorar las potencialidades)
5. Análisis e interpretación de la información ¿por qué pasó lo que pasó?

Se utilizó una guía de preguntas críticas (Cuadro 3.3) para interrogar el proceso de la experiencia y que permitieron identificar los factores esenciales que han intervenido en él y explicitar la lógica y el sentido de la experiencia.

Cuadro 3.3 Preguntas críticas para la interpretación del proceso en el grupo focal

| Guía de preguntas críticas  |   |
|---|---|
| Secuencia de las acciones para la implementación (antes, durante, después)  | Interacción de los actores y definición de sus papeles  |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Se identifica algún contexto (institucional, local, regional, mundial) en especial que favoreció al proyecto?</li> <li>2. ¿Qué hechos/ situaciones particulares han permitido el avance?</li> <li>3. ¿Qué hechos/ situaciones particulares han hecho más lento el proceso?</li> <li>4. ¿Qué debió hacerse, pero no se hizo?</li> <li>5. ¿Qué debe hacerse y aún se puede hacer?</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Quién ha liderado el proceso?</li> <li>2. ¿Qué papel ha asumido cada uno de los actores?</li> <li>3. ¿Dicho papel se ha mantenido o a evolucionado a lo largo del proyecto?</li> <li>4. ¿Qué provocó dichos cambios?</li> <li>5. ¿Cómo se ven los actores a sí mismos dentro del proceso?</li> </ol> |

Los tableros para recopilar la información durante el taller virtual se realizaron en la aplicación en línea Miro y la forma en que se estructuró la actividad se presenta en el Apéndice 7.4.

### 3.2.4 Intercambios, observación y discusión in situ

Cuando coinciden distintos actores se puede dar un intercambio de información, discusión técnica y rescatar comentarios sobre impresiones, desafíos, ventajas, potencialidades, etc. En este caso respecto del proyecto y la técnica MAR en la RMG y el país.

Prins (2021) destaca que estos son eventos dinámicos y fructíferos en los que la discusión y dinámica entre involucrados se vuelven una fuente de información y conocimiento.

Se realizaron dos visitas de campo a dos de los sitios del proyecto piloto. Estas visitas contribuyeron a la sistematización de la experiencia aportando impresiones de los involucrados, oportunidades de mejora, lluvias de ideas para la escalabilidad y reflexiones sobre la importancia del proyecto. Las ideas destacadas durante estas visitas se presentan en el apartado 4.2.2 de la sección de resultados.

En la primera visita (octubre 2021) participaron el personal operativo de Funcagua y los miembros de su consejo directivo; estos últimos conocieron el proyecto y en qué consiste la técnica MAR de pozos secos.

En la segunda visita (marzo 2022) participaron el personal operativo de Funcagua, personal operativo de Gremia y una de sus empresas socias, el gerente y el director de proyectos de la MGCS y el presidente de CeReGAS visitando desde Uruguay, en el contexto de la firma de un acuerdo de cooperación interinstitucional.

### **3.2.5 Entrevista a informantes clave**

La entrevista cualitativa es definida por Hernández et al. (2014:403) como una conversación más íntima, flexible y abierta llevada a cabo en una reunión, donde conversan el entrevistador y entrevistados, logrando una construcción conjunta sobre un tema.

Se desarrollaron tres entrevistas a tres informantes clave en modalidad semiestructurada, donde a partir de preguntas base también se introducen nuevas preguntas para profundizar o solventar dudas durante la conversación.

La información recopilada en las entrevistas fue insumo para las reflexiones finales y el establecimiento de la hoja de ruta (capítulo 5). Además, aspectos técnicos conversados durante las mismas fueron fundamentales como contenidos de la Guía Técnica (apartado 4.4)

El guion base para la entrevista a informantes clave se presenta en el Apéndice 7.6.

### **3.2.6 Devolución y validación**

Prins (2021) menciona que es importante, «antes de divulgar el producto final de la sistematización ante terceros interesados, hacer un informe preliminar con las personas involucradas en el proceso y validarlo en diálogo con las mismas. Esto permite verificar la pertinencia de las lecciones aprendidas y conclusiones, así como enriquecer el texto con nuevas ideas».

De igual manera si es un documento que reúne criterios técnicos y funcionará como referencia para otras experiencias similares, se debe exponer a los involucrados para corroborar la congruencia y sentido en el paso a paso propuesto en dicho producto.

El proceso de devolución y validación se ha aplicado específicamente al documento de la Guía Técnica, dado que tras su elaboración y, previo a publicarla, se ha validado su contenido con Gremia, informantes claves entrevistados y otros técnicos externos que no tienen relación con las organizaciones impulsoras (Funcagua y Gremia). Este proceso finalizará en noviembre de 2022.

### 3.3 Binomios problema solución

Este método era necesario aplicarlo para conseguir el objetivo específico 3. Sin embargo, su realización se postergó para la segunda fase del proyecto (ver Hoja de Ruta en Apéndice 7.16), ya que en el periodo de realización de este trabajo se priorizó la finalización de la Guía Técnica (objetivo específico 4), por su aporte significativo al proyecto y la importancia dada a este documento por parte de las organizaciones impulsoras.

Este método se utilizará para agrupar, en un cuadro de fácil visualización, elementos extraídos de diferentes casos reales donde se haya abordado la escasez del agua, tales como: qué tipo de situación se ha presentado, que solución se ha llevado a cabo para abordarla (tanto desde el punto de vista técnico, como ambiental y organizativo-institucional), qué ventajas y desventajas se identifican.

El ejercicio se realizará de manera cualitativa, analizando la información recopilada y segregándola según los criterios mencionados: técnico-ingeniería, ambiental, organizativo-institucional.

La idea de llegar a desarrollar este análisis es definir el aporte específico de MAR sin sobredimensionar sus posibilidades, dando una mirada objetiva a su valor al compararlo con otras estrategias existentes para abordar el creciente déficit de agua.

### 3.4 Recursos

Para la realización del taller participativo (grupo focal) se utilizó la plataforma **Zoom** para realizar la actividad de manera virtual. Como complemento se utilizó un tablero interactivo construido en la plataforma **Miro** para capturar las ideas de los diversos actores a los cuestionamientos planteados. La línea del tiempo también se construyó en la plataforma **Miro**.

Los costos de implementación de las obras MAR (pozos secos) fueron asumidos por Gremia. El tiempo de dedicación profesional, el equipo de cómputo, las licencias de uso de **Zoom** y **Miro**, y visitas técnicas fueron asumidos por Funcagua.

## 4. Resultados

Los resultados se encuentran divididos en cuatro grandes secciones, de acuerdo con los objetivos específicos planteados.

### 4.1 Estado del arte: Experiencias en MAR ya generadas en otros países de América Latina adaptándolas a la RMG y experiencias locales de Guatemala

Para 2016 se reportaban en la literatura 139 casos de MAR en América Latina, de los cuales el 65% se ubicaron en Brasil. El resto se encuentra distribuido entre México, países de América del Sur y en América Central y Caribe donde se encontraron proyectos únicamente en Costa Rica (Bonilla y Stefan en Escolero et. al. 2017).

En una revisión de 32 artículos y tesis sobre recarga artificial de acuíferos realizados en el período 2000-2019, se reporta únicamente una tesis de licenciatura desarrollada en Guatemala, durante el año 2015, enfocada en la identificación de sitios de recarga hídrica en la microcuenca del río Negro, pero no dirigida a las técnicas de recarga gestionada o recarga artificial (Figueredo, 2019).

Las experiencias en América Latina se han dirigido principalmente a maximizar el almacenamiento natural y en segundo plano al mejoramiento físico de los acuíferos.

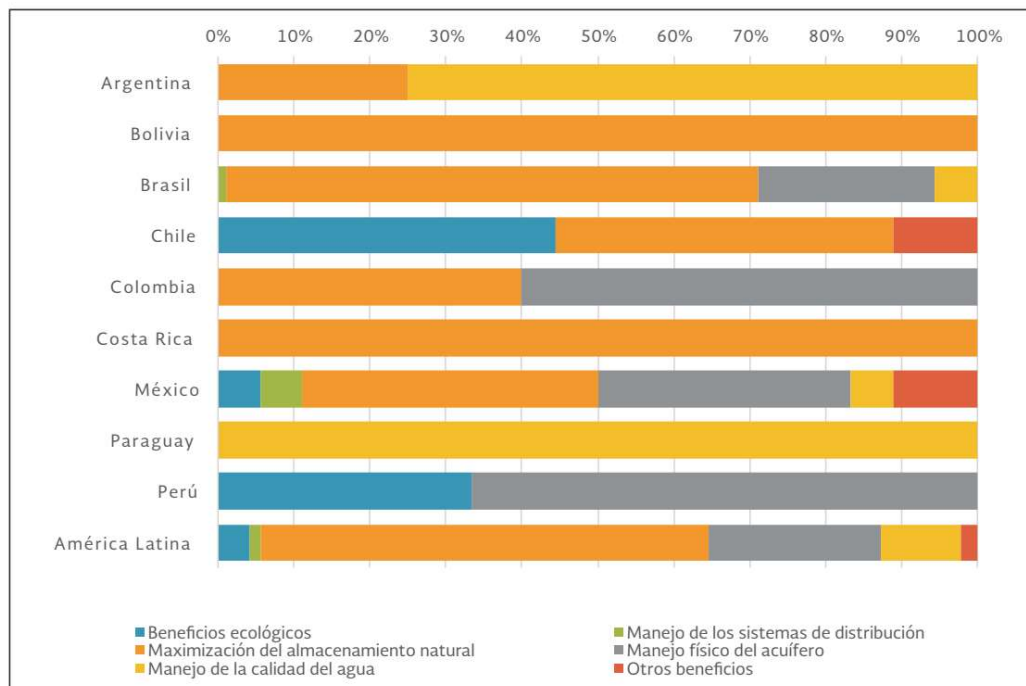


Figura 4.1 Principal objetivo de los casos de MAR en América Latina.

Fuente: Tomado de Bonilla y Stefan en Escolero et al. 2017:74

Brasil es el único país que reporta al menos un caso para cada una de las cinco técnicas MAR, pero predomina el uso de modificaciones en canales. Bolivia, Costa Rica y Paraguay registran una sola técnica aplicada. En Costa Rica específicamente se trata de infiltración inducida desde márgenes de los ríos. En Argentina y Paraguay se implementa MAR principalmente para crear una zona de agua dulce para usos agrícolas en sitios donde predominan aguas con alta salinidad (Bonilla y Stefan en Escolero et. al. 2017).

A continuación, se presenta un breve repaso por algunos de estos casos de aplicación.

#### **4.1.1 México**

En el uso de pozos de infiltración se destaca la existencia de 75 obras de este tipo en la Ciudad de México, con el fin de infiltrar el agua que causa inundaciones en zonas más bajas. (Mendoza-Cázares et al., 2013, citados por Mendoza en Escolero et al. 2017).

Destaca un proyecto de recarga hídrica, desarrollado por 16 comunidades de pueblos autóctonos, en el valle de Ocotlán, Oaxaca, sitio donde se reportan 1113 aprovechamientos de agua subterránea. En él se construyeron diversidad de obras partiendo del conocimiento popular y empírico. Se inició una evaluación de la eficiencia de estas obras en 2015 a solicitud de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Se contabilizan en este caso más de 600 obras de recarga, el 98% son pozos de absorción. Existen también pequeñas presas y "ollas" captadoras de agua, que son pequeñas lagunas artificiales. Las comunidades han aportado el 48% de los costos y el resto consiste en apoyos del gobierno. En la evaluación de las obras, para las llamadas ollas captadoras se estimó el volumen que aportan a la recarga; en el caso de una obra de 600 m<sup>2</sup> la recarga puede ser de 0.74 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de obra al año, representado un total de 445 m<sup>3</sup>/año (Ojeda-Olivares et al. en Escolero et al., 2017).

Sobre estas evaluaciones los autores reportan que «el aporte de las obras de recarga en comparación con los 6.97 millones de metros cúbicos concesionados anualmente en toda la subcuenca (Conagua), es relativamente pequeño, pero necesario para empezar con la gestión del acuífero, ya que se genera conciencia en las comunidades sobre el valor que representa el recurso hídrico para sus actividades» (Ojeda-Olivares et al. en Escolero et al., 2017:133).

A pesar de ello, para la población, estas obras de recarga han tenido un impacto positivo pues reportan mayor cantidad de agua en sus pozos, en comparación con años anteriores, durante la época seca. Este beneficio les motiva a construir las obras por su cuenta, con apoyo de la municipalidad y de otras entidades que les puedan brindar asesoría. De hecho, las propias comunidades mediante talleres educativos comparten el conocimiento y se identifican en conjunto sitios aptos para la recarga (Ojeda-Olivares et al. en Escolero et al., 2017:133).

En la Región Lagunera al norte de México existe otro proyecto de recarga gestionada de acuíferos. Esta cuenca ocupa área de los estados de Coahuila, Durango y Zacatecas y se extiende en 12 000 km<sup>2</sup>. La problemática que motivó implementar este tipo de obras fue la contaminación del agua subterránea con arsénico, que posee concentraciones por encima 25 µg/l, el valor límite permisible por la normatividad mexicana en el agua para consumo humano. Esta situación amenaza la salud de los más de dos millones de personas que habitan en la cuenca y se abastecen del acuífero aluvial. Una de las causas de esta contaminación es la explotación intensiva del agua subterránea en el acuífero Principal-Región Lagunera que al producir un descenso progresivo de los niveles estáticos ocasiona la migración de aguas subterráneas con altas concentraciones de arsénico. El proyecto fue implementado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en dos etapas durante 1991 y 2000. Consiste en dos embalses de infiltración sobre el cauce del río Nazas. En la fase de 1991 por 18 días se realizaron monitoreos experimentales reportando que los pozos ubicados en la cercanía registraron ascensos en el nivel de hasta 9 m. Aunado a ello, los análisis fisicoquímicos efectuados al agua no mostraron ningún cambio en su calidad (Gutiérrez y Ortiz en Escolero et al., 2017).

En México existen con certeza al menos 10 casos de recarga gestionada de acuíferos ya implementados o en proceso de estudio de factibilidad.

El Cuadro 4.1 resume los casos recopilados y detallados ampliamente por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2017) en su publicación:

Cuadro 4.1 Proyectos de recarga gestionada de acuíferos en México

| <b>Lugar</b>                    | <b>Problemática</b>   | <b>Tipo de obras</b>  | <b>Año de implementación</b> |
|---------------------------------|---|---|------------------------------|
| Ocotlán, Oaxaca                 | Sobreexplotación  | Lagunas de infiltración<br>Pozos de infiltración<br>Embalses              | 2000-2015                    |
| Región Lagunera                 | Sobreexplotación<br>Contaminación por arsénico              | Embalses en cauce de río  | 1991-2000                    |
| San Luis Potosí                 | Sobreexplotación<br>Inundaciones<br>Contaminación por flúor | Interceptores y colector con conducción a reservorio de aguas de tormenta | 2006-2016                    |
| Ojos del Chuvíscar, Chihuahua   | Sobreexplotación<br>Abatimiento de nivel freático           | Muro filtrante sobre lecho de río<br>Pozos de infiltración                | 2014                         |
| Río Magdalena, Ciudad de México | Sobreexplotación  | Diques tipo gaviones en cauce para  | 2009                         |



| <b>Lugar</b>                            | <b>Problemática</b>  | <b>Tipo de obras</b>   | <b>Año de implementación</b> |
|---|--|--|------------------------------|
|   |  | infiltración de agua de lluvia   |                              |
| Ecatepec de Morelos<br>Estado de México | Sobreexplotación   | Pozos de recarga activa y pasiva   | 2008                         |
| Charape de los Pelones, Querétaro       | Escasez en sector árido  | Presa subterránea  | 2015                         |
| Cerro de la Estrella<br>Iztapalapa      | Sobreexplotación<br>Contaminación por aguas residuales no tratadas (descargas directas a ríos) | Infiltración e inyección directa de efluente de aguas residuales tratadas                    | 1989-2010                    |
| San Luis Río Colorado, Sonora           | Contaminación por aguas residuales no tratadas (alta densidad de fosas sépticas, letrinas)     | Lagunas de infiltración recargadas con efluente de planta de tratamiento de aguas residuales | 2008                         |

#### **4.1.2 Chile**

Se reporta que en la última década la zona central de Chile experimenta una aguda sequía meteorológica y los niveles de lluvia registrados han alcanzado mínimos históricos. Como una estrategia para contrarrestar la poca capacidad de almacenamiento de agua con se cuenta en el país, principalmente para fines de riego agrícola, la Comisión Nacional de Riego (CNR) impulsa el Plan Nacional de Recarga de Acuíferos para la Agricultura y publicó la Guía Metodológica para la Recarga Artificial de Acuíferos (CNR, 2020).

