

**ELABORACIÓN DE UN PLAN LOCAL DE GESTIÓN DE ZONAS  
POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LAS MICROCUENCAS DE  
LOS RÍOS LAS MINAS Y PINULA, PARA LA PLANIFICACIÓN  
TERRITORIAL DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTA CATARINA PINULA  
SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL**

Ana Rocío Gallardo Cano

Ingeniera Ambiental con Énfasis en Gestión

Guatemala de la Asunción, 2023

**SALVAR EL AGUA ES SALVAR LA VIDA**



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesor Jerson Elizardo Quevedo por amablemente dedicar su tiempo de asesoría, orientación y revisión de la presente Sistematización de Práctica Profesional.

A la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN): Lucía García, Pablo Santos y Guillermo Putzeys por su asesoría técnica profesional. Además, agradezco la oportunidad de trabajar para el Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala (PROSEHIGUA), financiado por el Fondo de Agua y Saneamiento de España (FCAS) y la Agencia de Cooperación Española (AECID), al elaborar el presente estudio que responde a mejorar las capacidades municipales para la gestión integral del recurso hídrico.

A la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS): Diana Osorio, Mauro Tezen, Thomas Henry y Obdulio Cotuc por su cooperación en la realización del estudio, motivados a trabajar continuamente en fortalecer temas de gobernanza de los recursos hídricos en los municipios que conforman la MGCS.

A la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, por brindarme el espacio para el desarrollo de la práctica profesional, reconocer el valor e importancia de áreas de recarga hídrica y estar motivados en la aplicación del presente estudio. Del mismo modo, agradezco a Miguel López Chan por su supervisión y guía en la institución anfitriona.

A la Universidad Rafael Landívar, principalmente a la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, por brindarme las bases éticas y académicas que me han ayudado a ser la profesional que soy ahora y ser merecedora de este mérito, que he cumplido con mi gran esfuerzo y dedicación.

## ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

<b>AECID</b>	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo
<b>CONAVI</b>	Comisión Nacional de Vivienda
<b>CONRED</b>	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres
<b>DMP</b>	Dirección Municipal de Planificación
<b>EMPAGUA</b>	Empresa Municipal de Agua
<b>FAUSAC</b>	Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala
<b>FCAS</b>	Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento
<b>FUNCAGUA</b>	Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala
<b>FUNDAECO</b>	Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación
<b>GIRH</b>	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
<b>IDAEH</b>	Instituto de Antropología e Historia
<b>INAB</b>	Instituto Nacional de Bosques
<b>IARNA</b>	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
<b>MAR</b>	Managed Aquifer Recharge
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
<b>MGCS</b>	Mancomunidad Gran Ciudad del Sur del departamento de Guatemala
<b>MSPAS</b>	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala

<b>PDM-OT</b>	Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial
<b>PINFOR</b>	Programa de incentivos forestales
<b>PINPEP</b>	Programa de incentivos para pequeños poseedores de tierras de vocación forestal o agroforestal
<b>PROBOSQUE</b>	Programa de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala.
<b>PROSEHIGUA</b>	Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala
<b>RMG</b>	Región Metropolitana de Guatemala
<b>SbN</b>	Soluciones basadas en la naturaleza
<b>SCALL</b>	Sistema de captación de agua de lluvia
<b>SCP</b>	Santa Catarina Pinula
<b>SEGEPLAN</b>	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia
<b>SIGAP</b>	Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas
<b>TNC</b>	The Nature Conservancy
<b>SISCODE</b>	Sistema de Consejos de Desarrollo
<b>SNP</b>	Sistema Nacional de Planificación
<b>SUDS</b>	Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible
<b>UICN</b>	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
<b>URL</b>	Universidad Rafael Landívar
<b>USAID</b>	United States Agency for International Development

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

<b>Acuífero:</b>	Formación geológica o conjunto de formaciones geológicas, por las que circulan o se almacena agua del subsuelo.
<b>Capacidad de Campo (CC):</b>	Contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente.
<b>Evapotranspiración potencial (ETP):</b>	Cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y por la transpiración de las plantas.
<b>Impacto Hidrológico Cero:</b>	Lograr que un terreno urbanizado se comporte como si su condición natural no hubiese sido modificada, y la definición de los dispositivos de detención de caudales.
<b>Incentivos de ordenamiento territorial:</b>	Herramienta de gestión del territorio de aplicación voluntaria que permite mayores aprovechamientos del suelo.
<b>Índice de edificabilidad (IE):</b>	Número de veces que el área del terreno puede repetirse en una construcción en altura.
<b>Nivel dinámico (ND):</b>	Nos indica el nivel de la capa freática (nivel del agua) cuando se encuentra en funcionamiento el respectivo equipo de bombeo del pozo.
<b>Nivel estático (NE):</b>	Nos indica el nivel de la capa freática (nivel del agua) cuando se encuentra en reposo el pozo.

<b>Nivel piezométrico:</b>	La altura (cota absoluta sobre el nivel del mar) que alcanza el agua en pozo de agua subterránea.
<b>Punto de marchitez permanente:</b>	Contenido de humedad del suelo al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración.
<b>Recarga hídrica potencial (Rp):</b>	Fracción de la precipitación que llega al suelo y que puede ser conducida hacia el manto freático.
<b>Seguridad hídrica:</b>	Es un concepto integral de la gestión del agua que contempla la búsqueda de estrategias para abastecer de agua a la humanidad en el largo plazo; impulsar su uso eficiente en la agricultura, industria y producción de energía; conservar y restaurar ecosistemas y fuentes; y desarrollar ciudades habitables preparadas para enfrentar desastres naturales y los efectos del cambio climático.
<b>Textura de suelo:</b>	La textura es el porcentaje del peso de materiales comprendidos en un intervalo de tamaños, respecto al peso de la muestra seca.

# ÍNDICE GENERAL

<b>Resumen .....</b>	<b>1</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>2</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2 ANTECEDENTES .....</b>	<b>4</b>
2.1 Revisión de literatura .....	4
2.1.1 <i>Marco Legal para la gestión de zonas de recarga hídrica .....</i>	<i>4</i>
2.1.2 <i>Instrumentos para la planificación territorial.....</i>	<i>10</i>
2.1.3 <i>Instrumentos de planificación territorial de Santa Catarina Pinula .....</i>	<i>12</i>
2.1.4 <i>Marco conceptual para la gestión integrada del recurso hídrico .....</i>	<i>20</i>
2.1.5 <i>Contexto de la situación hídrica en Santa Catarina Pinula.....</i>	<i>24</i>
2.2 Descripción de la institución anfitriona .....	26
2.2.1 <i>Localización .....</i>	<i>26</i>
2.2.2 <i>Organización.....</i>	<i>26</i>
2.2.3 <i>Descripción del área específica de acción de la institución.....</i>	<i>27</i>
<b>3 CONTEXTO DE PRÁCTICA.....</b>	<b>28</b>
3.1 Necesidad empresarial .....	28
3.2 Justificación.....	29
3.3 Eje de sistematización .....	30
<b>4 OBJETIVOS .....</b>	<b>31</b>
4.1 Objetivo general .....	31

4.2	Objetivos específicos .....	31
<b>5</b>	<b>PLAN DE TRABAJO .....</b>	<b>32</b>
5.1	Programa desarrollado.....	32
5.1.1	<i>Fase I. Actividades previas.....</i>	<i>34</i>
5.1.2	<i>Fase II. Análisis territorial.....</i>	<i>34</i>
5.1.3	<i>Fase III. Participación y Socialización .....</i>	<i>35</i>
5.1.4	<i>Fase IV. Formulación.....</i>	<i>36</i>
5.2	Indicadores de resultado.....	37
5.3	Cronograma de actividades .....	39
<b>6</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>41</b>
6.1	Prácticas de gestión de zonas potenciales de recarga hídrica.....	41
6.1.1	<i>Caracterización de actores .....</i>	<i>41</i>
6.1.2	<i>Análisis territorial.....</i>	<i>43</i>
6.1.3	<i>Propuestas de gestión de zonas potenciales de recarga hídrica .....</i>	<i>55</i>
6.2	Lineamientos que incentivan la recarga hídrica .....	63
6.2.1	<i>Impacto hídrico.....</i>	<i>63</i>
6.2.2	<i>Prácticas de mitigación de impacto hídrico .....</i>	<i>67</i>
6.3	Propuesta de indicadores de sostenibilidad .....	71
6.3.1	<i>Situación hídrica del municipio .....</i>	<i>71</i>
6.3.2	<i>Indicadores de sostenibilidad .....</i>	<i>73</i>
6.4	Socialización de herramientas de planificación.....	78



6.4.1	<i>Taller participativo de la determinación de impacto hídrico</i> .....	79
6.4.2	<i>Mapeo participativo de las propuestas de gestión de zonas de recarga hídrica</i>	80
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>85</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>86</b>
9.1	Leyes, normativas y acuerdos gubernativos .....	90
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>92</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen de normativa y legislación. ....	8
Cuadro 2. Parámetros urbanísticos y territoriales para las categorías del Plan de Uso del Suelo. .....	15
Cuadro 3. Resumen de categorías POT establecidas en el Acta del concejo municipal 20-2022. .....	17
Cuadro 4. Indicadores y medios de verificación. ....	38
Cuadro 5. Cronograma semanal de las actividades desarrolladas en cada fase del plan de trabajo.....	40
Cuadro 6. Identificación y caracterización de actores. ....	41
Cuadro 7. Representación de leyenda: uso de la tierra en el área de estudio.....	50
Cuadro 8. Representación de leyenda de las relaciones de superficie en kilómetros cuadrados y porcentaje del uso actual del suelo (MAGA, 2020) y las zonas potenciales de recarga hídrica.	54
Cuadro 9. Representación de leyenda de las relaciones de superficie en kilómetros cuadrados y porcentaje de categorías POT (Acta de Concejo Municipal, 2022) y las zonas potenciales de recarga hídrica.....	54
Cuadro 10. Formulación de propuestas de gestión. ....	56
Cuadro 11. Descripción de categorías.....	61
Cuadro 12. Conversión de lámina de agua con potencial de recargar el acuífero a litros/m <sup>2</sup> /año que se estará interceptando con la impermeabilización de una superficie.....	64
Cuadro 13. Listado de posibles prácticas de gestión de zonas potenciales de recarga hídrica.	69
Cuadro 14. Indicador 1: Consumo hídrico por sectores. ....	74
Cuadro 15. Indicador 2: Autosuficiencia hídrica. ....	75
Cuadro 16. Indicador 3. Índice de permeabilidad del suelo en zonas de recarga hídrica. ....	76