El tema de recarga gestionada de acuíferos ha crecido en el país desde 2012 con la implementación de estudios a nivel piloto. Se afirma que existe una variedad de estudios y experiencias en distintas ubicaciones de Chile y a diferentes escalas. Hay tres proyectos registrados en recarga gestionada de acuíferos que están documentados: Valle de Aconcagua en Curimón, La Ligua en Bartolillo – La Ligua y Valle de Santiago/Río del Maipo en el Campus Atumapu de la Universidad de Chile. Además, existen otros seis proyectos que no presentan datos adecuados respecto a la cuantificación de la recarga gestionada (CNR, 2020).

En la Región de Ñuble en el río Diguillín y sus afluentes se destaca el uso de canales de infiltración desde el año 2012. Actualmente las obras están en evaluación para determinar la capacidad de volumen de agua que pueden llegar a infiltrar. La comunidad participa activamente en el manejo de las bocatomas y derivaciones y se ha observado una recuperación en el nivel freático en pozos cercanos.

Otra práctica es el uso de zanjas de infiltración en las regiones de Pumanque VI Región, Hidango VI Región, Parrón VII Región, Botacura VII Región, Llohué VIII Región, Manzanares VIII Región (CNR y CSIRO, 2020).

Piscinas de infiltración se han empleado en Toledo, Atacama donde desde 2017 se construyeron tres aledañas al cauce del río. El proyecto cuenta con un recorrido a manera de serpentín para reducir sólidos y turbiedad, por medio de decantación, ubicado antes de la primera piscina de infiltración (CNR y CSIRO, 2020).

#### **4.1.3 Perú**

En el acuífero de Ica al sur de Perú existe una importante explotación de aguas subterráneas por actividades agroindustriales, experimentando vedas constantes desde 2008. Este uso intensivo ha motivado a la Junta de Usuarios de Aguas Subterráneas del Valle de Ica (JUASVI) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para impulsar obras de recarga gestionada a manera de lagunas/pozas de infiltración, aprovechando excedentes hídricos del río Ica en época lluviosa. Estas pozas son construidas con materiales locales naturales y por movimiento de tierras (Navarro y Fernández en Escolero et al., 2017).

Con el tiempo el sistema pasó de estar basado en el empirismo para irse tecnificando mediante prospección geofísica, instalación y monitoreo de piezómetros, modelación matemática y ampliación del área de recarga. Aunado a ello el aumento de interés y sensibilidad en la población respecto al tema de recargar el acuífero como respuesta a la grave sobreexplotación (Navarro y Fernández en Escolero et al., 2017).

Se diferencian tres tipos de pozas: con galerías filtrantes (galería horizontal tipo zanjas), pozas de succión (pozas verticales de gran diámetro que alcanzan el nivel freático, recargan y permiten la extracción) y pozas de inyección (pozos de gran diámetro construidos en zona vadosa que permiten la infiltración del agua del río) (Navarro y Fernández en Escolero et al., 2017).

Con reportados éxitos en el uso de las pozas, desde 2016 y hasta la fecha, la JUASVI ha continuado el análisis para identificar de áreas potenciales de construir nuevas pozas. Para 2017 se inventariaban 637 pozas y micro reservorios con fines de recarga gestionada en la región (Navarro y Fernández en Escolero et al., 2017).

#### **4.1.4 Puerto Rico**

Se desarrolló el proyecto para la recarga gestionada del acuífero de Salinas, sometido a una alta explotación, experimentando descensos en sus niveles y ocasionando racionamientos en el abastecimiento de agua para la población, especialmente en la temporada seca del 2015 (Voces del Sur, 2018; Daus, 2019).

Este proyecto fue propuesto en 2016 y se considera un proyecto exitoso con una inversión de \$2.8 millones de dólares, que dirige agua desde el embalse de Patillas mediante canales de riego a seis puntos de recarga del acuífero de Salinas. Esto con el fin de

aprovechar el agua que se descarga a manera de regular el embalse y que se perdía al verterla al mar (Voces del Sur, 2018).

Se afirma que la inversión en construcción fue mínima ya que se utilizó infraestructura preexistente. Adicionalmente en el proyecto involucran a las partes interesadas locales para su desarrollo e implementación (Daus, 2019).

#### **4.1.5 Guatemala: experiencias locales con recarga hídrica**

Como parte de las actividades se realizaron visitas de campo a dos experiencias locales de recarga hídrica con pozos secos en San Antonio Aguas Calientes y en el Hospital Juan Pablo II en Mixco, con el fin de registrar sus características y documentarlas.

##### **4.1.5.1 Municipio de San Antonio Aguas Calientes**

En el municipio San Antonio Aguas Calientes, ubicado en el departamento de Sacatepéquez a 52 km de la ciudad de Guatemala, se ha identificado un caso de éxito en el uso de MAR con el principal objetivo de reducir inundaciones. Este municipio alberga 11 347 habitantes (INE, 2018), se ubica a 1520 msnm y tiene una extensión territorial de 17 km<sup>2</sup> (Segeplán, 2010).

El casco urbano del municipio se caracteriza por estar rodeado de montañas con pendientes pronunciadas, haciéndolo vulnerable a inundaciones en eventos extremos de precipitación. El último evento registrado con consecuencias de desastre fue el huracán Mitch en 1998 que a nivel nacional cobró 268 vidas, afectó a 105 000 personas y dejó pérdidas por 748 millones de dólares (Segeplán, 2010 y Carrera, 2019).

Aproximadamente desde el año 2000 la administración municipal inició la construcción de zanjas de infiltración en laderas, diques y pozos de absorción, así como el incremento el uso de barreras vivas. Se llegó a contar con más de 2000 obras de recarga incluyendo pozos, diques y zanjas de infiltración en laderas. Para el año 2005 cuando se presentó la tormenta Stan, el municipio no percibió daños por inundaciones, a pesar de las grandes pérdidas reportadas para el resto del país (983 millones de dólares) (Segeplán, 2021 y Carrera 2019). En ese evento los pozos de recarga se azolvieron y requirieron mantenimiento.

La idea inició como un experimento en escala piloto. En la actualidad se ha convertido en un programa establecido, al que se le asignan recursos municipales para procurar su mantenimiento. A pesar de que ocurrió un cambio de administración en el período 2008-2012, debido a los efectos positivos observados para el municipio, el programa continuó pues no se cuenta con drenaje pluvial que permita conectar a un solo sistema las descargas pluviales.

Las obras son elaboradas por excavación manual. En zonas montañosas pueden alcanzar los 3 metros de profundidad y en el centro urbano hasta 15 metros. Los pozos constan de su respectivo brocal con tapadera y una caja desarenadora previa cubierta por

una rejilla y tienen un diámetro de entre 80 y 90 cm. Para 2008 se registraban más de 70 pozos de este tipo construidos en el centro urbano del municipio.

Algunos de estos 70 pozos presentaron asolvamiento, por lo cual se realizó mantenimiento para recuperarlos y que alcanzasen nuevamente los 10 metros de profundidad. Se logró recuperar en total 62 pozos. De estos pozos recuperados hay 8 que cuentan con su encamisado con tubería de PVC perforada, el resto se mantiene como una perforación directa en el suelo con medios filtrantes como piedrín y piedra bola. Se pretende llegar a encamisar la totalidad para prevenir hundimientos.

Uno de los desafíos experimentados ha sido que la población, por temor a que se hundan los pozos ha enterrado o tapado algunos de los pozos en la zona urbana y en otras ocasiones los han usado para colocar desechos sólidos. También señalan que es difícil lograr hacer visible la importancia del programa, debido a que no se trata de grandes obras que puedan destacarse con fines de imagen positiva, pues se consideran más bien obras "invisibles" cuyos beneficios se perciben evitando las inundaciones, algo que no necesariamente está presente en la población.

El programa de mantenimiento de las obras de recarga se inicia todos los años en marzo-abril previo a las primeras lluvias y finaliza en noviembre. Se inicia con un grupo de 12 personas que trabajan a tiempo completo en el mantenimiento diario y se finaliza con un grupo de 8 personas. La mitad se dedican a limpiar y remover arena de los puntos de rejillas desarenadoras en las calles. En la actualidad se trabaja en el mantenimiento de 50 pozos y se tarda aproximadamente 20 días en realizar un ciclo completo de limpieza

La administración municipal reporta que, aunque el proyecto fue visualizado inicialmente con el fin de reducir las inundaciones, saben que se contribuye a recargar los pozos que utilizan para el abastecimiento de agua. En la actualidad se cuenta con 6 pozos mecánicos para extracción de agua subterránea logrando un 95 % de cobertura de agua en las viviendas. Estos pozos mecánicos han abastecido al municipio desde hace 20 años sin presentar descensos en su productividad. Adicionalmente, vieron cómo se ahorran los costos de realizar remociones de sedimentos acumulados en el centro urbano y realizar una limpieza completa del parque y del cementerio, como sucedía en épocas anteriores, pues se llegaban a acumular hasta 80 cm de sedimentos.

La ubicación de las obras se ha dado de manera empírica usando la pendiente del terreno como guía, ya que se busca que el agua de escorrentía ingrese a los pozos que se construyeron en puntos donde se encharcaban las aguas alcanzando entre 10 y 15 cm. También se recurrió a la opinión de los agricultores quienes participaron para orientar en la ubicación de las obras en zonas agrícolas y terrenos con pendientes pronunciadas que rodean el centro urbano.

Las obras no están completamente mapeadas en la actualidad, pero se trabaja en un registro con el objetivo de incluir el detalle en el plan de ordenamiento territorial que se trabaja en el municipio.

Las fotografías de esta visita de campo se presentan en el Apéndice 7.2.

#### **4.1.5.2 Hospital Juan Pablo II - Cáritas Arquidiocesana**

En la Zona 3, municipio de Mixco, departamento de Guatemala se encuentra el proyecto Hospital Materno Infantil Juan Pablo II de Cáritas Arquidiocesana, una organización de ayuda social administrada por la Iglesia Católica. El hospital provee servicios de salud a la población más pobre del país, de manera gratuita o bien, a bajo costo. Opera las 24 horas, trabajan 400 colaboradores y se reciben en promedio 330 consultas diarias.

En estas instalaciones, fueron concebidos desde su construcción, hace más de 40 años pozos de infiltración a los que se envía el agua pluvial captada de todos los techos del proyecto, ya que en la zona no existe el servicio de drenajes pluviales ni de alcantarillado.

En total, el proyecto reúne casi 7800 m<sup>2</sup> de techos que conducen el agua pluvial captada a 10 pozos de infiltración. El potencial de captación considerando una precipitación anual de 1300 mm (para el departamento de Guatemala) es de entre 8112 y 9126 m<sup>3</sup>/año.

Los pozos tienen un diámetro de entre 80 cm y 1 m, y su profundidad varía entre los 19 a 28 m. Cuentan con brocal de ladrillo en su primera sección aproximadamente, hasta las 2 m desde la superficie. Reciben mantenimiento anualmente en la temporada seca, momento en que se limpian las cortinas que sirven para retener sólidos y arenas, esto los prepara para la temporada de lluvias que ocurren entre mayo y octubre de cada año.

En el proyecto también se cuenta con un pozo de infiltración de 1 m de diámetro y 21 m de profundidad, al que se infiltra el efluente de las aguas depuradas provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales, tras haber pasado por el clorinador de pastillas. La planta de tratamiento está diseñada para tratar alrededor de 22 galones por minuto.

Los techos también albergan desde 2019, 925 paneles solares que producen hasta 6.54 MWh, logrando que las instalaciones funcionen durante el día con 100% de energía solar.

El proyecto se abastece con un pozo mecánico de 120 m de profundidad, que produce 33 galones por minuto. El personal reporta que a lo largo de todos los años la producción del pozo no ha cambiado y, a pesar de que el proyecto ha crecido en metros cuadrados y población, el pozo se ha mantenido.

De momento el proyecto no cuenta con monitoreo de niveles piezométricos que permitan analizar cuánto ha influido la recarga de aguas pluviales en preservar el buen estado de producción del pozo (el pozo mecánico no tiene piezómetro), sin embargo, se desea generar esta información.

En 2021 se concretó la formación del Comité Verde, un grupo interno de colaboradores, que velará de manera oficial y con respaldo institucional para que el proyecto crezca haciendo uso apropiado de los recursos naturales y reduciendo su impacto ambiental. Parte de las mejoras será documentar y generar información que les permita medir el impacto positivo de sus intervenciones tales como la recarga hídrica y el uso de paneles solares.

Las fotografías de esta visita de campo se presentan en el Apéndice 7.3.

#### **4.2 Sistematización de la experiencia obtenida del proyecto piloto de manejo gestionada de la recarga hídrica impulsado en el 2020 por Funcagua y Gremia**

Se realizó un taller virtual de grupo focal con los actores impulsores del proyecto Gremia y Funcagua donde se construyó la línea del tiempo del proyecto y se identificó la secuencia de acciones para la implementación, así como la interacción de los actores y sus roles. El Apéndice 5.10 presenta fotografías de dicha actividad y del producto construido en una pizarra interactiva.

El producto de este taller se presenta resumido en las figuras 4.2, 4.3 y 4.4.

Posteriormente se han ordenado las ideas destacadas sobre el eje de sistematización elegido en la metodología, tanto extraídas de las interacciones del taller como de las entrevistas y visitas de campo (Apartado 4.2.2).

## 4.2.1 Línea del tiempo construida de manera participativa

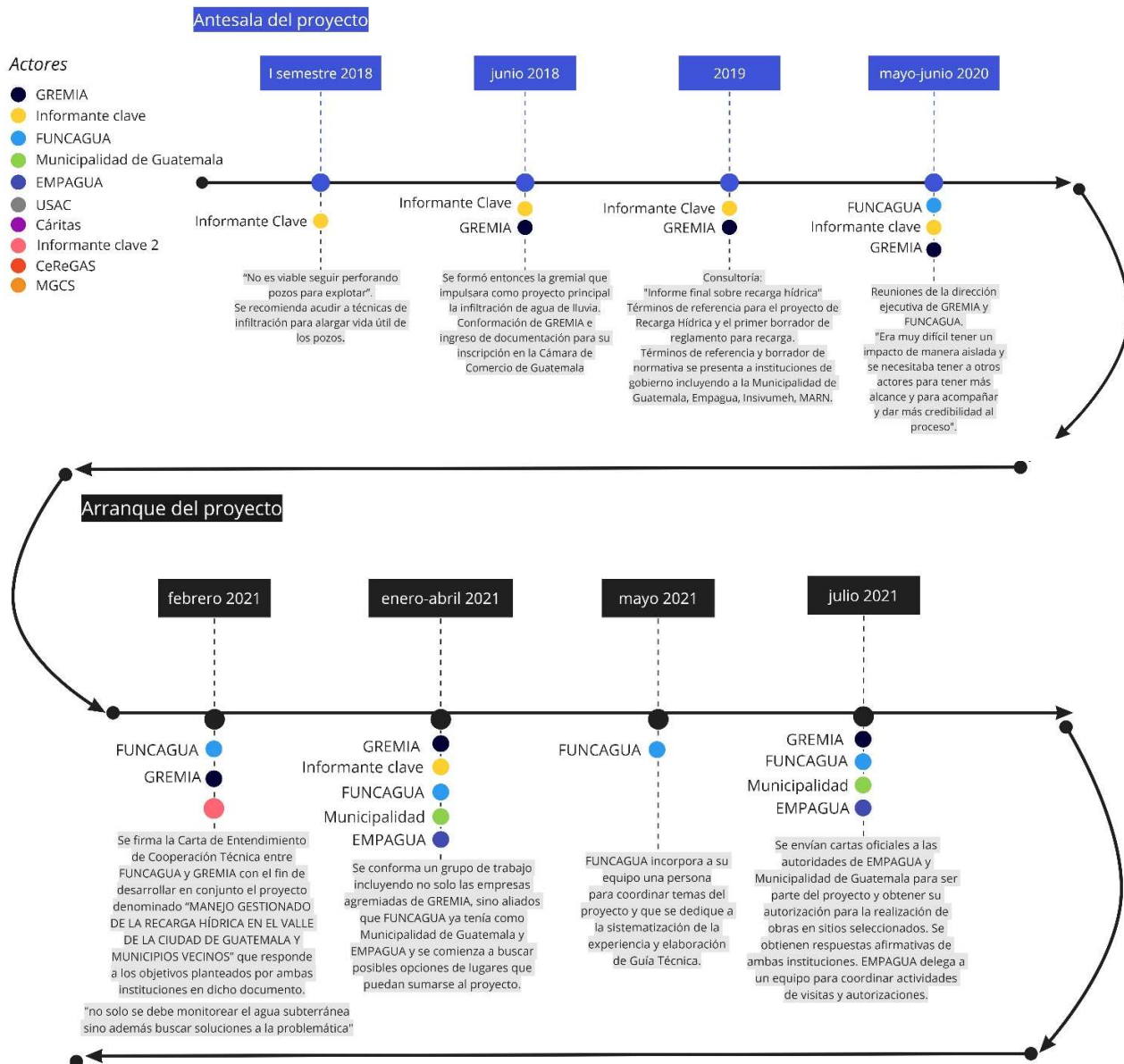


Figura 4.2. Línea del tiempo del proyecto (parte 1)