Cuadro 17. Indicador 4: Comportamiento de agua subterránea en el municipio.....	77
Cuadro 18. Síntesis del proceso de participación y socialización.....	78
Cuadro 19. Resultados principales obtenidos del mapeo participativo.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Plan de Uso de Suelo (PLUS) de Santa Catarina Pinula. ....	16
Figura 2. Diagrama de balance hídrico. ....	21
Figura 3. Conceptualización gráfica del impacto hidrológico en el ámbito urbano. ....	23
Figura 4. Perfil 1 del municipio de Santa Catarina Pinula. ....	24
Figura 5. Estructura orgánica y funciones de cada una de las dependencias y departamentos de la municipalidad de Santa Catarina Pinula. ....	27
Figura 6. Diagrama gráfico en que se componen las diferentes fases, para el cumplimiento de los objetivos. ....	33
Figura 7. Procedimiento de algebra de mapas y delimitación de escala de trabajo. ....	35
Figura 8. Mapa de Zonificación de la Recarga Hídrica Potencial (Rp). ....	44
Figura 9. Ubicación geográfica del área de estudio. ....	45
Figura 10. Ubicación de las microcuencas de los Ríos Las Minas y Pinula. ....	46
Figura 11. Hidrogeología del acuífero del Valle del Sur. ....	47
Figura 12. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra en el área de estudio. ....	49
Figura 13. Mapa de plan de uso de suelo (PLUS) en el área de estudio. ....	51
Figura 14. Mapa de cobertura del suelo por cada zona potencial de recarga hídrica. ....	52
Figura 15. Mapa de cobertura de categorías POT por cada zona potencial de recarga hídrica. ....	53
Figura 16. Zonificación para la gestión de zonas potenciales de recarga hídrica. ....	57
Figura 17. Acciones prioritarias de restauración en paisaje forestal que favorecen la intercepción, infiltración y recarga hídrica potencial. ....	59
Figura 18. Representación gráfica de las propuestas y las dependencias municipales que tendrán participación para la gestión de recarga hídrica. ....	60
Figura 19. Síntesis del método de cálculo del impacto hídrico de un inmueble. ....	65
Figura 20. Hoja de cálculo: Parte introductoria. ....	66

Figura 21. Hoja de cálculo: Calculadora para la determinación del impacto hídrico. ....	67
Figura 22. Hoja de cálculo: Listado de medidas, obras y/o prácticas de mitigación.....	68
Figura 23. Nivel Piezométricos de pozos en los años 2019, 2021 y 2022.....	72
Figura 24. Mapa de cobertura de pozos municipales.....	73
Figura 25. Perfil de los Niveles Piezométricos de los pozos municipales de Santa Catarina Pinula en los años 2019, 2021 y 2022. ....	92
Figura 26. Línea de Perfil del terreno y Niveles Piezométricos de los pozos municipales.....	93
Figura 27. Listado de participantes de la primera reunión de validación de resultados. ....	94
Figura 28. Fotografía de validación de resultados con personal técnico de UICN. ....	94
Figura 29. Listado de participantes del taller participativo con actores municipales. ....	95
Figura 30. Fotografía de presentación y resolución de comentarios en el taller participativo. ....	95
Figura 31. Listado de participantes de la presentación de resultados y mapeo participativo.....	96
Figura 32. Fotografía de presentación de resultados y mapeo participativo. ....	96
Figura 33. Mesa de trabajo 1. Departamento de Medio Ambiente.....	97
Figura 34. Mesa de trabajo 2. Dirección Municipal de Planificación: Gestión Integral del Riesgo. ....	97
Figura 35. Mesa de trabajo 3. Dirección de Agua y Saneamiento. ....	98
Figura 36. Mesa de trabajo 4. Dirección Municipal de Planificación: Planificación y Diseño. ....	98
Figura 37. Resultado del mapeo participativo, El Pueblito. ....	99
Figura 38. Resultado del mapeo participativo, Cabecera Municipal. ....	99
Figura 39. Listado de participantes de la presentación final de resultados 1/2. ....	100
Figura 40. Listado de participantes de la presentación final de resultados 2/2. ....	100
Figura 41. Fotografía presentación de resultados finales.....	101
Figura 42. Fotografía presentación de resultados finales.....	101
Figura 43. Fotografía de participantes en la presentación de resultados finales con apoyo del equipo de UICN y MGCS.....	102

Figura 44. Infografía que resume los resultados de la presente práctica profesional. ....	103
Figura 45. Entrega de infografías a actores municipales. ....	104
Figura 46. Fotografía de infografía. ....	104

# **ELABORACIÓN DE UN PLAN LOCAL DE GESTIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS LAS MINAS Y PINULA, PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTA CATARINA PINULA.**

## **RESUMEN**

La presente práctica profesional se realizó en la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, en cooperación de la UICN y la MGCS. En conjunto con estas instituciones y del estudio previo que determina zonas potenciales de recarga hídrica a nivel de microcuenca realizado por Chavarría, Juárez, FUNCAGUA & MGCS (2022). La práctica aborda la elaboración de un Plan Local de Gestión, el cuál involucra un análisis, interpretación y discusión de la relación entre la recarga hídrica potencial y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT). El proceso metodológico se dividió en cuatro fases: primera fase introductoria de actividades previas, segunda fase de análisis territorial para elaborar las diferentes propuestas, tercera fase de socialización con actores municipales y, por último, la formulación de herramientas a incorporar en la planificación territorial del municipio para fortalecer la toma de decisiones municipales en la gestión hídrica. Entre los resultados generados, se ha delimitado de manera gráfica prácticas de gestión en zonas de recarga hídrica en seis categorías, actuaciones en: infraestructura pública municipal, infraestructura urbana actual, nuevos desarrollos urbanos; prácticas agrícolas integrales, restauración ecológica y conservación forestal. A partir de esto, se dictan lineamientos y recomendaciones para incentivar la recarga hídrica, como la determinación de un impacto hídrico para la adopción de prácticas incentivables de mitigación en el espacio urbano. Por último, se proponen indicadores para monitorear las mejoras y/o deficiencias en la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo en el municipio, en consecuencia, de las decisiones e iniciativas municipales que se realicen a lo largo del tiempo.

*Palabras clave:* plan de gestión hídrica local, recarga hídrica potencial, impacto hidrológico, Santa Catarina Pinula.

# PREPARATION OF A LOCAL WATER MANAGEMENT PLAN FOR POTENTIAL WATER RECHARGE ZONES IN THE MICRO-WATERSHEDS OF THE LAS MINAS AND PINULA RIVERS, FOR REGIONAL PLANNING IN THE MUNICIPALITY OF SANTA CATARINA PINULA.

## ABSTRACT

This professional practice was carried out in the Municipality of Santa Catarina Pinula, in cooperation with the IUCN and the MGCS. Together with these institutions and the previous study that determines potential water recharge zones at the micro-basin level carried out by Chavarría, Juárez, FUNCAGUA & MGCS (2022). The practice addresses the development of a Local Water Management Plan, which involves an analysis, interpretation, and discussion of the relationship between potential water recharge and the Land Use Planning. The methodological process was divided into four phases: first introductory phase of previous activities, second phase of territorial analysis to elaborate the different proposals, third phase of socialization with municipal actors and, finally, the formulation of tools to be incorporated into the territorial planning of the municipality to strengthen municipal decision-making in water management. Among the results generated, management practices in water recharge areas have been graphically delimited into six categories, actions in: municipal public infrastructure, current urban infrastructure, new urban developments; integrated agricultural practices, ecological restoration, and forest conservation. Based on this, guidelines and recommendations are issued to encourage water recharge, such as determining a hydrological impact for the adoption of incentivized mitigation practices in the urban space. Finally, indicators are proposed to monitor the improvements and/or deficiencies in the sustainability of the underground water resource in the municipality, because of the municipal decisions and initiatives that are carried out over time.

*Keywords:* local water management plan, potential water recharge, hydrological impact, Santa Catarina Pinula.



# 1 INTRODUCCIÓN

La presente práctica profesional forma parte del Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala (PROSEHIGUA) financiado por el Fondo de Agua y Saneamiento de España (FCAS) y la Agencia de Cooperación Española (AECID). Que busca propiciar una estrategia de seguridad hídrica para la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la región metropolitana de Guatemala (RMG) y municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS). Entre los municipios que lo conforman se encuentra el municipio de Santa Catarina Pinula, en dónde la presente práctica responde a la creciente demanda de agua a consecuencia de la urbanización y crecimiento poblacional. Además, que la explotación no controlada del agua subterránea en la RMG ha provocado que el comportamiento del nivel freático descienda, causando una tasa negativa de la recarga hídrica anual, considerando a Santa Catarina Pinula en nivel medio (amarillo) con una tasa déficit de recarga hídrica del 11.30 metros cúbicos al año ( $m^3/año$ ) (FUNCAGUA, 2018).

El producto más importante en esta práctica es el planteamiento de un Plan Local de Gestión de zonas potenciales de recarga hídrica como un instrumento de planificación territorial que contiene un conjunto de herramientas que permite implementar acciones entorno a la recarga hídrica en el territorio, con el fin de incentivar el aprovechamiento del agua de lluvia y la infiltración del suelo. Las zonas de recarga hídrica potencial fueron determinadas por Chavarría, Juárez, FUNCAGUA & MGCS (2022), estas abarcan un área de 25 kilómetros cuadrados ( $km^2$ ) dentro del municipio de SCP; por ende, este es el alcance geográfico del presente estudio que representa un 48 por ciento (%) del total del municipio. Dicho lo anterior, la práctica se realizó en la Municipalidad de Santa Catarina Pinula con cooperación de la UICN y la MGCS, para incorporar los resultados generados en los procedimientos de obtención de licencias de construcción y en la planificación territorial del municipio de Santa Catarina Pinula.

## **2 ANTECEDENTES**

### **2.1 Revisión de literatura**

#### **2.1.1 Marco Legal para la gestión de zonas de recarga hídrica**

Para el efecto del presente estudio, se identifican las bases legales en marco de la legislación de Guatemala, que fundamentan y respaldan la planificación territorial, la gestión del recurso hídrico y en la aplicación de incentivos dentro del ámbito de competencia de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula.

##### **a. Constitución Política de la República de Guatemala**

Como primer punto, en la constitución se contempla que tanto el Estado, las municipalidades y habitantes del territorio, tienen responsabilidad y obligación de propiciar el desarrollo que prevenga la contaminación ambiental y mantenga el equilibrio ecológico (Art. 97). Las municipalidades tienen la autonomía de atender la prestación de servicios públicos y el ordenamiento territorial en su jurisdicción, el cual debe materializarse a través de la emisión de ordenanzas y reglamentos (Art. 253) (Constitución Política de la República de Guatemala, 1985).

##### **b. Código Municipal: Decreto 12-2002**

Es deber de las municipalidades brindar el servicio de agua potable y red de distribución a los habitantes del municipio (Art. 142). Por lo qué, están obligadas a formular y ejecutar planes de ordenamiento territorial y desarrollo integral de sus municipios (Art. 147). En estos planes se determinará el uso de suelo dentro de la circunscripción territorial del municipio, de acuerdo con la vocación de este y las tendencias de crecimiento de asentamientos humanos y desarrollo urbano (Art. 143) (Decreto del Congreso de la República de Guatemala 12-2002, 2002).

**c. Código de Salud: Decreto 90-97**

Establece que la Municipalidad u otras entidades encargadas del abastecimiento de agua, tiene obligación de purificarla de acuerdo con métodos establecidos por el Ministerio de Salud con la finalidad de garantizar su calidad (Art. 87). Es responsabilidad de las municipalidades o de los usuarios de las cuencas o subcuencas afectadas, la construcción de obras para el tratamiento de aguas negras y servidas, para evitar la contaminación de otras fuentes de agua (Art. 96). Por otro lado, prohíbe la tala de árboles en los 25 metros próximos a las riberas de los ríos, riachuelos, lagos, lagunas y fuentes de agua (Art. 84). (Decreto del Congreso de la República de Guatemala 90-97, 1997).

**d. Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente: Decreto 68-86**

Entre los requisitos para la obtención de licencia de construcción incluidos en el Reglamento de Construcción de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, se establece que para ciertos proyectos es necesario la realización del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) aprobado por el MARN, del estudio del cambio de uso del suelo aprobado por el INAB, la gestión de la licencia de tala de árboles y la resolución favorable del área de salud del MSPAS referente a la calidad del agua y al tratamiento de aguas residuales, todo ello con la finalidad de contribuir a la protección del medio ambiente (Art. 8) (Decreto del Congreso de la República de Guatemala 68-86, 1986).

**e. Ley Forestal: Decreto 101:96**

Declara de prioridad el manejo y la conservación de aquellas áreas que sean consideradas zonas de recarga hídrica. En el cual se prohíbe eliminar el bosque en las partes altas de las cuencas hidrográficas cubiertas de bosque, éstas serán sujetas a manejo forestal sostenible (Art. 47) (Decreto del Congreso de la República de Guatemala, 1996).

**f. Ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala (PROBOSQUE): Decreto 2-2015**

En esta ley se permite la aplicación de incentivos forestales, con el objetivo de promover y fomentar el desarrollo forestal del país (Art. 3). En donde, establece que el Estado otorgará incentivos por medio del Ministerio de Finanzas Públicas en coordinación con el INAB, a quienes se les apruebe y certifique proyectos forestales (Art. 7). El área mínima para la obtención de incentivos será de 0.5 hectáreas (Art. 11) (Decreto del Congreso de la República de Guatemala 2-2015, 2015).

**g. Ley de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación foresta o agroforestal (PINPEP): Decreto 51-2010**

Está dirigido a poseedores de terrenos menores a 15 hectáreas, incentivando a los poseedores de estos terrenos a ingresar a los programas de incentivos forestales. (Decreto del Congreso de la República de Guatemala 51-2010, 2010).

**h. Acuerdo Gubernativo 179-2001**

Este acuerdo declaró sectores de alto riesgo en las cuencas hidrográficas de Amatitlán, del Río Villalobos y Michatoya (Art. 1). Estos sectores son delimitados en forma más precisa en el informe técnico emitido por el Consejo de CONRED, el cual restringe 100 metros a cada lado de los ríos, zanjones y quebradas existentes (Art. 2). En consecuencia, de la declaratoria, las entidades públicas competentes, deben regular actividades antrópicas en estos sectores (Art. 4). Además, deberán prevenir el riesgo, mediante estudios más detallados, establecer planes, programas y proyectos de conservación y manejo del área (Art. 5). Por último, estipula que debe realizarse el ordenamiento territorial y planificación urbana en los sectores objeto de este acuerdo (Art. 6) (Acuerdo Gubernativo 179-2001, 2001).

**i. Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 20-2022**

En éste se aprueba el reglamento de observancia general que contiene el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Santa Catarina Pinula. En dónde se establece el ámbito de aplicación, los principios rectores en materia, los objetivos y alcances, y las autoridades competentes, así como sus atribuciones y obligaciones. (Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula, 2022).

**j. Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 12-2021**

En éste se aprueba el reglamento de servicio de agua a cargo de la municipalidad de Santa Catarina Pinula. (Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula, 2021).

En el Cuadro 1, se resume la normativa y la legislación relacionada con el proceso de descentralización, otorgando a las municipalidades la autonomía de emitir sus propios reglamentos y ordenanzas. A su vez, se citan aquellos en relación con la protección del medio ambiente.

**Cuadro 1. Resumen de normativa y legislación.**

<b>Leyes, Normas y Acuerdos</b>	<b>Artículos</b>	<b>Descripción</b>
Constitución Política de la República de Guatemala	253, 134, 127.	Las municipalidades como instituciones autónomas les competen constitucionalmente atender a los servicios públicos locales y al ordenamiento territorial.
Ley General de Descentralización	1, 2, 4, 10, 19	Se transfiere desde el Organismo Ejecutivo a las municipalidades y demás instituciones del Estado, funciones y competencias económico-administrativas.
Ley de Consejos de Desarrollo Urbano y Rural	3, 4, 21, 27	Establece el Sistema Nacional de Consejos de Desarrollo (SISCODE) que consiste en cinco niveles de consejos del nivel comunitario al nivel nacional. Con el objetivo de fortalecer la participación ciudadana, además de organizar y coordinar la administración pública mediante la formulación de políticas de desarrollo.
Código Municipal	142, 147, 35, 68, 36,	Es obligación de las municipalidades formular y ejecutar planes de ordenamiento territorial y desarrollo integral de sus municipios. Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada, alcantarillado, etc.
Código de Salud	96, 84	Las municipalidades deben velar por el cumplimiento de las disposiciones contenidas en la Ley y los reglamentos respectivos al momento de la emisión de licencias de obra y uso del suelo.
Código Civil	473, 581, 485, 528, 752,	Establece normas que deben respetarse en todo proceso de construcción y a su vez contiene normas que desarrollan el derecho de propiedad.
Ley de Vivienda	2, 63	Prevé la armonización de las normas de ordenamiento territorial de los municipios con las políticas de vivienda promovidas por el Consejo Nacional de Vivienda (CONAVI).  La ley establece, como principios de interés social que los proyectos y programas de vivienda garanticen el desarrollo sostenible, económico y ambiental.

Continuación de Cuadro 1.

<b>Leyes, Normas y Acuerdos</b>	<b>Artículos</b>	<b>Descripción</b>
Ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero.	6	Establece que las municipalidades al atender el ordenamiento territorial para la adaptación y mitigación al cambio climático tomarán en cuenta los resultados de las comunicaciones nacionales del cambio climático y las condiciones biofísicas, sociales, económicas y culturales de sus respectivos territorios.
Ley de Parcelamientos urbanos	15	Obliga a aquellas personas que busquen desmembrar un predio a solicitar autorización municipal, las cuales deberán extenderse siempre que estén conformes a los planes de ordenamiento territorial del Municipio.
Ley preliminar de urbanismo	9	Establece que, para el desarrollo urbanístico de las ciudades, los municipios que superen los diez mil habitantes deben formular un plan regulador.
Ley para la protección del patrimonio cultural de la nación	15, 61	Establece que se requiere dictamen favorable del IDAEH para otorgar licencias de obras de construcción o de cualquier índole que afecte al patrimonio o bienes culturales inscritos. En Santa Catarina Pinula el IDAEH tiene registrados 6 sitios arqueológicos.
Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente	1, 8, 12, 15	Se establecen requisitos para la obtención de licencias de construcción con el objetivo de contribuir a la protección del medio ambiente. Como es el estudio de impacto ambiental, estudio de cambio de suelo, licencia de tala de árboles y resolución favorable de calidad del agua.
Ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala (PROBOSQUE)	1, 10, 17	En este decreto se crea el programa de incentivos forestales por parte del Instituto Nacional de Bosques (INAB).
Ley de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal (PINPEP)	3, 4	En este decreto se crea el programa de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal.

Continuación de Cuadro 1.

<b>Leyes, Normas y Acuerdos</b>	<b>Artículos</b>	<b>Descripción</b>
Acuerdo Gubernativo 236-2006	2, 3	Establece los criterios y requisitos a cumplirse en la descarga y reúso de aguas residuales, así como la disposición de lodos. El cual le compete a la Municipalidad, al MARN y otras instituciones de gobierno, la aplicación de este reglamento.
Acuerdo Gubernativo 179-2001	1, 2, 5, 6	Declara sectores de alto riesgo en las cuencas hidrográficas de Amatitlán, Río Villalobos y Michatoya.
Acta Número 20-2022 del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula	1, 2, 5	Acta municipal que aprueba el reglamento de observancia general que contiene el Plan de Ordenamiento Territorial de Santa Catarina Pinula
Acta Número 39-2021 del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula	2, 8	Reglamento para la enajenación de bienes inmuebles propiedad de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula mediante aportación a Sociedades Mercantiles Accionadas, para desarrollo de proyectos de vivienda propietaria.
Acta Número 12-2021 del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula	2, 3, 10	Reglamento del servicio de agua a cargo de la municipalidad de Santa Catarina Pinula, Guatemala
Acta Número 100-2020 del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula	2, 3	Reglamento para la Gestión Integral del Manejo de Residuos y Desechos Sólidos del municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala

### **2.1.2 Instrumentos para la planificación territorial**

La presente práctica aborda la elaboración de un “Plan Local”, por lo que se definen los siguientes conceptos para su comprensión. Todo parte de la planificación territorial, este es un proceso de múltiples interacciones, dinámico, sistemático y constante que busca alcanzar el desarrollo de los territorios. Para ello, se necesita la territorialización de las políticas públicas: se necesitan instrumentos (Sistema Nacional de Planificación [SNP], 2020, pág. 8). De acuerdo con



el SNP: un plan de planificación es una herramienta de gestión que traza acciones o proyectos para cambiar la realidad y alcanzar un futuro mejor de un territorio (2020, pág. 9).

#### Niveles de Planificación para Guatemala.

A continuación, se citan los diferentes instrumentos de planificación territorial de Guatemala, iniciando desde una escala nacional a una escala local:

- **K 'atun 2032 – Plan Nacional de Desarrollo.** Es el instrumento nacional de largo plazo que enlaza las políticas, planes, programas, proyectos e inversiones para el desarrollo. En donde, establece cinco ejes prioritarios que orientan al desarrollo sostenible, buscando el equilibrio entre crecimiento económico, reducción de la desigualdad social y la protección del medio ambiente (Sistema Nacional de Planificación (SNP), 2020).
- **PRD – Plan Regional de Desarrollo.** Es el instrumento a nivel regional, en cual sus objetivos de planificación se orientan hacia la consecución de la economía de escala, para potenciar los procesos de desarrollo (SNP, 2020).
- **PDD- Plan Departamental de Desarrollo.** Es el instrumento a nivel departamental, que tiene como objetivo disminuir asimetrías y desigualdades entre municipios y buscar una integración en la administración pública (SNP, 2020).
- **PDM- Plan Desarrollo Municipal.** Es el instrumento a nivel de municipio que busca principalmente la satisfacción de necesidades básicas y reducción de desigualdad en los habitantes del municipio (SNP, 2020).
- **POT – Plan de Ordenamiento territorial.** Es el instrumento legal por medio del cual se establecen los objetivos, estrategias y acciones orientadas a regular el fraccionamiento, ocupación, transformación y utilización del espacio (SNP, 2020).
- **Pz – Plan Zonal.** Es el instrumento a nivel de zona dentro de un municipio que establecen criterios, lineamientos y condiciones urbanísticas y de gestión de suelo en áreas estratégicas de la ciudad (Alcaldía de Barranquilla, 2020).

- **PL – Plan Local.** Es un instrumento de planeación en el que se establece el marco del desarrollo de una localidad con una visión estratégica compartida y de futuro, el cual es resultado de un proceso de concertación entre los diversos actores de locales (Alcaldía de Barranquilla, 2020).
- **PMIB – Plan de Mejora Integral de un Barrio.** Es un instrumento enfocado en la planificación local que busca incidir en la disminución de la precariedad de los asentamientos urbanos y mejorar la calidad de vida de las personas que integran un barrio (CONAVI, 2017).

### ***2.1.3 Instrumentos de planificación territorial de Santa Catarina Pinula***

Con el fin de comprender el contexto de Santa Catarina Pinula, se realiza una revisión de los instrumentos vigentes de planificación territorial, estos se describen a continuación.