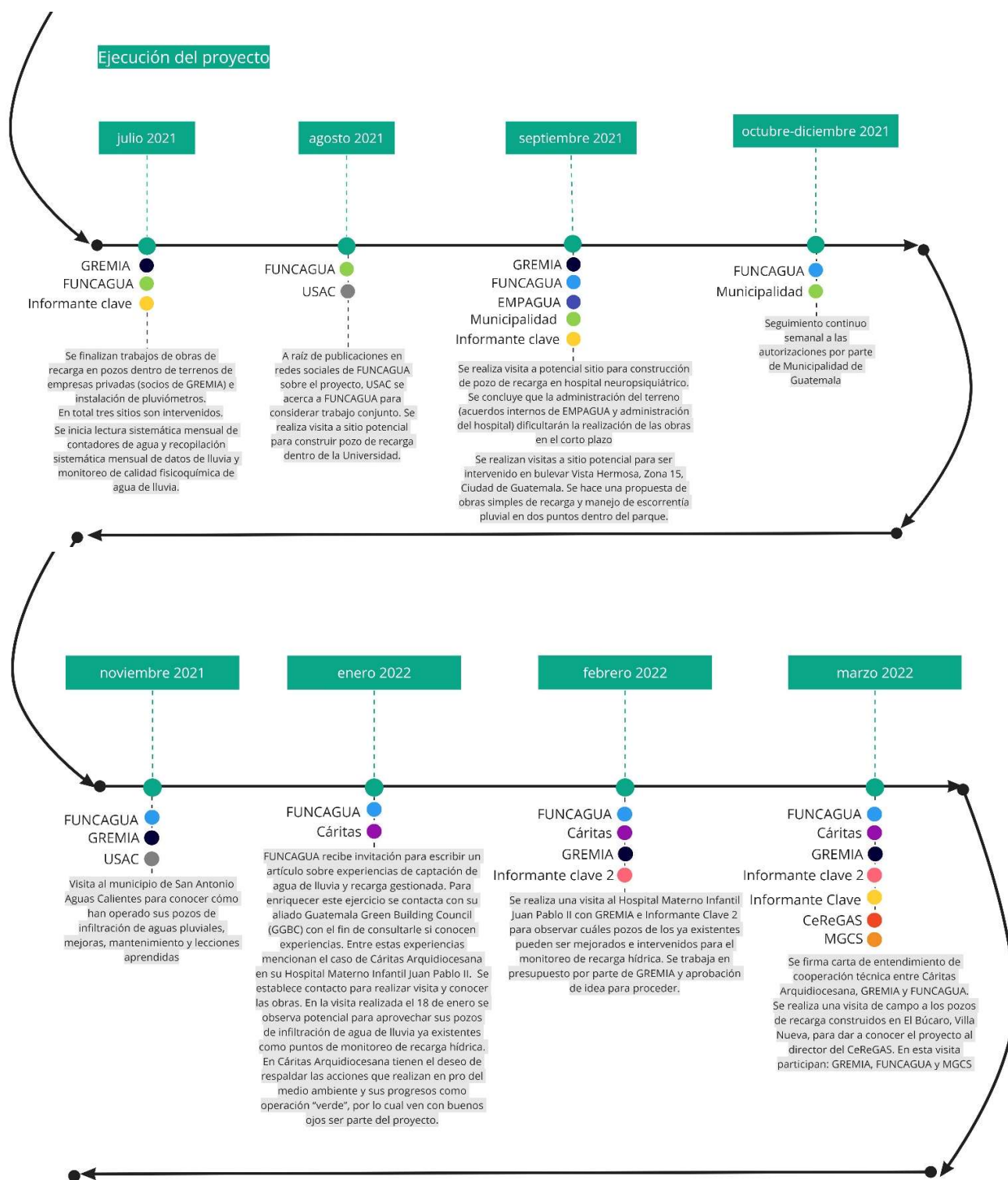


Figura 4.3. Línea del tiempo del proyecto (parte 2)



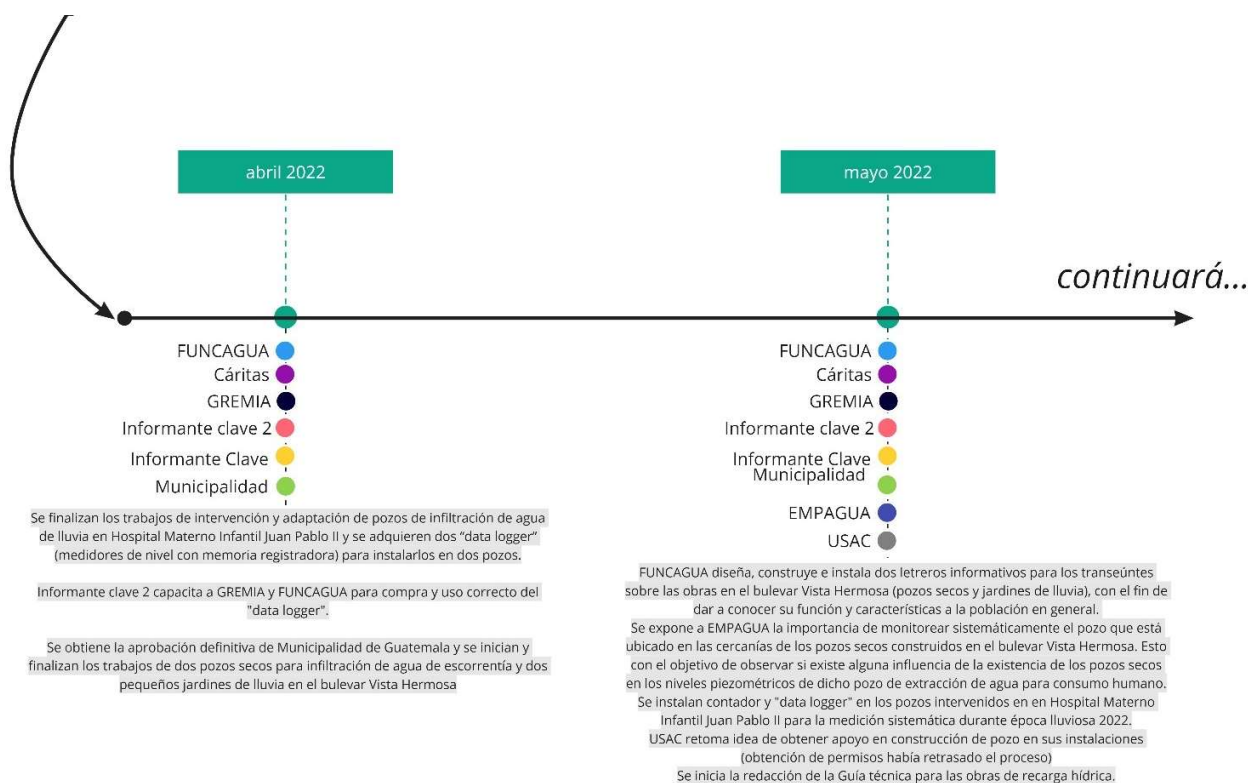


Figura 4.4. Línea del tiempo del proyecto (parte 3)

## 4.2.2 Ideas destacadas durante el taller, entrevistas y visitas de campo

### 4.2.2.1 Coyuntura nacional y local (RMG)

La principal situación a nivel nacional es la ausencia de una ley de aguas. El aprovechamiento de agua se da sin normas, hay sobreexplotación y no se sabe cuánta agua hay con certeza. No hay un ente que genere sistemáticamente información sobre el uso de este recurso y su comportamiento.

Adicionalmente, se han estudiado opciones para abastecer de agua a ciudad de Guatemala, y la opción más explorada es el trasvase desde cuencas muy lejanas, pero estas opciones no son viables desde un punto de vista de conflictividad social y económico, además no son implementables en el corto plazo. La ciudad va a seguir dependiendo del agua subterránea durante muchos años más, por lo cual se debe priorizar la protección de este recurso promoviendo su recarga.

El crecimiento de la ciudad ha sido notable en los últimos veinte años. Del año 2000 en adelante la ciudad tiene un giro total y el crecimiento poblacional es masivo. Se pasa de procesar de 10 a 15 licencias de construcción a tramitar 700 expedientes en un año,

solicitando licencias para edificios y centros comerciales, todos a partir de 700 m<sup>2</sup> de construcción<sup>6</sup>.

A nivel de la Municipalidad de Guatemala surge la preocupación de cómo manejar las aguas pluviales con la red de colectores y de drenajes que no había sido intervenida desde 1968<sup>7</sup>.

#### **4.2.2.2 Factores que incidieron en la ejecución y arranque del proyecto**

- Preocupación por el descenso acelerado de niveles de agua en los pozos mecánicos. Se consideró un asunto que no podía esperar, de ahí la urgencia de comenzar el proyecto. Se reportó descensos de 2 a 3 metros por año en el nivel de los pozos en los mejores sectores, pero hay algunos pozos que registran bajas de 30 metros en un año. A este ritmo se presume que la ciudad podría quedarse sin agua en 15 años, ante esto se da la premura de iniciar acciones lo antes posible.
- Disponibilidad de la junta directiva de Gremia para aportar los fondos de manera inmediata y no esperar a conseguir un préstamo o financiamiento externo. De hecho, todas las empresas que forman parte de Gremia tuvieron buena voluntad de iniciar a financiar lo que fuera necesario en el pilotaje.
- Proceso de identificar aliados y beneficiarios fue rápido pues se contó con las empresas agremiadas y aliados que Funcagua ya tenía como Municipalidad de Guatemala y EMPAGUA, además de tener el apoyo para explorar futuras opciones y encontrar lugares que pudieran (y pueden) sumarse al proyecto.
- Dependencia del agua subterránea en la ciudad para el abastecimiento de agua a la población. Principal hecho que permitió empezar a discutir el tema. Hay un consenso en cuanto a que el agua subterránea es cada vez más escasa. Hay más conciencia sobre el hecho de que se depende de agua extraída a partir de pozos mecánicos.
- Reconocimiento general y conocimiento técnico del profesional impulsor del proyecto (Ing. Jorge García Chiú).

#### **4.2.2.3 Problemas y cómo se han superado**

- Primera limitante del arranque: nos encontramos con una normativa de EMPAGUA que no permitía la infiltración de aguas pluviales en el proyecto. Se negoció y conversó con EMPAGUA exponiéndole lo crítico de la situación y cambió su postura.
- Falta de normativa sobre cómo hacerlo. Solo se cuenta con experiencias puntuales y a la fecha "seguimos cortos" con esto. Se tiene primer versión borrador de normativa que permitirá una construcción participativa.

---

<sup>6</sup> Muñoz, C. 26 abril 2022. Experiencia institucional en recarga hídrica y visión general sobre el tema. Comunicación personal por video llamada. Ciudad de Guatemala, Guatemala, EMPAGUA.

<sup>7</sup> Muñoz, C. 26 abril 2022. Experiencia institucional en recarga hídrica y visión general sobre el tema. Comunicación personal por video llamada. Ciudad de Guatemala, Guatemala, EMPAGUA.

- Sistemas de instituciones públicas. Burocracia interna en Municipalidad y EMPAGUA ha hecho más lenta la materialización del proyecto. Se he logrado avanzar con seguimiento y comunicación constante.
- Espacios de comunicación y construcción interactiva y presencial se vieron limitados por la pandemia durante 2020 y 2021. Las primeras visitas de campo e intercambios se lograron en noviembre 2021 y en marzo 2022.
- Dificultad para encontrar sitios donde construir las obras: procesos administrativos, permisos, suspicacias sobre el proyecto, etc. Son algunas de las barreras que hicieron lenta la implementación. La búsqueda constante de propietarios e instituciones interesadas que otorgaran los permisos fue clave para lograr el pilotaje.

#### **4.2.2.4 Aspectos interesantes durante la implementación**

Acercamiento de nuevos actores como USAC a raíz de publicaciones en redes sociales y conocimiento de que tienen un proyecto sobre el tema denominado: Proyecto sobre recarga de acuíferos gestionada. Digitalización de la infraestructura verde para la gestión sostenible de los recursos hídricos. DIGIRES 2021-2023. y las instituciones participantes son Universidad de Tecnología de Dresden Alemania, Universidad Cienfuegos de Cuba, Universidad de Pernambuco Brasil, Universidad de Mons en Bélgica, Universidad del Valle de Guatemala y Universidad de San Carlos de Guatemala. En Guatemala esta investigación es financiada por la SENACYT.

El acercamiento se dio al inicio con Universidad del Valle de Guatemala (UVG) quienes mostraron mucho interés y una respuesta favorable al inicio con la idea del proyecto, en ese momento se ofrecieron a desarrollar un modelo matemático. Se ha estancado un poco el avance pues su contribución era meramente académica y aún no se percibían insumos suficientes para trabajar a ese nivel. Sin embargo, es una puerta que permanece abierta para trabajar.

Los proyectos que se van sumando van aportando material para hacer la Guía Técnica del tema. Funcagua se define a sí misma como la organización que reúne y traslada el conocimiento, no ejecuta y no implementa, pero difunde y educa; además se encarga de la promoción del tema a nivel municipal y empresarial en los espacios que ha ganado con el tiempo, como la mesa técnica de agua y saneamiento de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur y algunas corporaciones que ven potencial en la temática.

Gremia por su parte asume el papel de invitar y lograr que tanto empresas públicas como privadas se sumen a la idea. Está en la búsqueda activa de aliados, que es de alta prioridad porque el problema es tan grave que requiere de múltiples actores para irlo solucionando. Busca unir más empresas del sector agua, sector inmobiliario, entre otros.

Puede que haya existido un poco de resistencia sobre la idea al inicio, a lo interno de EMPAGUA, institución que tenía prohibida la infiltración de agua pluvial hasta hace dos años, argumentando su oposición por la potencial contaminación de acuíferos. Pero luego, al ver

el problema y ver que sus pozos se ven amenazados, se decide crear una unidad de recarga hídrica con personal a tiempo completo dedicado al tema en 2021. Esto se ve como un factor positivo pues han tomado conciencia en el tema y aunque a nivel interno avanzan por su cuenta, han logrado importantes progresos para el sector público<sup>8</sup>.

#### **4.2.2.5 Observaciones sobre potencialidades y escalabilidad**

Acercamiento potencial a municipalidades como Santa Catarina Pinula, Villa Canales o Mixco, donde hay muchas posibilidades de que también entiendan la gran necesidad e importancia de abordar el problema. Sin embargo, el mayor inconveniente es la disponibilidad de fondos. Funcagua ha presentado el tema en la Mesa Técnica de Agua y Saneamiento de la MGCS. Ha sido de interés y ha llamado la atención de los encargados de oficinas de agua y saneamiento.

Funcagua observa que debe ampliar la socialización de datos sobre el descenso de los niveles piezométricos en pozos, no haciéndolo solo a las direcciones de agua. Sino que es pertinente acercarse a otras direcciones de planificación y obras, por ejemplo. Se percibe una desconexión entre estas unidades en las municipalidades, por ejemplo, la unidad de obras sigue perforando pozos y concediendo licencias, etc. Sin estar enterados de qué está pasando con la disponibilidad del agua subterránea, por lo cual se ve la necesidad de comunicarles también la problemática.