#### **a. Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial de Santa Catarina Pinula**

El Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial (PDM-OT), aprobado en el año 2020, realiza una descripción de las condiciones actuales y tendenciales del municipio, y se plantean algunas características del modelo de desarrollo esperado. Siendo uno de los problemas que presenta el municipio: el déficit en la cobertura y saneamiento de agua (Consejo Municipal de Santa Catarina Pinula y SEGEPLAN, 2020, pág. 2).

El recurso hídrico presenta diferentes presiones, uno de estos es el incremento en la demanda de agua a causa de la expansión urbana y el acelerado crecimiento poblacional. La municipalidad ha perforado una gran cantidad de pozos para cubrir la demanda, sin contar los pozos privados, de los cuales se desconoce la cantidad y calidad de agua que se utiliza. Por lo que, se tiene bastante presión sobre las fuentes de agua subterránea que a medida del tiempo

se ha visto un descenso en el nivel freático. (Consejo Municipal de Santa Catarina Pinula y SEGEPLAN, 2020, pág. 25).

Además, el crecimiento poblacional sin regulación y falta de delimitación de áreas protegidas provoca el aumento de zonas impermeables que interrumpen el ciclo hidrológico. Se menciona, que la pérdida de cobertura forestal y arbustiva ocurre principalmente en la parte alta de las microcuencas del Río Las Minas y Pinula, que son importantes para la producción de agua. También, se resalta qué se debe a la ausencia de programas obligatorios de restauración, recuperación y conservación de la cobertura forestal en las zonas de recarga hídrica (Consejo Municipal de Santa Catarina Pinula y SEGEPLAN, 2020, pág. 25).

Otro problema, es la contaminación del manto freático por presencia de basureros clandestinos y la baja cobertura de plantas de tratamiento de agua residual en el municipio. No existen redes de monitoreo de la calidad de aguas superficiales y subterráneas. Por otro lado, la topografía y mala distribución de la red urbana complica y encarece la introducción de servicios. Esta situación afecta principalmente a las aldeas El Carmen y Cuchilla del Carmen, áreas que han estado creciendo y densificando (Consejo Municipal de Santa Catarina Pinula y SEGEPLAN, 2020, pág. 26).

Otras presiones, que involucran al ciudadano, es el uso irracional del agua dado que se desperdicia en lavado de vehículos, riego de jardines en horas de la mañana, desperfectos en el sistema y equipos de distribución domiciliar. En consecuencia, de la ausencia de un programa de educación ambiental, que genere una cultura ambiental sobre el uso eficiente del agua (Consejo Municipal de Santa Catarina Pinula y SEGEPLAN, 2020, pág. 26).

Dentro de las fortalezas identificadas se destaca: la ubicación estratégica del municipio, su interconectividad con la Ciudad de Guatemala y Carretera a El Salvador facilita el acceso a servicios básicos, aumentando la plusvalía de los inmuebles. Cabe mencionar que, la

municipalidad maneja indicadores de cobertura de servicios, en el cual la cobertura de agua potable municipal está a un 100%. Se menciona que ya existen algunos proyectos de cosecha de agua en condominios privados en el municipio. En los últimos años se ha alcanzado a tener una cobertura de alcantarillado del 40% del municipio y la implementación de ocho (8) plantas de tratamiento de aguas residuales (Consejo Municipal de Santa Catarina Pinula y SEGEPLAN, 2020, pág. 20).

#### **b. Plan de Ordenamiento Territorial de Santa Catarina Pinula**

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) es el instrumento legal que planifica el crecimiento ordenado y el desarrollo del municipio de Santa Catarina Pinula. Éste entró en vigor el ocho (8) de julio del 2022 y se publicó en el Diario Oficial bajo el Acta Municipal No 20-2022. Por tanto, la municipalidad de Santa Catarina Pinula como el órgano administrativo y ente rector, debe cumplir con lo reglamentado en un periodo de quince (15) años. Las dependencias municipales que tienen la obligatoriedad de aplicar el POT, son las autoridades técnicas de ordenamiento territorial:

- (a). Junta de Ordenamiento Territorial**, conformado por: alcalde municipal, director de la Dirección Municipal de Planificación, director de la Dirección de Agua y Saneamiento, y el jefe del Departamento de Licencias de Construcción.
- (b). Dirección Municipal de Planificación**, conformado por: el Departamento de Licencias de Construcción, Área de Desarrollo Urbano y Territorial, y Departamento de Movilidad.
- (c). Dirección de Agua y Saneamiento.**

(Art. 9) (Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 20-2022, 2022).

El POT está conformado por: I. Tabla de Parámetros Normativos, II. Clasificación detallada de Usos de Suelo y de establecimiento Abiertos al Público, y III. Mapa del Plan de

Ordenamiento Territorial (Art. 2) (Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 20-2022, 2022). A continuación, se describe cada uno de estos.

### Tabla de Parámetros Normativos

En el Cuadro 2 se encuentran los parámetros normativos, que son todos los aspectos técnicos establecidos para regular el fraccionamiento, la realización de obras y el uso del suelo en inmuebles. Que deberá de cumplir el interesado previo a la obtención de una licencia de fraccionamiento, construcción y ocupación de acuerdo con el uso de suelo que se encuentra el inmueble.

**Cuadro 2. Parámetros urbanísticos y territoriales para las categorías del Plan de Uso del Suelo.**

PARAMETROS URBANÍSTICOS Y TERRITORIALES PARA LAS CATEGORÍAS DEL SUELO PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA											
Categoría de Uso del Suelo	Licencia de Fraccionamiento		Licencia de Construcción							Licencia de Ocupación	
	Superficie mínima de Predio*	Frente mínimo de Predio*	Índice de Edificabilidad		Porcentaje mínimo de permeabilidad	Altura máxima		Altura máxima del 1er bloque	Separación a colindancia 2do bloque	Máximo Uso Residencial	Usos No Residenciales Ordinarios
	(m <sup>2</sup> )	(m)	Base	Ampliada	(%)	Base (niveles)	Ampliada (niveles)	(niveles)	(m)	Edificabilidad máxima (%)	Edificabilidad mínima (%)
SCP-0 Área de Protección	NA	NA	~0.1	NA	90%~	NA	NA	NA	NA	NA	Usos deportivos, recreativos e infraestructura turística
SCP-1 Área residencial	130~	7.5~	~1	~2.5	30%~	~2	~3	~3	NA	100%	25%
SCP-2 Área de usos mixtos	100~	5~	~2	~4	20%~	~3	~5	~3	2~	100%	50%
SCP-3 Área Núcleo	500~	14~	~3.5	~5.5	10%~	~4	~6	~4	3~	50%	100%

NA = No Aplica

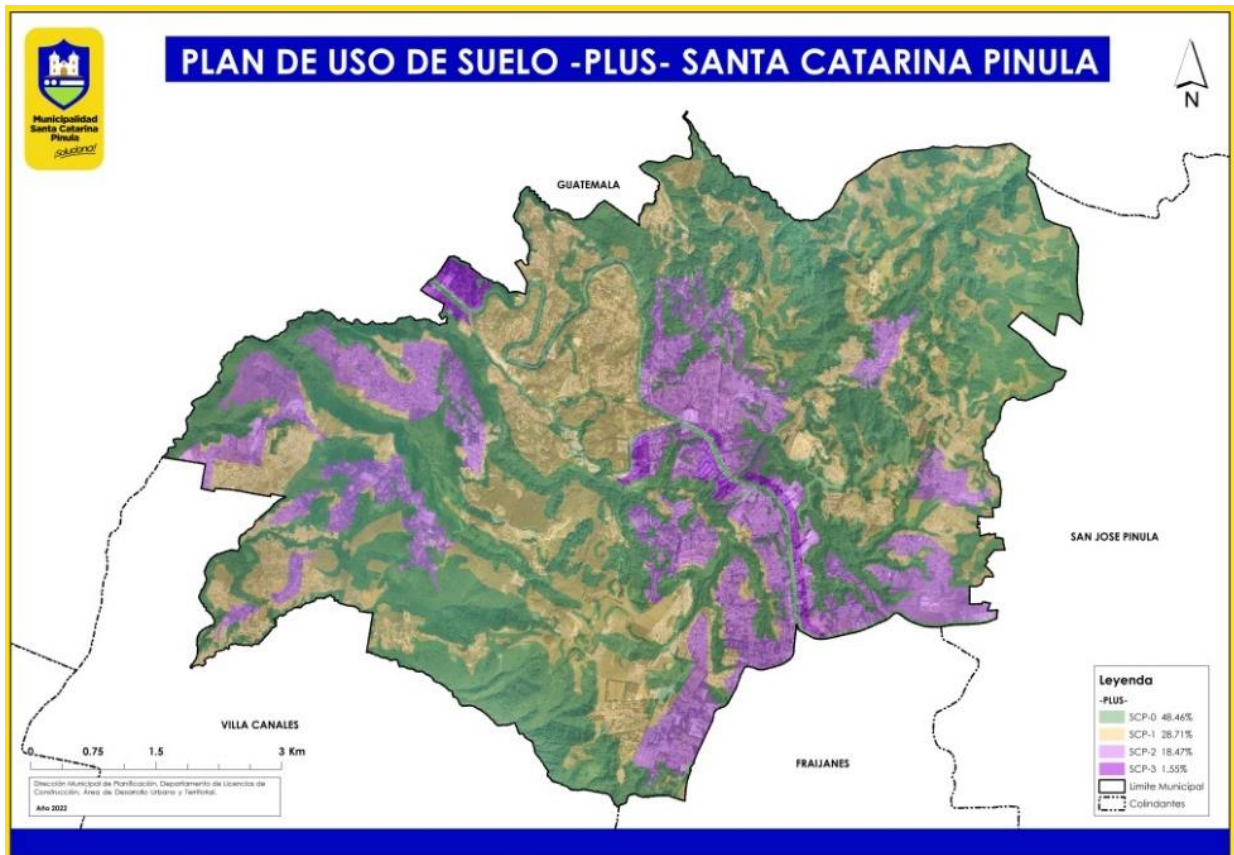
\* En los casos de fraccionamientos en lotes en zonas SCP-0 Áreas de Protección, serán definidas por la Junta de Ordenamiento Territorial

*Fuente:* Acta del Concejo Municipal de Santa Pinula 20-2022 (2022).

### Mapa del Plan de Ordenamiento Territorial

El mapa POT está compuesto por cinco mapas, que están integrados en el mapa de Plan de Uso de Suelo (PLUS) que representa geográficamente las categorías de uso de suelo que se vincula con los parámetros urbanísticos y territoriales del Cuadro 2. A diferencia de otros municipios la topografía de SCP es bastante irregular; por lo que, son pocas áreas que son aptas para la ocupación humana sin asumir algún tipo de riesgo. Por tanto, las categorías en dónde es permitida la construcción y ocupación humana, está segmentada en tres restricciones: SCP-1 (28.71%), SCP-2 (18.47%) y SCP-3 (1.55%). Por otro lado, se restringe el 48.46% de área natural con la categoría SCP-0 que son suelos destinados a la protección (Figura 1).

**Figura 1.** Mapa de Plan de Uso de Suelo (PLUS) de Santa Catarina Pinula.



Fuente: Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 20-2022 (2022).

**(a). Categoría POT “SCP-0 Áreas de protección”.** Son áreas de importancia ecológica, hídrica y de conservación (Art. 25). Solamente, se permiten aquellas actividades que se


relacionan a la productividad forestal y equipamientos ecológicos y de recreación. En excepción de desarrollos que tengan un Plan de Manejo Ambiental con dictamen favorable del Departamento de Ambiente.

- (b). **Categoría POT “SCP-1 Áreas residencial”**. Son áreas con calidad de servicios públicos, imagen urbana horizontal y predomina un uso residencial. Entonces, es un suelo apto para edificaciones de baja intensidad de construcción y un nivel de mixtura bajo de usos del suelo (Art. 25).
- (c). **Categoría POT “SCP-2 Área de usos mixtos”**. Son áreas con alto potencial de desarrollo, calles urbanas integradas y baja vulnerabilidad ante desastres. Entonces, es un suelo apto para edificaciones de media intensidad de construcción y un nivel de mixtura alto de usos de suelo (Art. 25).
- (d). **Categoría POT “SCP-3 Área de uso núcleo”**. Son áreas con alto potencial de desarrollo, promoción de empleo y baja vulnerabilidad ante desastres. Entonces, es un suelo apto para edificaciones de alta intensidad de construcción y un nivel de mixtura alto de usos del suelo (Art. 25).

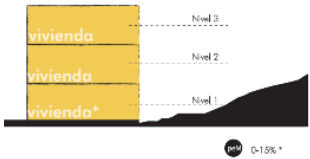

En el Cuadro 3 se resume cada categoría POT, los aspectos técnicos permitidos y una referencia ilustrativa del tipo de construcción que es permitido en cada uso de suelo.

**Cuadro 3.** *Resumen de categorías POT establecidas en el Acta del concejo municipal 20-2022.*

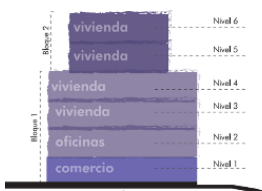
Categoría POT	Descripción	Parámetros urbanísticos y territoriales	Referencia ilustrativa
---------------	-------------	---	------------------------

<p>SCP-0 Áreas de protección</p>	<p>Áreas con importancia ecológica, hídrica y de conservación, destinados a su reserva natural por razones ambientales y de riesgo.</p> <p>No se permite la ocupación humana continuada, ni la expansión urbana.</p> <p>Se permite una edificabilidad mínima destinada únicamente a uso turístico, deportivo, de exploración e investigación.</p>	<p><b>Fraccionamiento:</b> Prevén lotes mayores de 1,000 m<sup>2</sup>.</p> <p><b>Construcción:</b> IE base: ~0.1 IE ampliado: NA Nivel base: NA Nivel ampliado: NA Porcentaje mínimo de permeabilidad: 90%</p> <p><b>Ocupación:</b> NA (solo usos recreativos, deportivos y turísticos)</p>	 <p>Diagrama de Disposición en Planta</p> <p>10% Solo para Uso cívico y Turístico</p>
--------------------------------------	---	--	--

Continuación del Cuadro 3.

Categoría POT	Descripción	Parámetros urbanísticos y territoriales	Referencia ilustrativa
<p>SCP-1 Área residencial</p>	<p>Áreas aptas para el desarrollo principalmente residencial, con tipologías de suelo adecuadas.</p> <p>Se permite edificaciones de baja densidad y de uso residencial, incentiva la construcción horizontal con un porcentaje considerable para la permeabilidad del suelo.</p>	<p><b>Fraccionamiento:</b> Frente mínimo de 7.5 m, con área mínima de 130 m<sup>2</sup>.</p> <p><b>Construcción:</b> IE base: ~1 IE ampliado: ~2.5 Nivel base: ~2 Nivel ampliado: ~3 Porcentaje mínimo de permeabilidad: 30%</p> <p><b>Ocupación:</b> Uso residencial: 100% Uso no residencial: 25%</p>	
<p>SCP-2 Área de usos mixtos</p>	<p>Áreas aptas para el desarrollo y que hoy brindan la mayor cantidad y diversidad de funciones.</p> <p>Se permite edificaciones de mediana densidad, de uso residencial y no residencial condicionado, con un porcentaje considerable para la permeabilidad del suelo.</p>	<p><b>Fraccionamiento:</b> Frente mínimo de 5 m, con área mínima de 100 m<sup>2</sup>.</p> <p><b>Construcción:</b> IE base: ~2 IE ampliado: ~4 Nivel base: ~3 Nivel ampliado: ~5 Porcentaje mínimo de permeabilidad: 20%</p> <p><b>Ocupación:</b> Uso residencial: 100% Uso no residencial: 50%</p>	



<p>SCP-3 Área núcleo</p>	<p>Áreas de alta densidad, núcleos de prestación de servicios metropolitanos y cercanía a la carretera principal CA-1.</p> <p>Se permite edificaciones, con un porcentaje de permeabilidad bajo, en donde se busca una imagen urbana densa.</p>	<p><b>Fraccionamiento:</b> Frente mínimo de 14 m, con área mínima de 500 m<sup>2</sup>.</p> <p><b>Construcción:</b> IE base: ~3.5 IE ampliado: ~5.5 Nivel base: ~4 Nivel ampliado: ~6 Porcentaje mínimo de permeabilidad: 10%</p> <p><b>Ocupación:</b> Uso residencial: 50% Uso no residencial: 100%</p>	
------------------------------	---	--	---

*IE : Índice de edificabilidad.*

Fuente: (Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 20-2022, 2022).

Entre los principios rectores de ordenamiento territorial que se muestran a continuación, se encuentra la **seguridad hídrica**. En donde, se espera una planificación hidrológica y gobernanza del agua, para el aprovechamiento hídrico sostenible.

- Aplicación de cargas territoriales y beneficios.
- Sostenibilidad y conectividad urbana.
- Protección y conservación del medio ambiente.
- Resiliencia territorial.
- Competitividad territorial y económica.
- Seguridad hídrica.

(Art. 3) (Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 20-2022, 2022).

Dentro de los objetivos del POT, se identifican cuatro relacionados al recurso hídrico, los cuales son:

- (a). Propiciar la protección del medio ambiente, en especial los hidrológicos.
- (b). Promover un modelo urbano que genere acceso equitativo a los servicios públicos, estimulando el adecuado uso de los recursos hídricos del municipio.
- (c). Implementar mecanismos para aumentar la recarga hídrica del municipio y distribución del agua.

- (d). Controlar los procesos de impermeabilización del suelo, con el objeto de preservar la recarga hídrica de los mantos freáticos, en especial en el suelo de protección.

(Art. 4) (Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 20-2022, 2022).

#### **2.1.4 Marco conceptual para la gestión integrada del recurso hídrico**

##### **a. Cuenca hidrográfica**

Una cuenca hidrográfica es un sistema en donde sus procesos influyen en la cantidad y calidad del agua y la forma en que se desplaza a través de un sistema. El manejo ambiental de una microcuenca se debe concebir como un enfoque sistémico, porque se comporta como un sistema, complejo y abierto, el cual presenta interacciones entre los componentes sociales, económicos y ecológicos que inciden en la disponibilidad de sus recursos naturales y por tanto en el bienestar de las poblaciones que habitan la microcuenca (Cobo & Piñeiros, 2020).

El manejo ambiental se analiza de arriba hacia abajo, en lo que se denomina clasificación vertical, bajo este criterio las microcuencas presentan las siguientes partes:

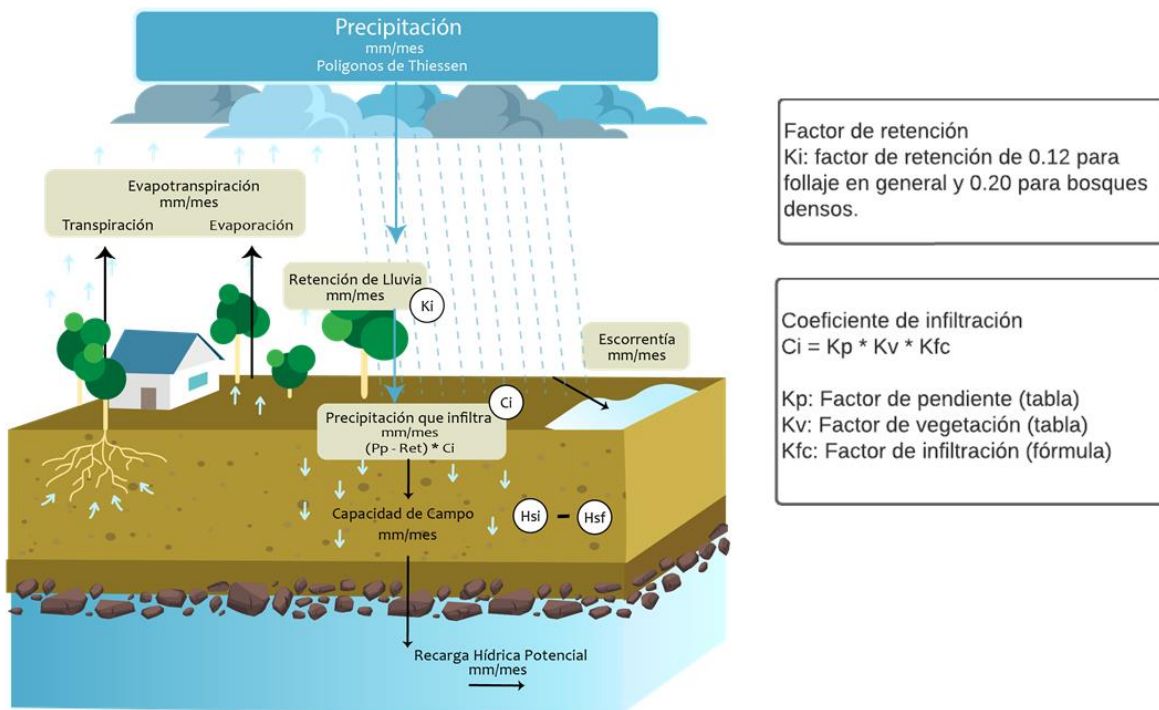
- Área de captación o zona productora de agua. Está conformado por sistemas montañosos que rodean el parteaguas de la microcuenca, cumple la función de regulación hídrica, por lo que es importante su conservación.
- Área de vertientes. La componen las partes medias de las montañas, cerros o colonias que rodean la microcuenca. En este sector afloran las aguas subterráneas filtradas a través del suelo y se pueden apreciar quebradas y arroyos bien conformados y de mayor caudal.

- Área de confluencia o zona receptora de agua. Compuesta por las partes bajas de las montañas y las vegas de los ríos, en donde se unen todas las quebradas, arroyos, riachuelos, en torno al río principal. Este último sigue su camino uniéndose a otro río llegando al mar.

## b. Balance hídrico

Las variables que influyen en el balance hídrico son parámetros meteorológicos (precipitación, temperatura, horas de sol, etc.), geográficas (uso de la tierra y pendiente) y geológicas (textura del suelo, velocidad de infiltración). La recarga potencial ocurre, si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a su capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas, el sobrante de agua se infiltra y percola hasta recargar al acuífero.

**Figura 2.** Diagrama de balance hídrico.



Fuente: Elaboración propia con base en la metodología de Schosinsky y Losilla (2020).