Ideas importantes mencionadas:

- Involucrando más instituciones se da a conocer el tema. "Es un proceso que llevará años, pero debemos sembrar la semilla".
- Los proyectos de pozos absorción ya existen y siguen existiendo, pero no se conoce su eficiencia ni su potencial como obras de recarga hídrica.
- No se conoce del tema a nivel de la población general. No hay aún una conciencia plena del problema.
- Barrera cultural a nivel del país: Si el tema de recarga llega a ser normativa se buscará la forma de saltar los requisitos y no cumplir.
- El descenso de las aguas subterráneas es evidente y se resalta la poca conveniencia de aumentar la explotación de las aguas subterráneas porque ya no es suficiente. Las empresas que forman parte de Gremia como grandes productores de agua que son, pueden practicar "devolver" agua como compensación ambiental y alargar vida útil de sus pozos. Por si solos no pueden tener impacto, sino también agregar más actores para que el impacto sea real. Lo que se requiere para que el proyecto sea exitoso es que se llegue a una normativa que sea obligatoria a nivel de municipalidades para que todos lo apliquen <sup>9 10</sup>.

---

<sup>8</sup> Muñoz, C. 26 abril 2022. Experiencia institucional en recarga hídrica y visión general sobre el tema. Comunicación personal por video llamada. Ciudad de Guatemala, Guatemala, EMPAGUA.

<sup>9</sup> Muñoz, C. 26 abril 2022. Experiencia institucional en recarga hídrica y visión general sobre el tema. Comunicación personal por video llamada. Ciudad de Guatemala, Guatemala, EMPAGUA.

<sup>10</sup> Mayorga, J. 28 abril 2022. Experiencia institucional en recarga hídrica y visión general sobre el tema. Comunicación personal. Ciudad de Guatemala, Guatemala, PENTAGUA.

#### **4.2.2.6 Respuesta a las preguntas críticas**

Las respuestas presentadas a continuación a las preguntas críticas planteadas en la metodología de sistematización son una síntesis de las ideas obtenidas durante el grupo focal, las entrevistas a informantes clave y los intercambios durante giras de campo.

El proyecto estudiado claramente surge de una preocupación, expresada por un experto en la exploración y uso de las aguas subterráneas. Su conocimiento general de la situación del país y la RMG, le permite tener una visión de futuro, donde claramente la escasez de agua sería la norma. Ante ello tomó la iniciativa de extrapolar sus recomendaciones (inicialmente hechas a clientes puntuales) a múltiples actores, lo cual se traduce en la creación de Gremia.

Consciente de que su alcance puede ser limitado por tratarse de una organización muy joven y además entender la necesidad de desarrollar el proyecto de manera objetiva (no ser implementador y evaluador al mismo tiempo) Gremia se apoya en Funcagua como un aliado para la validación técnica de sus intervenciones.

Funcagua tomó un papel relevante e iniciativa en la suma de actores que autorizaran las intervenciones en sus terrenos. Esto desembocó en numerosas reuniones y conversaciones de acercamiento. En algunos casos el proceso parecía avanzar bien, pero al cabo de unas semanas el propietario o junta directiva de algún sitio identificado como potencial tomaba la decisión de no autorizar la intervención (pozo seco de recarga). Finalmente, el acercamiento y propuesta a Cáritas Arquidiocesana dio frutos debido a la coincidencia de intereses institucionales respecto de aportar a temas ambientales.

Puede mejorarse el relacionamiento e involucramiento con el sector público, considerando siempre que sus procesos internos avanzan a un ritmo distinto, ya que no es sencillo para una institución pública autorizar obras o recibir donaciones. En muchos casos la existencia de convenios no es suficiente para defenderse de una queja o denuncia. Su quehacer debe ir muy respaldado por informes técnicos, planos firmados por expertos y justificaciones muy bien fundamentadas, a manera de responder a cuestionamientos no solo de la ciudadanía sino también de entes fiscalizadores del Estado. También era necesario comprender desde un inicio la limitación en el uso de terrenos que son del Estado, lo cual no suele ser autorizado de manera sencilla.

Si bien no se lograron realizar obras del proyecto en terrenos de EMPAGUA, por el momento, el tema de recarga hídrica a nivel interno de la institución avanza, de manera separada, con importantes progresos tales como<sup>11</sup>:

- Contar con una Unidad de Recarga Hídrica (desde 2020) y actualmente con personal dedicado a tiempo completo al tema para poder diseñar proyectos de

---

<sup>11</sup> Muñoz, C. 26 abril 2022. Experiencia institucional en recarga hídrica y visión general sobre el tema. Comunicación personal por video llamada. Ciudad de Guatemala, Guatemala, EMPAGUA.

este tipo y cumplir con todos los requisitos solicitados por las diferentes instituciones del gobierno.

- Tipificar la existencia de este tipo de proyectos a nivel de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (Segeplán). Con esto ya es posible justificar el uso de recursos públicos y de la institución en este tipo de obras, fundamentando su utilidad y la necesidad de realizarlas. Además, se deben respaldar los presupuestos con la contraloría y considerar en cada obra quién se responsabiliza de qué aspecto: construcción, operación, mantenimiento, considerando la vida útil.
- Dar a conocer el fundamento de la recarga hídrica a otras instituciones públicas como el MARN. Esta es una labor que describen como "picar piedra" pues hay que abrir camino. Se empieza desde cero para dar a conocer la terminología, conceptos, usos, importancia. A nivel de la Unidad de Recarga Hídrica (de EMPAGUA) han debido educar y compartir sobre el tema. Las barreras que han identificado son la novedad y el desconocimiento. Existe poca bibliografía.
- Avanzar en la elaboración de dos normativas sobre el tema para uso a nivel de la municipalidad de Guatemala: Recarga hídrica en subsuelo (conceptos, usos, posibilidades) y Recarga hídrica para proyectos de construcción (específicamente lineamientos constructivos de este tipo de obras - distanciamientos, materiales, dimensiones-).
- Posibilidad de lograr construir sus propios pozos de recarga hídrica en julio de 2022 y apertura de compartir su experiencia con grupos interesados en la temática como lo son Gremia y Funcagua.
- Identificación de una gran oportunidad para educar y socializar el tema, debido a la necesidad de establecer un lenguaje común a nivel de sector público. Además de educar con visitas técnicas a niños, estudiantes y ciudadanía en general.

En el caso del potencial proyecto en USAC aún se puede aportar pues se plantea que el pozo de recarga hídrica sea construido entre mayo y junio de 2022. Existe aún interés y apertura en que Funcagua aporte con lo aprendido y sirva como un sitio demostrativo al público en general.

Mancomunidad Gran Ciudad del Sur percibe las obras como una intervención relevante y sencilla que debe ser replicada en los municipios para prolongar la vida útil de sus pozos.

En general todas las partes y actores involucrados expresan consenso sobre lo siguiente:

- La recarga hídrica gestionada es muy poco conocida. Se debe difundir el tema, dar a conocer experiencias locales reales y aportar resultados relevantes sobre su efectividad.
- No hay suficiente documentación técnica al respecto.

- Para que escale el tema y su aplicación tenga más importancia se debe impulsar la creación de una mesa técnica y normas específicas, dando lugar a un verdadero marco legal.
- Hay un alto potencial de implementación de las obras a nivel de la RMG pero también a nivel nacional. Hay un verdadero potencial de contrarrestar la sobreexplotación de las aguas subterráneas, pero también de prevenir inundaciones.
- Guatemala está rezagado en el tema si se compara con la grave situación que experimenta y ya se vive en la RMG y con la muy necesaria toma de acciones para reducir la sobreexplotación de las aguas subterráneas.

#### 4.2.3 Descripción del pilotaje de recarga hídrica en la RMG

El pilotaje de obras de recarga hídrica desarrollado por Gremia y Funcagua consta de las siguientes obras y se indican sus respectivas características en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.2 Inventario de obras del pilotaje de recarga hídrica desarrollado entre Gremia y Funcagua y sus principales características.

| No. | Tipo de obra         | Codificación | Ubicación   | Características   | Apéndice ilustrativo |
|-----|----------------------|--------------|---|---|----------------------|
| 1   | Pozo seco de recarga | pozo_VN-01   | El Búcaro, Villa Nueva                              | Profundidad 18 m<br>Diámetro total 1 m<br>Encamisado 24" (61 cm)<br>Recibe agua de escorrentía    | 6.10                 |
| 2   | Pozo seco de recarga | pozo_VN-02   | El Búcaro, Villa Nueva                              | Profundidad 18 m<br>Diámetro total 0.9 m<br>Encamisado 24" (61 cm)<br>Recibe agua de escorrentía  | 6.10                 |
| 3   | Pozo seco de recarga | pozo_z3      | Zona 3, Ciudad de Guatemala                         | Profundidad 19.4 m<br>Diámetro total 0.9 m<br>Encamisado 24"<br>Recibe agua de techos             | 6.11                 |
| 4   | Pozo seco de recarga | pozo_z15     | Zona 15, Ciudad de Guatemala                        | Profundidad 18 m<br>Diámetro total 0.9 m<br>Encamisado 24"<br>Recibe agua de escorrentía y techos | 6.12                 |
| 5   | Pozo seco de recarga | pozo_VH-1    | Bulevar Vista Hermosa, Zona 15, Ciudad de Guatemala | Profundidad 8 m<br>Diámetro total<br>Sin encamisado<br>Recibe agua de escorrentía                 | 6.13                 |
| 6   | Pozo seco de recarga | pozo_VH-2    | Bulevar Vista Hermosa, Zona 15, Ciudad de Guatemala | Profundidad 8 m<br>Diámetro total<br>Sin encamisado<br>Recibe agua de escorrentía y techos        | 6.13                 |

| <b>No.</b> | <b>Tipo de obra</b>  | <b>Codificación</b> | <b>Ubicación</b>                                    | <b>Características</b>   | <b>Apéndice ilustrativo</b> |
|------------|----------------------|---------------------|---|--|-----------------------------|
| 7          | Jardín de lluvia     | Jardin_lluvia_VH-1  | Bulevar Vista Hermosa, Zona 15, Ciudad de Guatemala | Recibe agua de escorrentía<br>Forma irregular con profundidad variable entre 15 (bordes) has 30 cm (centro)  | 6.14                        |
| 8          | Jardín de lluvia     | Jardin_lluvia_VH-2  | Bulevar Vista Hermosa, Zona 15, Ciudad de Guatemala | Recibe agua de escorrentía<br>Forma irregular con profundidad variable entre 15 (bordes) has 30 cm (centro)  | 6.14                        |
| 9          | Pozo seco de recarga | pozo_MIX-01         | Hospital Juan Pablo II, Zona 4, Mixco               | Profundidad 19 m<br>Diámetro total<br>Sin encamisado<br>Preexistente, brocal y tapa mejorados<br>Recibe agua de techos   | 6.15                        |
| 10         | Pozo seco de recarga | pozo_MIX-02         | Hospital Juan Pablo II, Zona 4, Mixco               | Profundidad 28 m<br>Diámetro total<br>Sin encamisado<br>Preexistente<br>Recibe agua de techos  | 6.15                        |
| 11         | Pozo seco de recarga | pozo_MIX-03         | Hospital Juan Pablo II, Zona 4, Mixco               | Profundidad 23 m<br>Diámetro total<br>Sin encamisado<br>Preexistente. Modificación en canal para crear una caja receptora de pretratamiento (sedimentación) y colocación de contador de agua.<br>Recibe agua de escorrentía (canal) y techos | 6.15                        |

La ubicación de las obras se presenta en la figura 4.4.



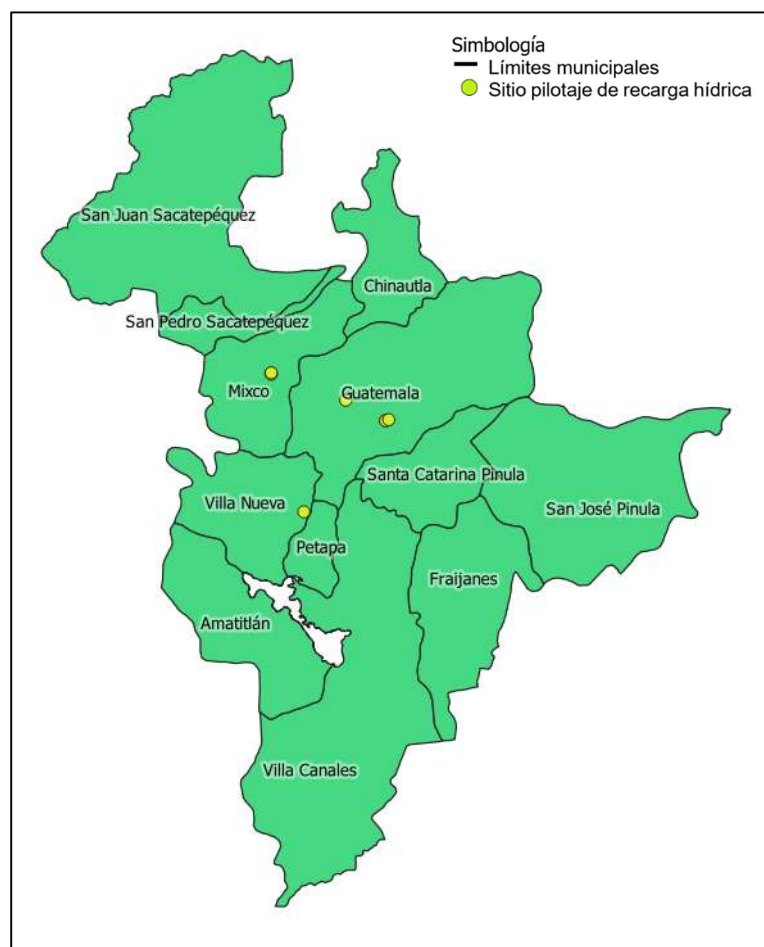


Figura 4.5 Ubicaciones de los cinco sitios con obras de recarga hídrica en los municipios de la RMG.

### **4.3 Binomios problema-solución Comparación de estrategias para abordar la escasez hídrica o déficit de agua**

Este resultado se desarrollará durante la Fase 2 del proyecto según la Hoja de Ruta presentada en el Apéndice 7.15

### **4.4 Guía con lineamientos técnicos de implementación, gestión y monitoreo para incidir en políticas públicas en materia de conservación de agua y futuros proyectos de MAR en zonas urbanas de Guatemala, haciendo énfasis en pozos secos.**

Se produjo una Guía técnica cuyos contenidos se detallan en la Figura 4.6. Este documento se validó y revisó por Funcagua y Gremia. Se editó en una diagramación específica como parte de las publicaciones técnicas que realiza Funcagua y estaría disponible

para su consulta de manera pública una vez se oficialice su publicación y se realice el evento de lanzamiento inicialmente planeado para noviembre de 2022.

La Guía que se elaboró se concentró en recomendaciones de la técnica MAR con obras del tipo pozos secos (shallow wells, dry wells), basadas en la experiencia práctica del pilotaje descrita en la sección 4.2.3.

La Guía aborda la recarga en pozos secos utilizando agua de lluvia captada en techos y agua de lluvia de escorrentía. No se aborda esta técnica de MAR con agua de otras fuentes (ej. efluentes tratados de aguas residuales).

La aplicabilidad de dicha Guía está dirigida a obras en acuíferos superficiales y acuíferos no confinados (acuíferos libres).

La guía no profundiza en opciones de tratamiento post recuperación del agua recargada para usos específicos que puedan requerir filtración y cloración (ej. consumo humano, agua de proceso industrial).

Los objetivos de la Guía creada fueron:

- Ofrecer información relevante sobre la recarga gestionada de acuíferos en términos generales, dando a conocer las distintas técnicas, beneficios y posibilidades de esta práctica.
- Ser una herramienta práctica para el desarrollo de proyectos de recarga gestionada de acuíferos en Guatemala, específicamente empleando la técnica de pozos secos, buscando que dichas intervenciones se realicen de manera segura y con buen desempeño.
- Incentivar la aplicación de este tipo de obras de bajo riesgo, para contribuir a que se genere más información sobre las mismas, reduciéndose las dudas e incertidumbre en su implementación y minimizando las fallas.