### **c. Recarga gestionada de acuíferos**

La recarga gestionada de acuíferos o conocido por sus siglas en inglés MAR (Managed Aquifer Recharge) es un método de gestión hídrica que permite introducir agua de manera intencionada en los acuíferos subterráneos. El agua puede proceder de ríos, depuradoras, escorrentía urbana, desaladoras o humedales, entre otros orígenes; y es introducida al acuífero mediante diversos métodos tales como zanjas, balsas o pozas, canales, pozos, sondeos de inyección, etc. (Sauto, 2020).

### **d. Soluciones basadas en la naturaleza**

Por otro lado, existe un concepto de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) que fue promovido por la UICN en 2009, el cual es reconocido a nivel internacional, que se trata de una estrategia que promueve la integración de la naturaleza en los entornos urbanos y periurbanos, mediante medidas adaptativas integrales basada en ecosistemas e infraestructura verde (Figuroa-Arango, 2020). Para que una intervención sea considerada una SbN, debe abordar uno o varios desafíos sociales de una manera integrada, como lo es la seguridad hídrica (UICN, 2020).

### **e. Sistemas urbanos de drenaje sostenible**

Los Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) son elementos que mejoran el comportamiento hídrico dentro del entorno urbanizado y forman parte de una "cadena de gestión" cuyo fin último es "detener, ralentizar, infiltrar y almacenar" el agua de lluvia (Rogríguez-Rojas, 2017).

## f. Impacto de la urbanización en ciclo del agua

Iniciando con la definición del concepto, se define “impacto” a los posibles efectos sobre el medio ambiente producto de una modificación del entorno natural (Real Academia Española, 2014). Por otro lado, en Europa o Estados Unidos está bien implantado la gestión de aguas pluviales dentro del contexto urbano, que se ha introducido el concepto “Impacto Hidrológico Cero”, el cual se define como: controlar el aumento de la escorrentía del predio impermeabilizado, debido a la construcción de una obra o actividad humana, buscando llevar la condición hidrológica de la parcela a su estado natural (Menjívar, 2016; Courty, L., 2021).

Dicho lo anterior, el impacto hídrico se define como: los efectos sobre el ciclo natural del agua que se tendrán en la construcción de una obra o proyecto. En dónde, la construcción tiende a la impermeabilización del suelo; tiene efectos en la reducción de la infiltración, aumento en la escorrentía, como la recarga de aguas subterráneas y el flujo base de las cuencas. A su vez, el inmueble dotará de consumo de fuentes de agua a mayor velocidad de la que se recarga (Tucci, C., 2007).

**Figura 3.** Conceptualización gráfica del impacto hidrológico en el ámbito urbano.



Fuente: Rodríguez-Rojas (2017).

### **2.1.5 Contexto de la situación hídrica en Santa Catarina Pinula**

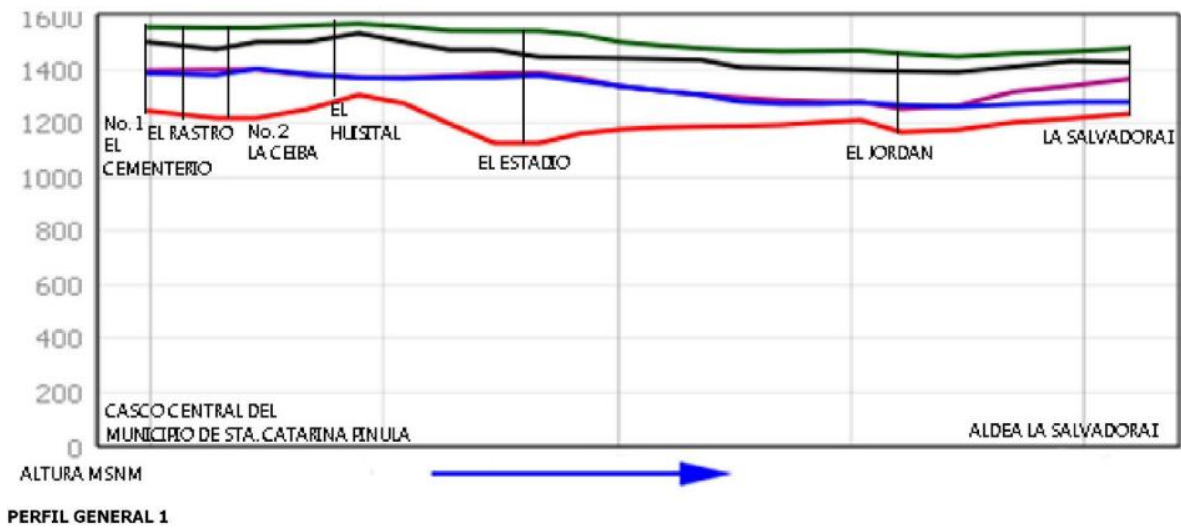
#### **a. Demanda de agua superficial y subterránea**

En Santa Catarina Pinula operan 26 pozos mecánicos municipales con los que abastece la demanda, también posee un sistema de agua superficial: presa Las Minas, el cual es conducido y tratado para su potabilización (FUNCAGUA y UICN, 2020). Por otro lado, el Río Las Minas constituye una fuente de agua superficial para el sistema de agua denominado El Cambray, administrado por EMPAGUA. De acuerdo con FUNCAGUA y UICN (2020) los costos asociados a producir  $1\text{m}^3$  de agua subterránea varían de  $\text{Q}0.33/\text{m}^3$  a  $\text{Q}4.95/\text{m}^3$  cuya variabilidad se debe a la distinción de caudales proporcionados por cada pozo. Por lo tanto, la subcuenca Villa Lobos es de importancia su intervención para mantener una adecuada provisión y demanda del recurso.

#### **b. Descenso nivel de los pozos**

En la gráfica que se presenta en la Figura 4, tomadas del estudio publicado por FUNCAGUA en el 2019 se representa el nivel piezométrico monitoreado en el año 1978 en color negro, el nivel piezométrico medido durante la época seca del año 2018 en color morado, el nivel piezométrico medido durante la época lluviosa del año 2018 en color azul y la profundidad total de los pozos en color rojo. En dónde, se evidencia un descenso en el nivel freático de los pozos.

**Figura 4.** *Perfil 1 del municipio de Santa Catarina Pinula.*



Fuente: Fundación para la Conservación del Agua (FUNCAGUA) (2019).

## **2.2 Descripción de la institución anfitriona**

La práctica profesional se desarrolló en la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, en específico en la Dirección Municipal de Planificación (DMP). El cual tiene la responsabilidad según el artículo 95 del Código Municipal: coordinar y consolidar los diagnósticos, planes, programas y proyectos de desarrollo del municipio (Decreto del Congreso de la República de Guatemala 12-2002, 2002). En el Acta Municipal 20-2022, nombra a la DMP como una de las dependencias municipales de aplicar el POT, además de la Dirección de Agua y Saneamiento y la Junta de Ordenamiento Territorial (Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 20-2022, 2022).

### **2.2.1 Localización**

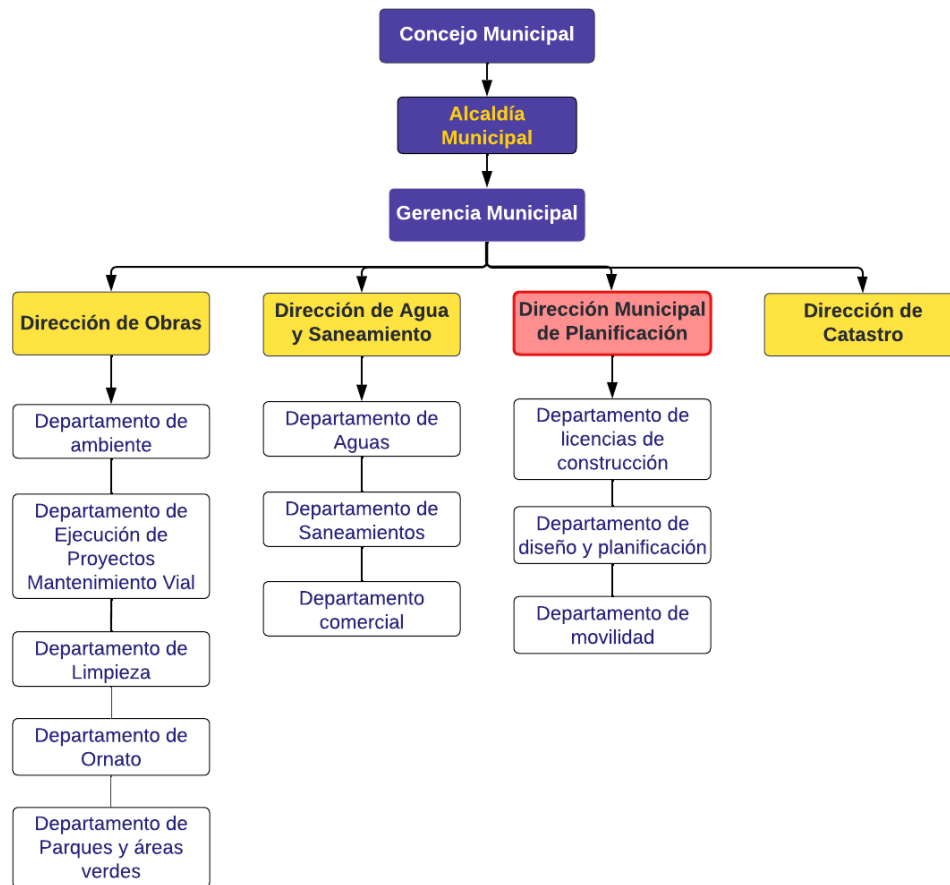
La Municipalidad de Santa Catarina Pínula se encuentra ubicada en la 1ª Calle 5-50 Zona 1 de la cabecera municipal, municipio de Santa Catarina Pinula, departamento de Guatemala.

### **2.2.2 Organización**

Con el objeto de conocer a mayor profundidad el trabajo que realiza cada unidad que integra la municipalidad, en la Figura 5 se muestra el siguiente organigrama. Representando únicamente las unidades en relación e intervención de la práctica, en especial la DMP que se encuentra marcado en rojo.



**Figura 5.** Estructura orgánica y funciones de cada una de las dependencias y departamentos de la municipalidad de Santa Catarina Pinula.



Fuente: Acortado de Municipalidad de Santa Catarina Pinula (2022).

### 2.2.3 Descripción del área específica de acción de la institución

La Dirección Municipal de Planificación, se encarga de la planificación de proyectos municipales en beneficio de la población, tales como: construcción de escuelas, hospitales, pavimentación de calles, proyectos ambientales, viveros, estudios de cuencas, entre otros (Municipalidad de Santa Catarina Pinula, 2022).

### **3 CONTEXTO DE PRÁCTICA**

#### **3.1 Necesidad empresarial**

En coordinación y gestión la UICN y la MGCS, dando seguimiento a el Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala (PROSEHIGUA) financiado por el Fondo de Agua y Saneamiento de España (FCAS) y la Agencia de Cooperación Española (AECID), requiere la elaboración de la presente práctica profesional. Donde la necesidad surge a partir del primer semestre del 2022, con el objetivo de realizar acciones puntuales ante el descenso de los niveles de los pozos municipales, de acuerdo con el monitoreo de estos, se gestionó la elaboración de un estudio en el cual se determinaron zonas potenciales de recarga hídrica en las microcuencas de los ríos Las Minas y Pinula realizado por dos estudiantes en su ejercicio profesional supervisado (EPS) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos (FAUSAC), en cooperación con la MGCS y la FUNCAGUA.