Los contenidos plasmados en la Guía incluyen los apartados detallados en la Figura 4.6

|   |
|---|
| Presentación  |
| 1. Introducción: Importancia y necesidad de la guía   |
| 2. Justificación de la guía: situación del agua subterránea en la Región Metropolitana de Guatemala |
| 3. Objetivos y alcance de la guía   |
| 4. Marco conceptual   |
| 5. Pautas técnicas para la implementación de técnicas MAR   |
| 5.1 Identificación del problema   |
| 5.2 Identificación del sitio y viabilidad del proyecto  |
| 5.3 Selección de la obra  |
| 5.3.1. Pozos de infiltración y pozos secos para la recarga gestionada de acuíferos                  |
| 5.4 Diseño de la obra   |
| 5.5 Construcción de la obra   |
| 5.6 Plan anual de mantenimiento   |

|  |
|--|
| 5.7 Evaluación del funcionamiento  |
| 6. Caso de estudio: pozos secos para la recarga gestionada de acuíferos          |
| 6.1 Identificación del problema  |
| 6.2 Identificación del sitio y viabilidad del proyecto                           |
| 6.3 Selección de la obra   |
| 6.4 Diseño de la obra  |
| 6.4.1 Pruebas de infiltración y capacidad del pozo                               |
| 6.4.2 Potencial de captación de agua en el pozo                                  |
| 6.4.3 Potencial de captación de agua desde techos de lámina                      |
| 6.4.4 Potencial de captación de agua de escorrentía                              |
| 6.5 Construcción de la obra  |
| 6.6 Plan anual de mantenimiento  |
| 6.6.1 Problemas que pueden presentarse y su solución                             |
| 6.7 Evaluación del funcionamiento  |
| 6.8 Costos de referencia (2021)  |
| 7. Referencias   |
| 8. Apéndices   |
| 8.1 Ficha para orientar la selección del sitio de un pozo seco de infiltración   |
| 8.2 Permeabilidad de los suelos en la ciudad de Guatemala                        |
| 8.3 Mapa geológico Zonas 1, 3, 4, 7 y 8  |
| 8.4 Mapa geológico Zona 2  |
| 8.5 Mapa geológico Zonas 1 y 5   |
| 8.6 Mapa geológico Zonas 6 y 18  |
| 8.7 Mapa geológico Zonas 11 y 12   |
| 8.8 Mapa geológico Zonas 15, 16 y 17   |
| 8.9 Mapa geológico Zonas 17 y 24   |
| 8.10 Parámetros de monitoreo de calidad del agua                                 |
| 8.11 Ejemplo de una gráfica generada por el dispositivo registrador (datalogger) |
| 9. Anexos  |
| 9.1 Metodología de pruebas de infiltración                                       |
| 9.2 Coeficientes de escorrentía para fórmula racional                            |

Figura 4.6 Contenidos de la Guía técnica para la recarga gestionada de acuíferos mediante pozos secos

El apartado de *Pautas técnicas de implementación* sintetiza el paso a paso en un proyecto de MAR de pozos secos, cada paso es detallado posteriormente en el documento y se ejemplifica con un caso de estudio desarrollado en el pilotaje.

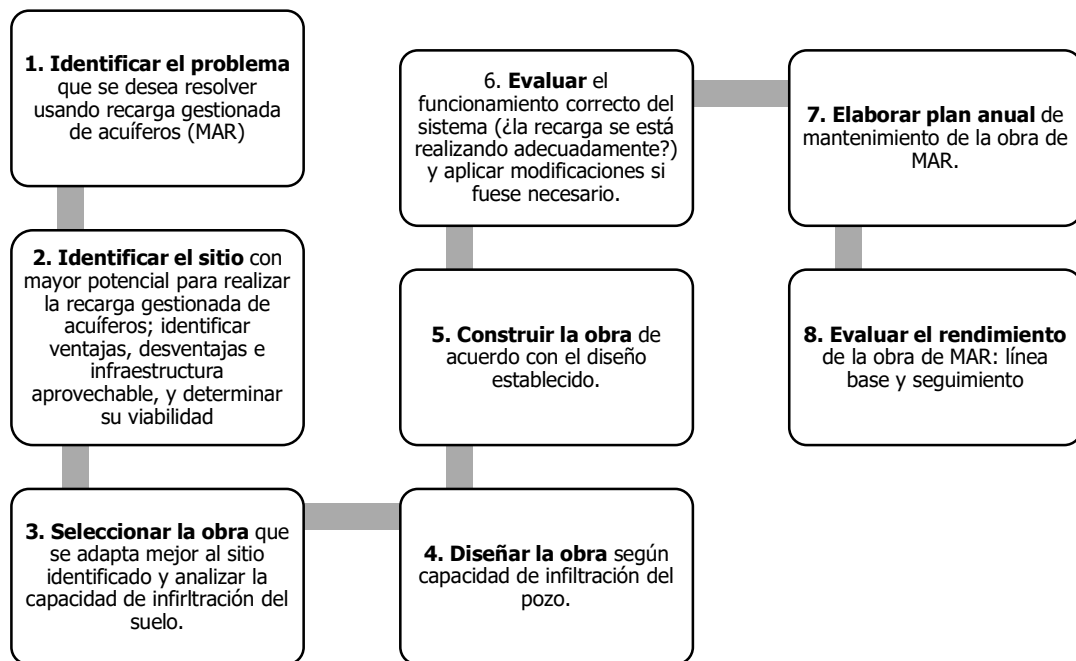


Figura 4.7 Pasos para la implementación de proyectos de MAR abordados en Guía técnica para la recarga gestionada de acuíferos mediante pozos secos.

La Guía también utiliza un caso de estudio a manera de ejemplo para mostrar el paso a paso para el diseño y construcción de los pozos secos acudiendo a muestras de cálculo en los apartados donde es necesario.

Se presenta además un detallado respaldo fotográfico de cómo se construyeron los pozos secos del pilotaje y qué problemas se experimentaron, sugiriendo así los mínimos cuidados y situaciones que deben tenerse en cuenta para el plan anual de mantenimiento.

Finalmente se especifica que es necesario el monitoreo de la obra para medir su aporte real a la recarga hídrica del sitio y se brindan las recomendaciones para realizar este seguimiento y poder cuantificar el aporte volumétrico de cada obra.

La Guía pasó por un proceso de validación entre diversos revisores tanto internos (de Gremia y Funcagua) como revisores externos.

## 5. Reflexiones finales y hoja de ruta

En este apartado se realiza el ejercicio de triangulación entre la información primaria, las opiniones obtenidas en el taller y los insumos de las entrevistas, casos visitados y observaciones durante las visitas de campo. Además, se responde de manera puntual las preguntas críticas formuladas en la metodología de sistematización de experiencias (Cuadro 3.3).

Este ejercicio de triangulación y el análisis de desafíos por resolver son lo que da como resultado la Hoja de Ruta presentada en el Apéndice 7.15 que crea la Fase 2 del proyecto.

1. ¿Se identifica algún contexto (institucional, local, regional, mundial) en especial que favoreció al proyecto? ¿Qué hechos/ situaciones particulares han permitido el avance?

Para favorecer el proyecto ha existido una convergencia de contextos en diferentes niveles. Se identifica en primer lugar la recarga hídrica gestionada como una medida planteada en el documento de línea base de la Funcagua "Plan de Conservación del Agua" generado en 2018. En este documento el apartado 15.3 hace referencia al manejo de la recarga de acuíferos, menciona opciones y resume en un cuadro las oportunidades y barreras para cada técnica.

Respecto a los pozos someros el documento indica como ventajas que la zona no saturada puede mejorar la calidad del agua y los requerimientos de agua son bajos, como barrera se señala que experimentan más problemas de colmatación con respecto a pozos profundos (Funcagua, 2018, p. 174).

«[...] las instituciones que trabajaron en la elaboración del Plan de Conservación recomiendan impulsar y apoyar diversas técnicas de MAR para distintos usos de la tierra en la Región Metropolitana (bosque, regeneración natural, agricultura y urbano) y no enfocarse solamente en la recarga natural que pueda ocurrir en bosques bajo conservación o áreas en donde se apoye la recuperación de cobertura forestal. Si el fin último de las inversiones de la Funcagua es aportar a que se recuperen y aumenten las fuentes hídricas subterráneas y superficiales, la ciencia y las experiencias de diversos países presentan opciones para lograrlo de manera más efectiva» (Funcagua, 2018: 175).

Por otro lado, la constitución legal de Gremia en 2018 y su interés de abordar este tema como un proyecto insignia permiten que exista una clara afinidad entre los objetivos de ambas organizaciones.

A nivel municipal el tema ya se había identificado como una necesidad en los talleres participativos realizados en 2018 para el Plan de Conservación del Agua donde se rescatan ideas como:

- Carencia de un programa de incentivos que contribuya a prevenir la erosión y propiciar la recarga hídrica.

- Presión por la impermeabilización de áreas de recarga por el cambio de uso de la tierra (pérdida de cobertura vegetal).
- Investigar sobre recarga natural y artificial de acuíferos, a partir del nuevo mapa a escala 1:50000.
- Fortalecer la formación de [...] personal de la oficina de licencias y de otras dependencias de las municipalidades, a manera de ampliar los reglamentos de construcción, para incluir la recarga hídrica en áreas verdes, el uso de materiales semipermeables, reúso del agua, entre otros.

La creación de una unidad de recarga hídrica en la Empresa Municipal del Agua en 2021 responde también a una preocupación de la empresa por saber qué se podía hacer ante el reto de que la población sigue creciendo y los niveles del agua subterránea siguen bajando. Cuando surge la necesidad se empiezan reuniones con la cooperación española y trata el tema de seguridad hídrica<sup>12</sup>.

Aunado a esto hay contexto mundial respecto a las aguas subterráneas y la vulnerabilidad que este recurso experimenta con los efectos del cambio climático y la sobrepoblación mundial, esta preocupación se evidencia en el lema del día mundial del agua 2022 de la ONU "*Aguas subterráneas: hacer visible lo invisible*". Este lema permitió hacer exposiciones en diferentes espacios durante el año sobre el pilotaje de recarga hídrica y exponer resultados de los estudios de niveles piezométricos de la Funcagua, abriendo oportunidades con diferentes actores y academia para escalar el tema.

## 2. ¿Qué hechos/ situaciones particulares han hecho más lento el proceso?

Puede afirmarse que al inicio del proyecto no se tenía una noción de cuánto tiempo demanda realmente conseguir los lugares para construir las obras piloto, principalmente si se trata de terrenos que pertenecen al sector público. Subestimar esta etapa de cooperación y autorizaciones hizo que se tuvieran expectativas muy prontas de resultados científicos del proyecto, datos que en realidad se lograrán generar hasta tener una temporada lluviosa completa de monitoreos y por ello forman parte de la segunda fase del proyecto.

Esta etapa pudo haberse acelerado realizando un lobby inicial con el perfil de proyecto (un paso a paso) abarcando numerosos actores y solicitándoles que manifestaran su interés de aportar su terreno para construir una obra de recarga hídrica; para posteriormente con cada uno, reconocer qué requisitos o procesos serían necesarios para lograr los permisos y construir la obra.

En este proceso pudo haberse involucrado desde un inicio a las municipalidades de MGCS para que aquella que estuviera dispuesta a hacerse cargo del mantenimiento recibieran la donación de una primera obra, aledaña a algún pozo mecánico de interés o

---

<sup>12</sup> Muñoz, C. 26 abril 2022. Experiencia institucional en recarga hídrica y visión general sobre el tema. Comunicación personal por video llamada. Ciudad de Guatemala, Guatemala, EMPAGUA.

pozo deshabilitado. El proyecto se dio a conocer a las municipalidades cuando ya estaban las obras avanzadas en los sitios privados.

3. ¿Qué debió hacerse, pero no se hizo? ¿Qué debe hacerse y aún se puede hacer?

Debió reconocerse que la ruta de trabajo para involucrar a los actores privados no es la misma a seguir que con los actores públicos y el ritmo de avance y aprobación no será el mismo.

Es necesario considerar que en el sector público cualquier tipo de proyecto o donación debe cumplir con ciertos requisitos para ser aprobados, para que las instituciones como Municipalidad o EMPAGUA tengan cómo amparar la situación en caso de que surja una denuncia o suceda alguna queja de parte de la población. En esta parte es donde ha sido difícil ponerse de acuerdo. Se debe mejorar el perfil del proyecto, establecer el plan de acción, mantenimiento y presupuesto, se debe establecer con qué cumplir. Todo debe hacerse con justificación y exponiendo qué consideraciones se han tenido pues una institución pública rinde cuentas a los ciudadanos y eso resulta difícil de transmitir a veces al sector privado.

Aún se puede trabajar involucrando más al sector público usando los insumos generados en la primera fase del proyecto. Ya se cuenta con más información: planos, dimensiones, consejos constructivos y de mantenimiento, presupuestos, cuidados, monitoreo y se tendrá también resultados específicos del funcionamiento de las obras piloto establecidas en la primera etapa.

La ruta por seguir y próximos pasos dentro de la fase 2 del proyecto se presentan en el Apéndice 7.16. Dentro de lo más importante por desarrollar puede mencionarse:

- El monitoreo continuo de las obras piloto y publicación de los resultados que se obtengan.
- La publicación de la Guía Técnica y su socialización.
- El análisis de binomios problema-solución para brindar una mirada objetiva a las técnicas de MAR desde sus ventajas y potencialidades comparándolas con otras formas de abordar el déficit hídrico.
- El establecimiento de una mesa técnica de recarga hídrica con múltiples actores para la revisión participativa de un borrador de normativa que será la base para ordenanzas municipales.
- La creación de capacidades en el sector municipal sobre la recarga gestionada de acuíferos.

- Análisis multicriterio con sistemas de información geográfica para la priorización de sitios con potencial para obras de recarga gestionada de acuíferos<sup>13</sup>.
  - Realizar un estudio de la percepción social sobre este tema<sup>14</sup>.
4. ¿Qué papel ha asumido cada uno de los actores? ¿Quién ha liderado el proceso? ¿Dicho papel se ha mantenido o a evolucionado a lo largo del proyecto? ¿Qué provocó dichos cambios? ¿Cómo se ven los actores a sí mismos dentro del proceso?

El proceso sigue siendo liderado por Gremia y Funcagua. En lo que va del tiempo de proyecto Funcagua ha asumido un rol de difusión y lobby intersectorial no solo para conseguir apoyo con espacios para la construcción de obras piloto sino para promover el tema como una alternativa de compensación de impacto en el sector privado.

Dentro del taller realizado para la sistematización se menciona: "Funcagua aporta en trasladar el conocimiento para promover la implementación de MAR en sector público y privado".

Gremia se reconoce a sí mismo con un rol principalmente de ser financista de las primeras obras y de aportar el conocimiento inicial para la construcción de estas, los informantes clave con su conocimiento han contribuido a la realización técnica y a transmitir el conocimiento a Funcagua. Gremia aporta además las estaciones meteorológicas y pluviómetros en los sitios con el propósito de generar datos pluviales que aporten a la interpretación de resultados del monitoreo.

Funcagua ha organizado visitas a los sitios piloto y experiencias complementarias con diferentes actores como: Universidad de San Carlos, Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, Centro Regional para la Gestión de las Aguas Subterráneas, directivos de sus empresas socias fundadoras. Esto ha permitido que el tema sea conocido, genera alianzas, intereses de cooperación y de beneficiarios. Estas visitas han generado para Funcagua algunos beneficios tangibles como convenios de cooperación para desarrollar cursos en materia de aguas subterráneas, participación en capacitaciones sobre recarga gestionada de acuíferos con expertos internacionales y reconocimiento como impulsor de esta alternativa en el país.

## **5.1 Desafíos por resolver**

### **5.1.1 Cultura del agua y normatividad**

Se seguirá trabajando dentro de una gran brecha para alcanzar la conciencia nacional y local respecto al valor del agua. Esto requiere un esfuerzo constante de educación y

---

<sup>13</sup> Se recomienda consultar los trabajos de: (Bonilla, Blank, Roidt, Schneider y Stefan, 2016); (Malekmohammadi, Ramezani y Reza, 2012) y (Rahman, Rusteberg, Gogu, Lobo-Ferreira y Sauter, 2012).

<sup>14</sup> Se recomienda consultar los trabajos de: (Leviston, Browne y Greenhill, 2013); (Makad y Walton, 2015) y (Mankad, Walton y Alexander, 2015).



espacios de concientización para que se reconozca la crisis del agua cada vez más evidente y se tenga conocimiento sobre los constantes problemas que enfrentan las municipalidades para abastecer de agua a la población debido a la falta de recursos, que no son recaudados en un modelo tarifario diseñado para tal fin.

Se requiere fomentar el ahorro del agua y pago apropiado por la prestación del servicio de agua, resaltando las causas de la escasez y problemas de operación para que se tenga mayor sustento ante la población al momento de diseñar tarifas locales y según situaciones sociales diferenciadas.

La falta de pago o el pago poco representativo para sufragar la operación y mantenimiento de los servicios de abastecimiento de agua a nivel municipal se convierte a la larga en "eventuales deterioros de la continuidad y calidad del suministro, lo que puede forzar a usuarios a terminar pagando más por un servicio complementario." (Funcagua, 2022).