Con base a este estudio realizado previamente, surge la necesidad de darle continuidad con el planteamiento de un Plan Local para la gestión de acciones puntuales y concretas enfocadas en la recarga hídrica en las microcuencas en estudio ubicadas dentro del municipio de Santa Catarina Pinula. Considerando que Santa Catarina Pinula es un municipio que presenta acelerados patrones de crecimiento y que recientemente se encuentran en implementación del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) que entró en vigor el octavo día del mes de julio del año 2022, siendo de suma importancia abordar estudios que complementen y respalden con lo reglamentado en el POT para un adecuado desarrollo del municipio. En especial, permitirá mejorar las capacidades municipales para la gestión integral del recurso hídrico y fortalecer su marco político municipal para la gestión hídrica, que son objetivos de PROSEHIGUA.

## 3.2 Justificación

El municipio de Santa Catarina Pinula actualmente se encuentra en proceso de implementación del POT, como se mencionó anteriormente es necesario e importante elaborar respectivos instrumentos que apoyen el cumplimiento de las acciones reglamentadas en el POT. En su artículo 136 se establece “incentivos de ordenamiento territorial por práctica incentivable que mitigue impacto hídrico” y regula los parámetros de construcción que podría optar el desarrollador si accede voluntariamente a estos incentivos. Sin embargo, no se describen directrices para la determinación de un impacto hídrico y qué prácticas incentivables se podrían implementar concorde con el uso del suelo y las características del proyecto del interesado. Por tanto, resulta importante complementar esta reglamentación que traerá beneficios para el control del impacto de la urbanización en el recurso hídrico.

Por otro lado, acorde al diagnóstico territorial que se realizó previo a la formulación del POT, el municipio de Santa Catarina Pinula presenta diferentes problemáticas, entre las cuales destaca: el descenso del volumen de agua disponible para abastecer a toda la población que está en constante crecimiento. Que surge a raíz de características propias del municipio, puesto que se le considera una *ciudad dormitorio*, dado su ubicación estratégica con la ciudad de Guatemala, ha impulsado la construcción de residenciales, condominios y apartamentos. Estos demandan servicios de agua y saneamiento, y en algunos casos son de propiedad privada, por ende, resulta difícil monitorear la cantidad y calidad de agua que utilizan de pozos de agua subterránea. Este problema, con el tiempo, se ha evidenciado en el descenso del nivel freático de algunos pozos de SCP; por lo que, es importante promover una adecuada gestión que garantice la sostenibilidad del recurso hídrico en temas de cantidad y calidad a largo plazo.

Además, desde el punto de vista sistémico de cuenca hidrográfica, resulta importante la incorporación de una gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) en la planificación territorial del municipio de SCP. Para disminuir los efectos que tienen las ciudades en el ciclo hidrológico esto permitirá la sostenibilidad del recurso hídrico, en especial de las aguas subterráneas. Porque la densificación y expansión urbana tienen efectos en el ciclo natural del agua por el cambio repentino e impermeabilización del suelo. Que provoca efectos como: el cambio en los patrones de lluvia, por la disminución en la transpiración de las plantas, se impide la infiltración natural del suelo, que aumenta la escorrentía y su velocidad, que arrastra numerosos contaminantes, lo que ha originado la insuficiencia en las redes de saneamiento tradicionales, que no pueden evacuar los crecientes volúmenes provocando hundimientos, inundaciones y contaminación de fuentes de agua cada vez más frecuentes (Rogríguez-Rojas, 2017).

### **3.3 Eje de sistematización**

El eje de sistematización de la presente práctica es vincular la gestión integrada del recurso hídrico, con énfasis en la recarga hídrica, en la planificación territorial en marco del POT del municipio de Santa Catarina Pinula. Por tanto, esta práctica tuvo como producto final la presentación a la municipalidad de SCP de un Plan Local de gestión hídrica como instrumento que contiene un conjunto de herramientas; en específico: propuestas, lineamientos e indicadores que incentivan la recarga hídrica.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Elaborar un Plan Local piloto para la gestión de zonas potenciales de recarga hídrica a nivel de las microcuencas de los ríos Las Minas y Pínula dentro de los límites del Municipio de Santa Catarina Pínula, vinculado a las regulaciones de construcción municipal y los usos de suelos establecidos por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

### **4.2 Objetivos específicos**

Proponer prácticas de gestión para las zonas potenciales de recarga hídrica clasificadas como alta, moderadamente alta y moderada.

Construir lineamientos que incentiven la recarga hídrica en tres ejes: suelo artificial impermeabilizado, suelo natural, y modificaciones de uso del suelo a nivel tendencial.

Proponer indicadores estratégicos para el aseguramiento de la sostenibilidad de las prácticas identificadas que incrementan la recarga, calidad y cantidad de los recursos hídricos.

Socializar las prácticas, los lineamientos y los indicadores de sostenibilidad con las diferentes dependencias de la municipalidad que tienen relación con la implementación del plan de ordenamiento territorial.

## 5 PLAN DE TRABAJO

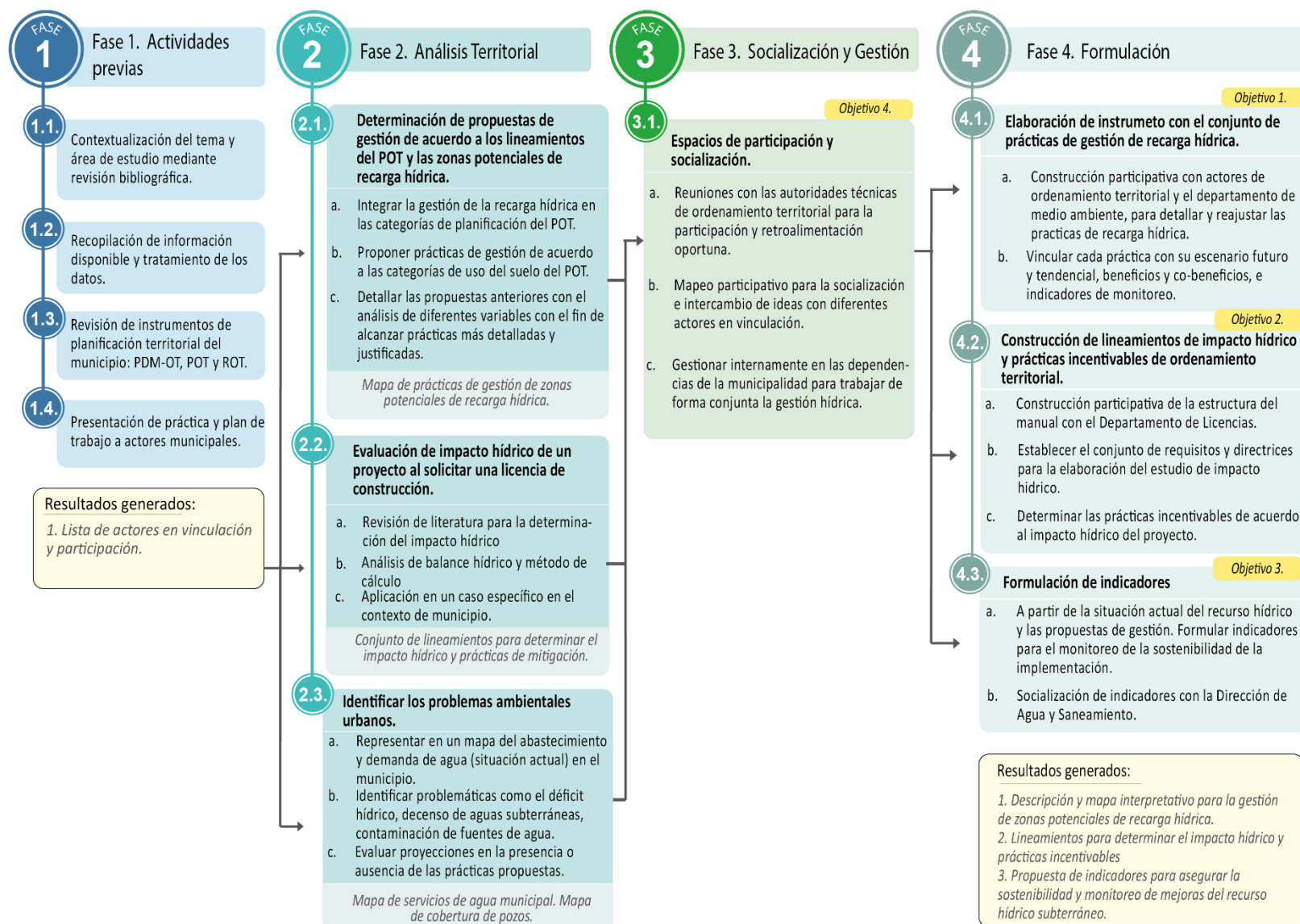
### 5.1 Programa desarrollado

La ruta metodológica que se utilizó para la elaboración del presente Plan Local de Gestión reúne consideraciones de varias metodologías: Guía metodológica para la elaboración del Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial en Guatemala (SEGEPLAN, 2018) y Guía metodológica del programa de ciudades emergentes a nivel internacional (BID, 2016). En las cuales, se rescata su enfoque de múltiples interacciones, sistémico y participativo, comprendida en cuatro fases, en donde el resultado de una es consecuente de la siguiente. A partir de esto, se establecieron cuatro grandes fases: Fase I. Actividades previas, Fase II. Análisis Territorial, Fase III. Participación y Socialización, y Fase IV. Formulación.

Se realizaron diferentes actividades en función de cada fase, en donde se tomaron consideraciones de otros conceptos metodológicos. Con el fin de incorporar la gestión integrada del recurso hídrico dentro de la planificación territorial, tales como: Manejo de Cuencas Hidrográficas, Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

En la Figura 6, se muestra el detalle de las fases que se ejecutaron en el plan de trabajo, cada fase genera resultados importantes para la siguiente, siempre resaltando la participación y socialización de diferentes actores municipales para garantizar la sostenibilidad en su implementación.

**Figura 6.** Diagrama gráfico en que se componen las diferentes fases, para el cumplimiento de los objetivos.



### **5.1.1 Fase I. Actividades previas**

Durante el primer mes de práctica, se realizaron actividades para la contextualización del tema en estudio, obteniendo orientación por la IUCN y la MGCS. Seguido, se realizó una recopilación de información necesaria para el estudio: revisión bibliográfica en gabinete, solicitud de información a diferentes unidades municipales y tratamiento de datos para la Fase II. Análisis territorial.

Se socializó el tema abordado en la práctica a diferentes actores municipales, para la vinculación de actores y hacer de su conocimiento el objetivo de la práctica profesional. Posteriormente, se inició con una revisión de los instrumentos de planificación del municipio: Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial (PDM-OT), Diagnóstico territorial, Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y Reglamento de ordenamiento territorial (ROT). Después de tener el marco conceptual, las necesidades bien identificadas y el conocimiento de los instrumentos de planificación territorial del municipio, se inició con las siguientes fases.