Mensualmente el consumo de agua en una vivienda en la ciudad es de GTQ 272/mes, costo que engloba GTQ 153.30 por agua de chorro, GTQ 103.30 por garrafón (agua purificada), GTQ 12.70 por agua de cisterna y GTQ 3.00 por tonel (Observatorio Económico Sostenible, 2021, citado por Funcagua, 2022).

En una encuesta desarrollada en el año 2021 (Observatorio Económico Sostenible, 2021 citado por Funcagua, 2022) se conoció que sí hay disposición a pagar (DAP) por los usuarios del agua: con tal de reducir un día de interrupción del servicio de agua de chorro en su hogar pagarían un valor de GTQ 14.90 al mes por vivienda y para asegurarse el servicio continuo una media de GTQ 57.3 por mes por hogar. Un resultado similar se obtuvo en un estudio previo del año 2013 donde la DAP para asegurar el agua en la ciudad de Guatemala y otros municipios vecinos se determinó en GTQ 56.1 al mes por hogar.

Como se ha señalado anteriormente no se puede depender de la aprobación de una ley de aguas a nivel nacional para empezar a trabajar. Los municipios pueden incidir en la recaudación y reglamentación desde sus ordenanzas y reglamentos municipales.

Generar estas normativas y ordenanzas debe hacerse desde la capacidad técnica y humana a nivel municipal pero para poder ser aplicados y legitimarse deben también considerar la participación de la ciudadanía y la sinergia entre diferentes niveles de toma de decisiones, para así tener mayor impacto en aumentar la seguridad hídrica en el país.

Funcagua y Gremia pueden incidir desde la generación de capacidades técnicas diseñando cursos, diplomados, incluyendo giras técnicas y dando asesoría para que las ideas partan de una buena base de conocimiento y experiencia local, como la generada mediante este pilotaje de recarga gestionada de acuíferos.

Además de las regulaciones tarifarias y de uso también debe remediarse la tendencia de seguir perforando pozos de manera descontrolada por la creciente demanda, extrayendo

el agua sin pensar en compensar o devolver lo que se saca, ya que como se ha mencionado, el cambio de uso de suelo hacia la urbanización y zonas impermeabilizadas impide los procesos naturales de recarga hídrica.

Para lograr eso deberá construirse entre las partes interesadas un reglamento específico para regular la perforación de pozos que podrán quedar muy cercanos entre sí, previniendo situaciones de interferencia entre estos. Además, fijar criterios de metrajes para que nuevas construcciones con áreas importantes de techos y zonas pavimentadas puedan dirigir sus aguas pluviales hacia pozos secos para recarga.

Por otro lado, las normas, además de lograr ser efectivas también deben ser equitativas para tener la debida legitimidad. Derechos y deberes deben ir de la mano, ya que si solo ciertos actores aportan toda la responsabilidad y otros solamente sacan provecho; cualquier iniciativa reglamentaria dará lugar a la conflictividad y estará destinada al fracaso.

En síntesis, aunque la normatividad es importante, ya que guía la conducta deseable y esperada en la sociedad respecto a una situación, por sí sola no basta. Debe acompañarse con otras medidas promoviendo la cultura y conciencia, las sanciones e incentivos, la fiscalización y vigilancia. Tener un sólido sustento social e institucional es una condición clave de gobernanza.

La normatividad que desea impulsarse en torno a MAR mediante obras de pozos secos, en la segunda fase de este proyecto, surgirá de una mesa técnica interinstitucional y deberá considerar los elementos destacados anteriormente.

### **5.1.2 Financiamiento**

Las obras de recarga hídrica gestionada del tipo pozos secos o pozos someros no son especialmente costosas con respecto a otras técnicas de MAR, sin embargo, la implementación de varios pozos secos y su respectivo monitoreo y mantenimiento sí puede ser una carga económica para la autoridad local.

Se vislumbra como una de las principales opciones la construcción por convenios público-privados donde Funcagua funge como intermediario para impedir el conflicto de intereses que puede surgir cuando se da la interacción directa entre donaciones privadas y sector público, y que suele ser vista con suspicacia por la opinión pública.

Así, una empresa privada que desea "aportar agua" mediante la recarga gestionada de acuíferos a una comunidad o municipalidad puede hacerlo cubriendo el costo de la obra mediante una donación a Funcagua. Funcagua se encarga de la implementación y monitoreo y de dar cuenta de los resultados y eficiencia de la obra en términos de volumen de agua recargado, tanto al donante (la entidad privada) como al beneficiario (la comunidad o municipalidad). Un esquema similar ha venido funcionando con la donación de sistemas de cosecha de agua de lluvia en escuelas de la RMG.

Se suscribiría un convenio de cooperación con la autoridad local donde se comprometen a dar mantenimiento y seguridad tanto a la obra como a los equipos de monitoreo y reportar

cualquier inconveniente que surja con la misma. Inclusive pueden ir involucrándose paralelamente en el monitoreo sistemático para aprender a generar la información e interpretarla.

Se deben explorar además de este modelo otras ideas para el financiamiento de estas obras y cómo será la corresponsabilidad en el manejo de estas si se construyen por convenios público-privados similares al citado.

Otra opción para lograr el financiamiento que permita aplicar esta técnica de MAR a largo plazo requiere acordar y poner en práctica opciones justas y viables para que en las tarifas se incorporen los costos de mejorar el funcionamiento de pozos existentes y hacer nuevos aplicando el enfoque de pozos secos. De ahí la importancia de llegar a materializar mecanismos de cobro por el servicio de agua entregado que puede surgir como iniciativas desde la MGCS, todas ideas que se deben implementar paulatinamente con campañas educativas junto con la mejora del servicio.

Las empresas privadas que utilizan pozos mecánicos y tienen la posibilidad de “devolver” el agua como una compensación ambiental mediante el uso de pozos secos (lo cual les permite alargar la vida útil de sus actuales pozos de extracción) pueden asumir los costos de las obras si consideran aspectos de sostenibilidad y si se les aplica algún incentivo.

### **5.1.3 Ciencia para respaldar decisiones**

La construcción del mapa basado en análisis multicriterio mediante SIG permitirá orientar la localización de las obras, destinando así los recursos económicos para construirlas en puntos donde se concluya que la recarga es optimizada y generará un beneficio. Sin esta base de conocimiento es posible que obras de recarga del tipo pozo secos se construyan sin que su aporte sea real al acuífero superior.

El monitoreo de las obras tanto en su aporte de volúmenes de agua como en la calidad del agua recargada es crucial para que se constituyan en un verdadero esfuerzo de recarga gestionada de acuíferos, con información real sobre su eficiencia.

Otro aspecto por mejorar de suma importancia es lograr relacionar el aporte de los pozos secos de recarga con efectos en los niveles piezométricos de pozos de monitoreo o pozos mecánicos cercanos, para lo cual se deben establecer ubicaciones clave que permitan hacer esta comparación y diseñar estudios de trazabilidad con técnicas de isotopía y variaciones en la temperatura.

### **5.1.4 Percepción de la ciudadanía sobre las técnicas MAR**

Se debe tomar en cuenta que, como toda técnica poco conocida o enfoque novedoso, la implementación de obras de recarga gestionada de acuíferos como las estudiados en el pilotaje del tipo pozos secos, se verá sometida a un escrutinio público donde podrán surgir opiniones encontradas entre la población.

La realización de talleres consultivos y recopilación de opiniones en focus group puede ser una manera de dimensionar cómo será visto el uso de pozos secos y otras obras similares alimentadas con agua de lluvia por la población.

Investigaciones previas con indicadores de percepción social han encontrado que algunas de las mayores preocupaciones son la necesidad de poder confiar en la calidad del agua y que no se estén dañando los acuíferos (Mankad, et.al., 2015). Sin embargo, las ideas pueden cambiar mucho en la población dependiendo del país, considerando que la investigación citada se realizó en Australia.

Es importante que la noción de recarga hídrica gestionada y la recuperación de aguas pluviales como una fuente indirecta de agua para el almacenamiento en los acuíferos se presente al público con cuidado, con buenos argumentos y conceptualización. Esto reducirá la probabilidad de que se asocien connotaciones negativas a la técnica traduciéndose en rechazo a la idea.

En este sentido es importante incorporar talleres de socialización que incluyan un abordaje de percepción social para conocer cómo será recibida la técnica de pozos secos para la recarga gestionada de acuíferos por la sociedad guatemalteca.

### **5.1.5 Conflictividad y gobernanza**

La OCDE entiende la gobernanza como el «abanico de reglas, prácticas y procesos políticos, institucionales y administrativos formales e informales, a través de los cuales se toman e implementan decisiones; los actores pueden articular sus intereses y sus inquietudes pueden ser tomadas en consideración; y los tomadores de decisiones rinden cuentas por su gestión del agua» (OCDE, citado por Funcagua, 2022:29).

La creciente escasez de un recurso esencial como el agua puede conducir al conflicto, pero también a la cooperación para lograr la gobernanza.

Cómo se de esta evolución hacia uno u otro lado depende de varios factores, pero es claro que los fondos de agua adquieren un papel crucial para transformar la problemática en oportunidades que permitan sentar a conversar a distintos actores e interesados en la temática, definiendo en espacios de diálogo su corresponsabilidad y el qué puede aportar cada quién.

El impulso de estas negociaciones puede tener inclusive un carácter preventivo, antes de que se presente el conflicto, o se agudice. Esto también aplicará a la normatividad y escalamiento de las técnicas de MAR y al papel que Funcagua tiene como fondo de agua en la RMG.

## 6. Literatura citada

- Asociación para el Manejo Sostenible de los Recursos Kársticos y Espeleológicos, Centro Universitario del Norte Carrera de Geología y Cordillera. 2010. Evaluación del potencial de aguas subterráneas de la República de Guatemala a escala (1:250 000) como apoyo al desarrollo del riego para la producción agrícola en comunidades de pequeños y medianos productores. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Ediciones Don Quijote.
- Basterrechea, M.; Dix, M.; Van Tuylen, S.; Méndez, A.; Díaz, L.; Mayorga, P.; Gil, N. 2018. Calidad del Agua en las Américas: riesgos y oportunidades. *Calidad del Agua en Guatemala*. IANAS Red Interamericana de Academias de Ciencias 374-392. Disponible en [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/10/Calidad-de-agua-en-las-Américas\\_2019.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/10/Calidad-de-agua-en-las-Américas_2019.pdf)
- Carrera, J. L. 2019. ¿Qué tan vulnerables somos? Elementos para entender la vulnerabilidad de Guatemala. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*. (pp. 64–85). Guatemala. Editorial Universitaria UVG.
- Colom, E. Morales, M. (Eds.). 2011. *Política Nacional del Agua de Guatemala y su estrategia*. Gabinete específico del agua. Gobierno de Guatemala. Disponible en [http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas\\_publicas/Recursos%20Naturales/Política%20Nacional%20del%20Agua%20de%20Guatemala.pdf](http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Recursos%20Naturales/Política%20Nacional%20del%20Agua%20de%20Guatemala.pdf)
- Comisión Nacional de Riego. 2020. *Guía Metodológica Recarga Artificial de Acuíferos*. (video). Gobierno de Chile. 7 min. 5 seg. son., color. Recuperado de: [www.youtube.com/watch?v=5mvm\\_wBydBg&t=136s](http://www.youtube.com/watch?v=5mvm_wBydBg&t=136s)
- Daus, A. 2019. *Almacenamiento y Recuperación de Agua en Acuíferos: Mejoramiento de la Seguridad en el Abastecimiento de Agua en el Caribe*. Oportunidades y Desafíos. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: [publications.iadb.org/publications/spanish/document/Almacenamiento\\_y\\_recuperación\\_de\\_agua\\_en\\_acuíferos\\_Mejoramiento\\_de\\_la\\_seguridad\\_en\\_el\\_abastecimiento\\_de\\_agua\\_en\\_el\\_Caribe.\\_Oportunidades\\_y\\_desafíos\\_es.pdf](http://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Almacenamiento_y_recuperación_de_agua_en_acuíferos_Mejoramiento_de_la_seguridad_en_el_abastecimiento_de_agua_en_el_Caribe._Oportunidades_y_desafíos_es.pdf)
- Escolero, O. Gutiérrez, C. Mendoza, E. (eds.). 2017. *Manejo de la recarga de acuíferos: un enfoque en Latinoamérica*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, México. Recuperado de: [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/manejo-recarga-acuíferos-ehl.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/manejo-recarga-acuíferos-ehl.pdf)
- Fernández, E; García, M. 2008. *Título 3: Gestión de la recarga de acuíferos (MAR)*. 2da edición. Madrid, España. Serie Hidrogeología Hoy. Grafinat Método Gráfico. 137 p.
- Fernández-Escalante, E., San Sebastián, J., Villanueva, M., Calero, R. 2018. *La recarga gestionada de los acuíferos como una técnica polivalente y efectiva de adaptación al*

cambio climático. Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Recuperado de [www.researchgate.net/publication/330534550\\_La\\_recarga\\_gestionada\\_de\\_los\\_acuíferos\\_como\\_una\\_técnica\\_polivalente\\_y\\_efectiva\\_de\\_adaptación\\_al\\_cambio\\_climático](http://www.researchgate.net/publication/330534550_La_recarga_gestionada_de_los_acuíferos_como_una_técnica_polivalente_y_efectiva_de_adaptación_al_cambio_climático)

Figueredo, J. (2019). Metodología para determinar zonas de recarga hídrica en municipios o comunidades con recursos financieros limitados. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. Colombia. Recuperado de: [https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/34946/FIGUEREDOPA\\_NJORGELUIS2019.PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/34946/FIGUEREDOPA_NJORGELUIS2019.PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Fondos de Agua. 2021. Los fondos de agua. Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua. Disponible en: <https://www.fondosdeagua.org/es/los-fondos-de-agua/>

Funcagua. 2017. Memoria de Labores: Inicios de la Funcagua (2011-2017). Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana-Funcagua. Guatemala. Recuperado de: [www.funcagua.org.gt/2020/04/27/2017-memoria-de-labores-2011-2017-funcagua/](http://www.funcagua.org.gt/2020/04/27/2017-memoria-de-labores-2011-2017-funcagua/)

Funcagua. 2018. Plan de conservación del agua. Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala. Recuperado de: <https://funcagua.org.gt/2020/04/27/2018-plan-de-conservacion-del-agua-para-la-region-metropolitana-de-guatemala-funcagua/>

Funcagua. 2020. Análisis comparativo de los niveles piezométricos parciales 2018 - 2019 de los pozos de agua de los municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur: Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva. Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala (Funcagua). Disponible en: <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/04/2019.-Análisis-piezométrico-de-pozos-de-agua-para-los-municipios-de-la-MGCS.-FUNCAGUA.pdf>

Funcagua. 2022. Informe del estado del agua de la Región Metropolitana de Guatemala 2022: el agua nos une. Guatemala. Disponible en: <https://funcagua.org.gt/2022/03/22/2022-informe-del-estado-del-agua-de-la-region-metropolitana-de-guatemala-2022-funcagua-url-uvg-wwf/>

Gil, N.; Calvo, G.; Guerra, A.; Perdomo, A. Water quality assessment of six rivers of the Pacific side of Guatemala. Environmental Earth Sciences. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09505-w>

Hernández, R.; Fernández, C.; Baptista, M. 2014. Metodología de la Investigación. 6ta ed. México D.F. McGraw-Hill Interamericana de Editores.

- Iarna. 2005. Situación del recurso hídrico en Guatemala. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Instituto de Incidencia Ambiental. Universidad Rafael Landívar. Disponible en: <http://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0135/doc0135.pdf>
- Iarna y TNC. 2012. Disponibilidad de agua en la región metropolitana de Guatemala: bases fundamentales para la gestión hídrica con visión a largo plazo. Guatemala.
- Iarna y TNC. 2013. Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala. Disponible en <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2017/10/Libro3.BasestcnicasparalagestindelaguaconvisindelargoplazoenlazonametropolitanadeGuatemala.pdf>
- Insivumeh [Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología], Instituto Geográfico Nacional [IGN] y Organización de Naciones Unidas [ONU]. (1978). Informe Final del Proyecto Estudio de Aguas Subterráneas en Guatemala. Guatemala: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
- INE. 2018. XII Censo de Población y VII de Vivienda. Guatemala. Cuadro A1 Población total por sexo, grupos quinquenales de edad y área (en línea). Disponible en [www.censopoblacion.gt/explorador](http://www.censopoblacion.gt/explorador)
- Jara, O. 2018. La sistematización de experiencias: práctica y teoría para otros mundos posibles. 1era ed. Bogotá, Colombia. Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano (CINDE). 258 p. Disponible en: <https://cepalforja.org/sistem/bvirtual/wp-content/uploads/2019/09/La-Sistematización-de-Experiencias-práctica-y-teoría-para-otros-mundos-posibles.pdf>
- Lima, L. (1 de octubre de 2020). Conflicto de la basura entre Honduras y Guatemala: el "río de desechos" que enfrenta otra vez a ambos países. BBC News. (en línea) Disponible en: [www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-54366038](http://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-54366038)
- Lloret, P.; Zabala, P.; Iturbide-Flores, M.; Godoy, J., Romero, J.; Díaz González, J.; Benitez, S.; Contreras, H. 2020. Plan Estratégico Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala (2021-2026). [documento interno]. Guatemala, Guatemala. The Nature Conservancy. 92 p.
- Mankad, A. Walton, A. Alexander, K. (2015). Key dimensions of public acceptance for managed aquifer recharge of urban stormwater Journal of Cleaner Production. 89: 214-223. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614012086>

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). 2005. Estrategias para la Gestión de Recarga de Acuíferos (GRA) en zona semiáridas. Gale, I (ed.). Disponible en: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000143819\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000143819_spa)
- Paz, V. 2017. Fuentes de abastecimiento de agua en el municipio de Guatemala. Asociación Latinoamericana de Operadores de Agua y Saneamiento (ALOAS). Disponible en: <https://aloas.org/institucional/Documents/Guatemala%20VICTOR%20PAZ.pdf>
- Pérez, C. y Domínguez, A. (25 de abril de 2022). Contaminación del río Motagua: Ambiente habla sobre demanda de Honduras contra Guatemala. Diario Prensa Libre. Guatemala (en línea). Disponible en: [www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/contaminacion-del-rio-motagua-ambiente-habla-sobre-demanda-de-honduras-contra-guatemala](http://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/contaminacion-del-rio-motagua-ambiente-habla-sobre-demanda-de-honduras-contra-guatemala)
- Prins, K. 2021. Unidad 3 Metodología de recuperación y análisis de la experiencia: procedimientos y herramientas. Curso sistematización de experiencias en el manejo y la gestión de cuencas y campos afines. [documento interno]. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Costa Rica.
- Quispe, E. 2017. Recarga artificial de acuíferos en función de las características geohidráulicas para incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial Collana-Cabanilla. Tesis de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano. Perú. Disponible en <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3275915?show=full>
- Segeplán [Secretaría de planificación y programación de la presidencia]. (diciembre 2010). Plan de Desarrollo Municipal de San Antonio Aguas Calientes. Dirección de planificación territorial y Consejo Municipal de Desarrollo. <https://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/departamento-de-sacatepequez/file/93-pdm-san-antonio-aguas-calientes>
- Spillman, T.; Waite, L.; Webster, T.; Alas, H.; Buckalew, J. (2000). Evaluación de recursos de agua de Guatemala. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. Distrito de Mobile y Centro Topográfico de la Fuerza Armada de los Estados Unidos. Disponible en: <https://funcagua.org.gt/2020/04/20/2000-evaluacion-de-recursos-de-agua-de-guatemala-cuerpo-de-ingenieros-de-los-estados-unidos-de-america/>
- Voces del sur. 2018. En proceso el proyecto de recarga del acuífero de Salinas. Periódico Digital Voces del Sur. Puerto Rico. (en línea). Recuperado de: [www.vocesdelsurpr.com/2018/04/en-proceso-el-proyecto-de-recarga-del-acuifero-de-salinas/](http://www.vocesdelsurpr.com/2018/04/en-proceso-el-proyecto-de-recarga-del-acuifero-de-salinas/)



Zheng, Y., Ross, A., Villholth, K.G. and Dillon, P. (eds.). 2021. Managing Aquifer Recharge: A Showcase for Resilience and Sustainability. Paris, Unesco. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379962.locale=en>

## 7. Apéndices

### 7.1 Ficha de registro para visitas de campo

| Visita a proyectos de manejo gestionado de recarga hídrica en Guatemala                               |                       |
|---|-----------------------|
| Fecha de la visita:   |                       |
| Participantes:  |                       |
| Nombre del proyecto y ubicación:  | Origen de los fondos: |
| Institución o grupo que lo administra:  |                       |
| Fecha de implementación:  |                       |
| ¿Qué motivó implementar este tipo de intervención? ¿Cómo se enteraron de este tipo de intervenciones? |                       |
| ¿Cómo seleccionaron el sitio?   |                       |
| ¿Quiénes se encargaron del diseño? ¿Está documentado?   |                       |
| Comentarios de la infraestructura: materiales, dimensiones, origen del agua, destino del agua         |                       |
| ¿Qué resultados han conseguido? ¿Los miden de alguna manera?  |                       |
| ¿Han compartido esta experiencia de alguna manera o en algún espacio?                                 |                       |
| ¿Se discutió algún punto de mejora o recomendación durante la visita?                                 |                       |
| Detalles adicionales/ comentarios:  |                       |

## 7.2 Fotografías de la visita de campo a San Antonio Aguas Calientes



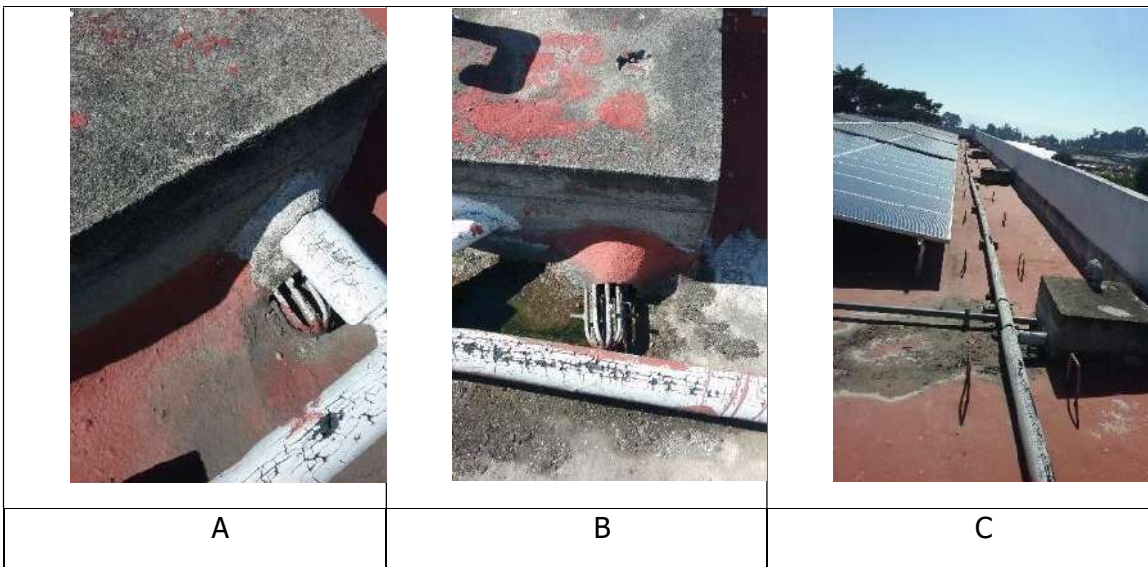
Detalle interno y externo de uno de los pozos del municipio hecho para infiltración de aguas pluviales, con su encamisado en PVC perforado





Recorrido por el casco urbano del municipio observando los diferentes pozos y rejillas de pretratamiento (sedimentación). Reunión con el alcalde y personal encargado de mantenimiento de los pozos de infiltración.

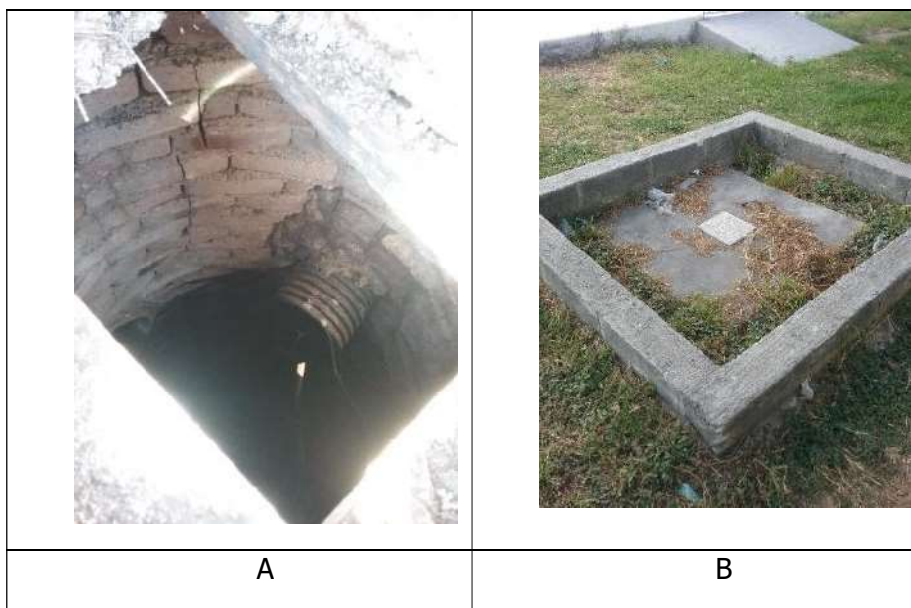
### 7.3 Fotografías de la visita de campo a Hospital Juan Pablo II - Cáritas Arquidiocesana



A) y B) Detalle de un ingreso de agua pluvial en techo de terraza. Obsérvese la canastilla metálica para impedir el ingreso de sólidos al bajante. C) Vista panorámica de terraza con varios puntos de conducción de aguas pluviales.



Vistas panorámicas de los techos de láminas y de terraza en el proyecto, cuya agua pluvial es dirigida a pozos de infiltración.



A) Detalle de uno de los pozos de infiltración de aguas pluviales. Se observa su estructura de brocal en ladrillos. B) Punto de pozo de infiltración de aguas depuradas provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales.



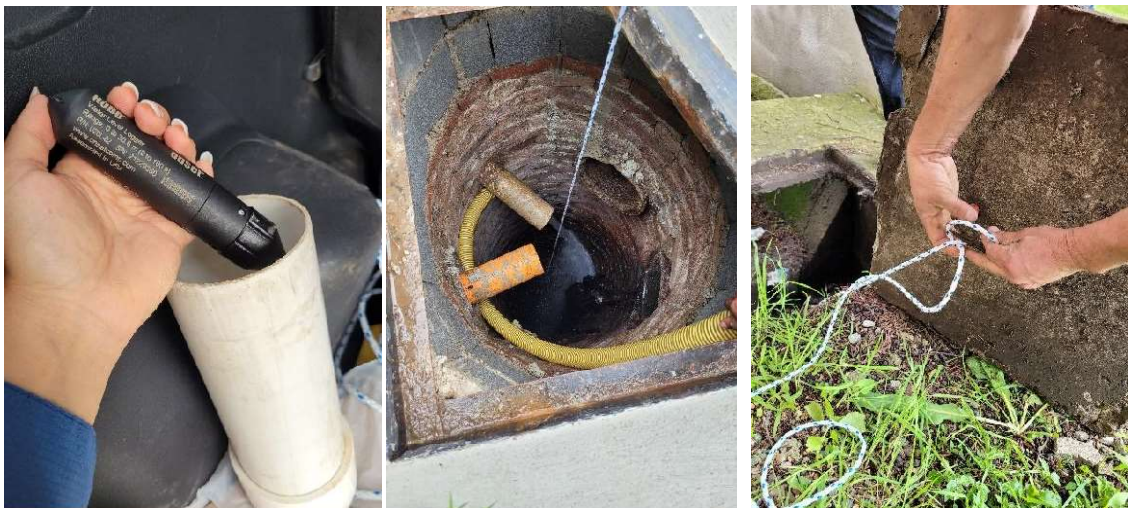
Ubicación de los pozos de infiltración de aguas pluviales (rojo) y pozo de infiltración de aguas depuradas provenientes de PTAR (amarillo).



Detalle de dos tapas de registro de dos pozos de infiltración en diferentes ubicaciones.



Detalle de tuberías de bajantes hacia sistema de desfogue dirigido a los pozos de infiltración de agua pluvial



Detalle de colocación de los datalogger en su cápsula protectora de PVC para ser suspendidos en dos pozos de infiltración del sitio con el fin de generar datos de capacidad de infiltración durante la temporada lluviosa 2022.



Los dataloggers fueron instalados y sometidos a una descarga intencional de un volumen conocido de agua (2500 galones) para que este comportamiento quedara registrado en sus mediciones, funcionando como una especie de calibración, ya que se observarán los cambios de nivel del agua al depositar en el pozo un determinado volumen.



**7.4 Diseño de los tableros de trabajo en la aplicación web “Miro” para taller participativo (virtual): actores impulsores Gremia y Funcagua**

**Actividad 1: Antesala del proyecto y su diseño**

| Preguntas orientadoras   | Actores |          |
|--|---------|----------|
|  | Gremia  | Funcagua |
| ¿Cómo surge la idea del proyecto?  |         |          |
| ¿Cuándo se formaliza la idea de desarrollar el proyecto?   |         |          |
| ¿Identifica algún contexto (institucional, local, regional, mundial) en especial que favoreció concebir este proyecto? |         |          |
| ¿Cómo percibe el papel de su organización en la etapa de idea y diseño del proyecto (antesala)?                        |         |          |

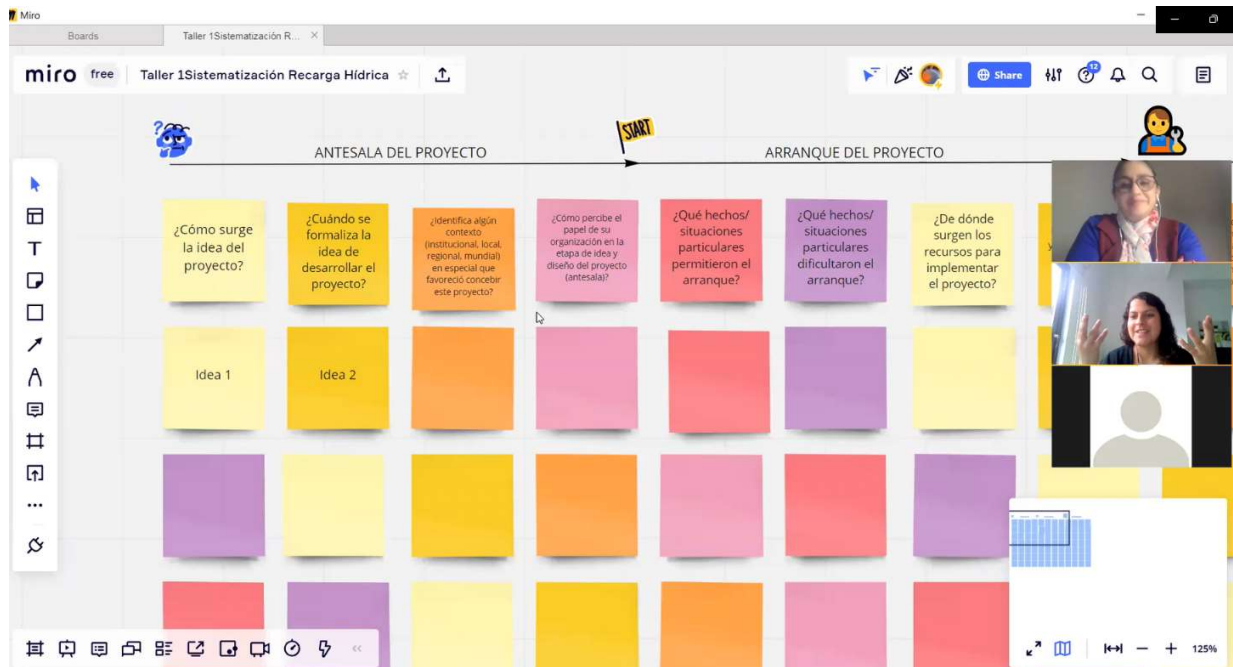
**Actividad 2: Arranque de las actividades, la superación de problemas iniciales, creación de capacidad instalada**

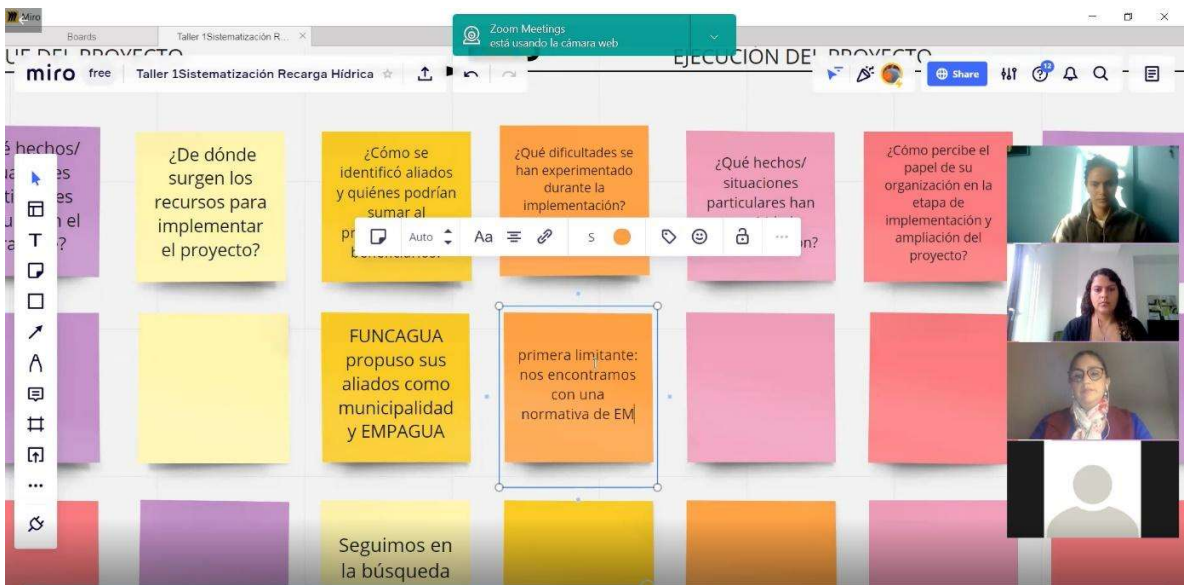
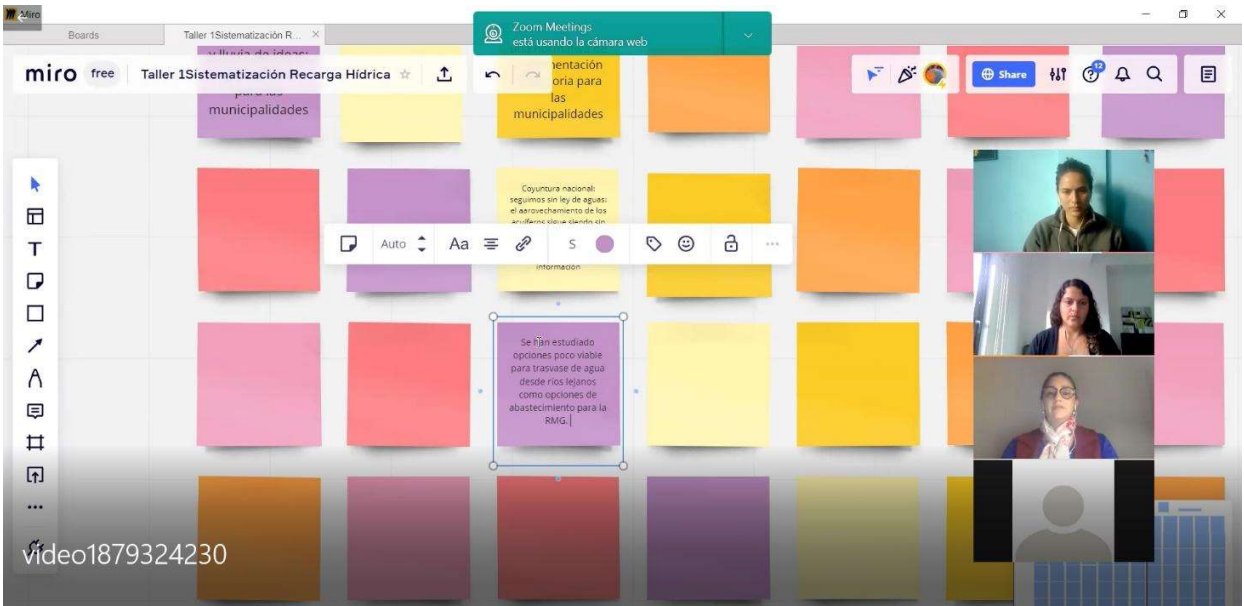
| Preguntas orientadoras  | Actores |          |
|---|---------|----------|
|   | Gremia  | Funcagua |
| ¿De dónde surgen los recursos para implementar el proyecto?                     |         |          |
| ¿Qué hechos/ situaciones particulares permitieron el arranque?                  |         |          |
| ¿Qué hechos/ situaciones particulares dificultaron el arranque?                 |         |          |
| ¿Cómo percibe el papel de su organización en la etapa de arranque del proyecto? |         |          |

### Actividad 3: implementación plena de actividades; la posible ampliación y masificación

| Preguntas orientadoras   | Actores |          |
|--|---------|----------|
|  | Gremia  | Funcagua |
| ¿Cómo se identificó aliados y quiénes podrían sumar al proyecto? ¿O ser beneficiarios?             |         |          |
| ¿Qué dificultades se han experimentado durante la implementación? ¿Cómo se han superado?           |         |          |
| ¿Qué hechos/ situaciones particulares han permitido la implementación?                             |         |          |
| ¿Cómo percibe el papel de su organización en la etapa de implementación y ampliación del proyecto? |         |          |

### 7.5 Fotografías del taller tipo "focus group"







## 7.6 Guion para entrevista con informante clave

| Guion para entrevista Informantes clave<br>(asesores técnicos del proyecto de manejo gestionado de recarga hídrica)  |
|--|
| Fecha:   |
| Perfil del especialista  |
| ¿Cómo describiría su perfil técnico para este proyecto? Indicar formación y experiencia  |
| ¿Cuáles conocimientos considera clave para desarrollar este tipo de obras?   |
| Selección de sitio   |
| ¿Qué información es necesaria recopilar previamente al diseño de una obra de este tipo?  |
| ¿Cómo se selecciona apropiadamente un sitio para este tipo de obras?   |
| Contexto del proyecto  |
| A nivel de la organización que representa: ¿Identifica algún contexto (institucional, local, regional, mundial) en especial que le haya permitido involucrarse en este proyecto? |
| ¿Qué factores cree que han posibilitado el desarrollo de este proyecto?  |

|  |
|--|
| Costos de un proyecto de recarga hídrica   |
| Según su criterio y experiencia: ¿Cuál es el rubro económico más costoso de este tipo de proyectos?        |
| Oportunidades de mejora  |
| En los sitios intervenidos: ¿Qué podría haberse hecho mejor? ¿Aún puede corregirse?                        |
| ¿Cuáles riesgos percibe asociados a este tipo de proyectos? (considerar económicos, sociales, ambientales) |
| Beneficios y potencialidades   |
| ¿Qué potencial ve en este tipo de obras para compensar el déficit hídrico en una zona?                     |
| ¿Cuáles otras funcionalidades pueden aprovecharse de este tipo de proyectos?                               |
| ¿Cómo mira el progreso de este tema en el futuro próximo acá dentro del país?                              |

## 7.7 Fotografías de visitas de campo a pozos de recarga hídrica (octubre 2021 y marzo 2022)

### Octubre 2021 Visita realizada al pozo\_z3 en Zona 3 de la Ciudad de Guatemala



Miembros del concejo directivo de Funcagua visitaron el pozo de recarga ubicado en la Zona 3 de la Ciudad de Guatemala como parte de una gira técnica para mostrarles los diferentes proyectos en curso, sus implicaciones e impactos

**Marzo 2022 Visita realizada al pozo\_VN-01 y pozo\_VN-02 en El Búcaro, Villa Nueva con MGCS y CeReGAS como parte de la firma del convenio de cooperación técnica entre FUNCAGA y CeReGAS**





El director de CeReGAS (Dr. Gerardo Amarilla), y encargados de la Gran Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (Ing. Obdulio Cotuc (director de proyectos) e Ing. Thomas Henry (gerente de la mancomunidad). Visitaron los pozos de recarga hídrica construidos en un terreno ubicado en El Búcaro, Villa Nueva.



## 7.8 Fotografías de pozo\_VN-01 y pozo\_VN-02

### Fase de construcción





Secuencia de estructuras de pretratamiento en diferentes momentos del año  
(caja sedimentadora y pozo con relleno de piedrín y grava)



Detalle de área de contador e interior uno de los pozos secos de infiltración con encamisado de PVC

## 7.9 Fotografías de pozo\_z3

### Fase de construcción



### Instalación del contador en bajada de agua desde el techo



Punto de ingreso del agua al pozo de recarga después de pasar por el contador

### Pluviómetro instalado y sitio de instalación



## 7.10 Fotografías de pozo\_z15

### Fase de construcción





Caja protectora del pozo y caja unificadora de aguas, previo al ingreso de agua al pozo.



Toma de muestra para análisis fisicoquímicos desde la caja unificadora

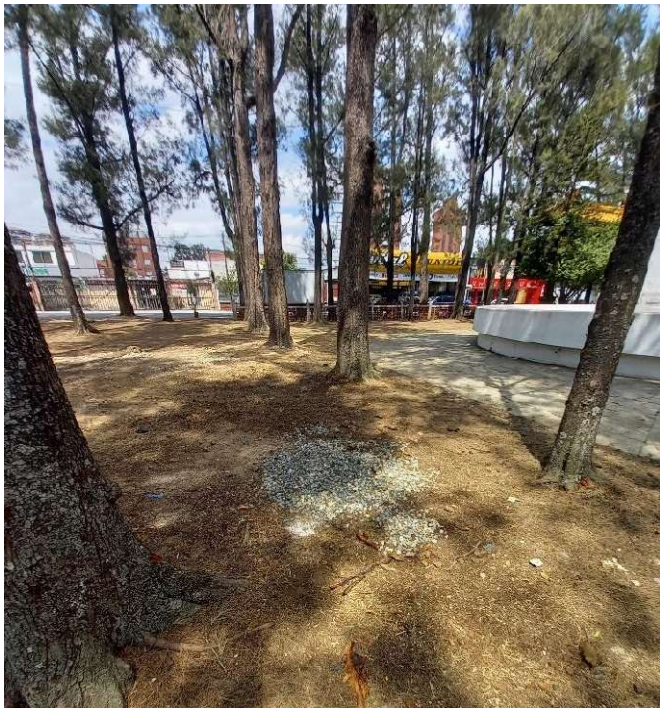
## 7.11 Fotografías de pozo\_VH-1 y pozo VH-2

### Fase de construcción



Estos pozos de 8 m de profundidad no se encamisaron, se rellenaron con piedra bola en la base (material en fotografía) y piedrín





Pozos finalizados y colocación de letreros educativos "Soy un pozo seco"



**7.12 Fotografías de Jardin\_lluvia\_VH-1 y Jardin\_lluvia\_VH-2**

**Fase de construcción**

Las áreas se seleccionaron usando como referencia puntos donde se empozaba el agua de lluvia dentro del parque



Se realizó un trazado y posterior excavación manual a 30 cm de profundidad y relleno con pedrín. Se colocó el letrero educativo "Soy un jardín de lluvia"



# Soy un jardín de lluvia

- Estoy en período de prueba, soy una obra para el manejo del agua de lluvia.
- Tengo un doble propósito: 1. Ayudar a que el agua de lluvia no sature las calles para evitar inundaciones urbanas, y 2. Imitar a la naturaleza, infiltrando el agua de la lluvia al suelo y recargando así las aguas subterráneas.
- Mi profundidad va desde 15 hasta 30 centímetros, y pueden construirme estratégicamente en áreas donde exista suelo que deje pasar el agua, asegurando que no se acumule.
- Para lucir bien, me pueden decorar con plantas permanentes, y de esta forma puedo atraer mariposas y aves.

Grava

Infiltración

*¡Cuidame para que pueda ser replicado en otros sitios!*

### 7.13 Fotografías de pozo\_MIX-01 al pozo\_MIX-03

#### Fase de mejoras en pozos de infiltración de aguas pluviales preexistentes



Pozos existentes en las instalaciones del hospital que fueron mejorados en su brocal y tapaderas.



Mejora en zona de brocales y medición de profundidad



Pozos con tapaderas mejoradas (pozo\_MIX-02 y pozo\_MIX-03)



Mejoras realizadas con caja de sedimentación en canal de aguas pluviales e instalación de contador. Este diseño deberá sufrir modificaciones, pues la posición del contador no es la apropiada, como consecuencia el agua no pasa marcando el volumen.



Contador instalado en el pozo del canal pozo\_MIX-01 y muestra del tipo de datalogger instalado en pozo\_MIX-01 y pozo\_MIX-02 que opera para un rango de 0 a 30.6 m de profundidad.

## 7.14 Cronograma

### Cronograma de actividades trabajo final de graduación: Sistematización de experiencias de recarga gestionada de acuíferos (MAR) en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG) como herramienta clave para generar políticas de seguridad hídrica

| MES                          | DICIEMBRE 2021  |   |   |   | ENERO 2022 |   |   |   | FEBRERO |   |   |   | MARZO |   |   |   | ABRIL |   |   |   | MAYO |   |   |   | JUNIO |   |   |   | JULIO |   |   |   |
|------------------------------|---|---|---|---|------------|---|---|---|---------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|
|                              | 1   | 2 | 3 | 4 | 1          | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 |
| <b>Objetivo específico 1</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Estado del arte: Revisión de literatura</li> </ul>   |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Estado del arte: <b>visita de campo</b> San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez</li> </ul> |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Estado del arte: <b>visita de campo</b> Cáritas Arquidiocesana, Guatemala</li> </ul>         |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|                              | <b>ENTREGA DE PRIMER AVANCE</b>   |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
| <b>Objetivo específico 2</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Taller participativo:</b> impulsores – Gremia y Funcagua (perspectiva interna)</li> </ul> |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|                              | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Giras técnicas:</b> actores impulsores + otros participantes <sup>15</sup></li> </ul>     |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|                              | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Entrevista 1:</b> actores paralelos EMPAGUA Arquitecta Claudia Muñoz</li> </ul>           |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |

<sup>15</sup> Se resalta que la gira técnica con el consejo directivo se realizó en octubre de 2021 como parte de las actividades del pilotaje de recarga hídrica, previo a que se aprobara el cronograma de este trabajo. Se incluye dada la coyuntura de la actividad y que ya se había iniciado con el proceso de elaboración del anteproyecto de la sistematización.

| <b>MES</b>                               | <b>DICIEMBRE 2021</b>  |  |  |  | <b>ENERO 2022</b> |   |   |   | <b>FEBRERO</b> |   |   |   | <b>MARZO</b> |   |   |   | <b>ABRIL</b> |   |   |   | <b>MAYO</b> |   |   |   | <b>JUNIO</b> |   |   |   | <b>JULIO</b> |   |   |   |
|--|--|--|--|--|-------------------|---|---|---|----------------|---|---|---|--------------|---|---|---|--------------|---|---|---|-------------|---|---|---|--------------|---|---|---|--------------|---|---|---|
|  | <b>Semana</b>  |  |  |  | 1                 | 2 | 3 | 4 | 1              | 2 | 3 | 4 | 1            | 2 | 3 | 4 | 1            | 2 | 3 | 4 | 1           | 2 | 3 | 4 | 1            | 2 | 3 | 4 | 1            | 2 | 3 | 4 |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Entrevista 2:</b> con asesor técnico del proyecto Ing. Joel Mayorga</li> </ul>       |  |  |  |                   |   |   |   |                |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |             |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Entrevista 3:</b> con asesor técnico del proyecto Ing. Jorge García Chiú.</li> </ul> |  |  |  |                   |   |   |   |                |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |             |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |
|  | <b>ENTREGA DE SEGUNDO AVANCE</b>   |  |  |  |                   |   |   |   |                |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |             |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Etapa de <b>análisis e interpretación:</b> ¿por qué pasó lo que pasó?</li> </ul>        |  |  |  |                   |   |   |   |                |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |             |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |
|  | <b>ENTREGA DE TERCER AVANCE</b>  |  |  |  |                   |   |   |   |                |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |             |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |
| <b>Objetivo específico 4</b>             | Recopilación de insumos para la Guía Técnica y elaboración de primera versión del documento para entregar a revisores.         |  |  |  |                   |   |   |   |                |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |             |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |
| <b>Entrega del documento (versión 1)</b> | Entrega de versión para revisión de asesores y programación de presentación del proyecto                                       |  |  |  |                   |   |   |   |                |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |             |   |   |   |              |   |   |   |              |   |   |   |

**Nota: El objetivo 3 se realizará en la Fase 2 del proyecto conforme la hoja de ruta diseñada.**