### **5.1.2 Fase II. Análisis territorial**

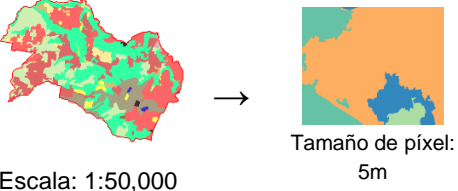
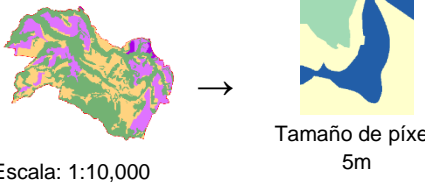

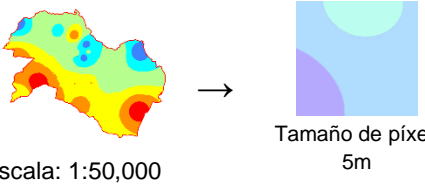

La segunda fase, tomó lugar a los dos siguientes meses de práctica, con el fin de analizar el territorio en relación con el recurso hídrico. Inicialmente, se realizó un diagnóstico del uso actual de la tierra, en el cual se utilizó de referencia el mapa de cobertura y uso actual del suelo del MAGA (2020), en el cual se realizó una actualización mediante un ajuste visual con la ortofoto del 2021 de resolución 1:1,000. Además, se incorporó una nueva categoría de espacios de propiedad municipal, por motivos del estudio (Figura 7).

Por consiguiente, se realizó un álgebra de mapas para la determinación de las prácticas de gestión. En dónde, se realizó una combinación de múltiples capas: mapa zonas potenciales de recarga hídrica, mapa de uso actual del suelo y mapa POT de plan de uso de suelo. Para ello,



previamente se convirtió la información vectorial en formato ráster y se realizó una conversión del tamaño de píxel para trabajar a una misma escala. Se consideró trabajar con un tamaño de píxel de cinco metros, por tanto, la escala de representación espacial es 1:10,000 (Figura 7).

**Figura 7.** Procedimiento de algebra de mapas y delimitación de escala de trabajo.

Datos de entrada	Procesamiento		Resultados
Mapa MAGA 2020  Ortofoto 2021	Ajuste visual del mapa de uso actual del suelo del MAGA (2020) a partir de ortofoto del 2021 con resolución de un metro por un metro.	 Escala: 1:50,000 Tamaño de píxel: 5m	Mapa de zonificación de gestión de zonas potenciales de recarga hídrica en el área de estudio.
Mapa de Planificación de Uso de Suelo (PLUS) (DMP, 2022)	 Escala: 1:10,000 Tamaño de píxel: 5m		
Mapa de zonificación de zonas potenciales de recarga hídrica (Chavarría, Juárez, FUNCAGUA & MGCS, 2022)	 Escala: 1:50,000 Tamaño de píxel: 5m	 Tamaño de píxel: 5 m Escala: 1:10,000	

Por otro lado, se analizó la situación del recurso hídrico del municipio, representado geográficamente: el suministro de agua, cobertura de pozos y niveles de los pozos. Con el objetivo de evidenciar y justificar las necesidades urbanas que se pueden satisfacer por medio de las prácticas propuestas y plantear los indicadores con relación al contexto del municipio.

### 5.1.3 Fase III. Participación y Socialización

La tercera fase se realizó con el fin de enfatizar la participación y socialización a lo largo de todo el proceso. Puesto que se realizó de forma independiente a lo largo de las diferentes fases

anteriores. Se llevaron a cabo espacios, como: un taller participativo para el intercambio de ideas, un mapeo participativo con actores, reuniones individuales con actores técnicos de ordenamiento territorial y entrevistas semiestructuradas individuales. Por último, se socializó el resultado final, para el conocimiento e implementación por diferentes actores municipales. Esto con el objetivo de gestionar lo que se va a realizar internamente en la municipalidad para trabajar de forma conjunta el tema de recarga hídrica.

#### **5.1.4 Fase IV. Formulación**

En la cuarta y última fase, a partir de toda la información generada en el análisis territorial y de las retroalimentaciones recibidas en los espacios participativos, se formularon diferentes herramientas para la planificación territorial. Por lo que, esta fase se divide en tres, en función de los tres objetivos específicos:

**1. Instrumento con el conjunto de prácticas de gestión hídrica.** Esto resulta de la información obtenida en la segunda fase, por ello, en esta etapa se organizó y construyó de manera participativa. En estrecha coordinación con actores se planteó propuestas de gestión en donde cada categoría contiene: una descripción, conjunto de recomendaciones y delimitación geográfica.

**2. Construcción de lineamientos para determinar el impacto hídrico y prácticas incentivables para la obtención de licencias.** Como primera actividad, se realizó un taller con actores del Departamento de Licencias de Construcción para la retroalimentación oportuna de la propuesta del método de cálculo para la determinación de un impacto hídrico. Posteriormente, de evaluar el impacto hídrico, se asoció cada práctica propuesta con la magnitud de impacto hídrico a mitigar.

**3. Formulación de indicadores.** Como primer punto, se realizó una propuesta de indicadores con base en: la Guía Metodológica del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2013) y la Guía de Certificación del Urbanismo Ecológico de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (2008). A su vez, los indicadores se adaptaron a las necesidades del municipio acorde a la situación del recurso hídrico que se analizó en la segunda fase. Posteriormente, se socializaron los indicadores propuestos con la MGCS, en dónde se recibieron recomendaciones para que puedan ser interpretados por la Dirección de Agua y Saneamiento para su implementación.

## **5.2 Indicadores de resultado**

Como parte de la práctica profesional, en el Cuadro 4 se establecen los siguientes indicadores de resultado en relación con el alcance de los objetivos específicos propuestos. Si bien, cada indicador tiene su medio de verificación que demuestra que la actividad fue realizada.

**Cuadro 4.** Indicadores y medios de verificación.

Objetivo específico	Indicador de resultado	Medio de verificación
<p>Proponer prácticas de gestión para las zonas potenciales de recarga hídrica clasificadas como alta, moderadamente alta y moderada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificadas las prácticas que incentivan el manejo, conservación y protección de zonas con mayor potencial para la recarga hídrica.</li> <li>• Delimitadas las zonas prioritarias de intervención para incentivar la recarga hídrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documento y mapa interpretativo de las prácticas incentivables de gestión en espacios naturales, urbanos y periurbanos.</li> </ul>
<p>Construir lineamientos que incentiven la recarga hídrica en tres ejes: suelo artificial impermeabilizado, suelo natural, y modificaciones de uso del suelo a nivel tendencial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinado el impacto hídrico de la impermeabilización de proyectos en zonas con potencial para la recarga hídrica.</li> <li>• Formuladas las directrices y prácticas incentivables para la construcción de proyectos urbanísticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual con lineamientos para determinar el impacto hídrico y prácticas incentivables para su mitigación.</li> </ul>
<p>Proponer indicadores estratégicos para el aseguramiento de la sostenibilidad de las prácticas identificadas que incrementan la recarga, calidad y cantidad de los recursos hídricos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborados los indicadores para asegurar la sostenibilidad y monitoreo de mejoras en cantidad y calidad del recurso hídrico en el municipio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documento con indicadores para asegurar la sostenibilidad y monitoreo de mejoras en recarga, cantidad y calidad del recurso hídrico.</li> </ul>

Continuación de Cuadro 4.

Objetivo específico	Indicador de resultado	Medio de verificación
<p>Socializar las prácticas, los lineamientos y los indicadores de sostenibilidad con las diferentes dependencias de la municipalidad que tienen relación con la implementación del plan de ordenamiento territorial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutados los talleres y mapeos participativos para la socialización de las propuestas.</li> <li>• Realizadas las reuniones con las diferentes unidades municipales.</li> <li>• Realizadas las reuniones con instituciones externas a la municipalidad para la coordinación de acciones a un nivel de implementación más detallado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Constancia de los espacios de gestión, participación y socialización ejecutados.</li> <li>• Registro de reuniones realizadas con unidades municipales y de asistencia de los participantes.</li> <li>• Registro de reuniones realizadas con instituciones externas y de asistencia de los participantes.</li> </ul>

### 5.3 Cronograma de actividades

En el Cuadro 5, se presentan las actividades realizadas durante los seis meses de práctica profesional, ordenados en las cuatro fases de la metodología establecida, para el alcance de los objetivos propuestos. La práctica profesional se llevó a cabo a partir del veinticinco (25) de julio del 2022 al veinticinco (25) de enero del 2023.

**Cuadro 5. Cronograma semanal de las actividades desarrolladas en cada fase del plan de trabajo.**

Actividad		Julio	Agosto					Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				
		Semanas		Semanas			Semanas				Semanas				Semanas				Semanas									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
Primera Fase	0. Orientación de las actividades a abordar por parte de MGCS y UICN.	X																										
	1.1. Contextualización del tema y área de estudio mediante revisión bibliográfica		X	X	X	X	X	X																				
	1.2. Recopilación de información disponible y tratamiento de datos	X	X	X	X	X	X	X																				
	1.3. Revisión de documentos PDM-OT y POT de Santa Catarina Pinula: Primera lectura del Municipio				X	X	X																					
Segunda Fase	2.1. Diagnóstico del uso actual del territorio e identificar oportunidades para la gestión hídrica en espacios naturales, urbanos y periurbanos.					X	X	X	X	X	X	X																
	2.2. Determinación de propuestas de gestión de acuerdo con los lineamientos del POT y las zonas potenciales de recarga hídrica.								X	X	X	X	X	X														
	2.3. Evidenciar e identificar la situación del recurso hídrico del municipio.									X	X	X	X	X	X													
Tercera Fase	2.3. Espacios de participación y socialización.							X			X			X	X			X	X	X								
	2.4. Espacios de Gestión																					X	X	X	X			
Cuarta Fase	3.3. Elaboración de instrumento con el conjunto de prácticas de gestión de zonas de recarga hídrica									X		X	X		X	X		X	X	X								
	1.4. Construcción de herramienta de impacto hídrico y prácticas incentivables											X	X			X		X	X	X	X							
	3.4. Formulación de indicadores de sostenibilidad																	X	X	X		X	X					

## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Prácticas de gestión de zonas potenciales de recarga hídrica

Se identificaron y categorizaron prácticas de gestión en zonas con alto potencial de recarga hídrica, cuyo proceso involucró una caracterización de actores y un análisis territorial. Esto servirá a la municipalidad de SCP para mejorar la toma de decisiones en el territorio.

#### 6.1.1 Caracterización de actores

En el Cuadro 6, se identificaron diez (10) actores clave en la participación, retroalimentación y ejecución de los resultados de la presente práctica profesional. De los cuales cinco (5) son gubernamentales y cinco (5) son privados.

**Cuadro 6.** *Identificación y caracterización de actores.*

Actores	Dependencia	Rol, interés y/o influencia
Ing. Luis Fernando	<b>Dirección de Agua y Saneamiento de SCP</b>	Actualización de información de pozos municipales, abastecimiento de servicio municipal, demanda y consumo de agua del municipio.  Evaluación sobre la solicitud de nuevas licencias en temas de agua y saneamiento.
Ing. Sergio Alejandro Martínez Zelaya	<b>Dirección Municipal de Planificación de SCP</b>	Actualización de información cartográfica del municipio y apoyo de los instrumentos previos de planificación territorial del municipio.
Ing. José Miguel López Chan	<b>-DMP-</b>	Planeación de proyectos municipales que se realizan como pozos de absorción de agua residual y de agua pluvial, parques ecológicos municipales e infraestructura pública.
Ing. Cesar Roberto Munguía Maldonado	<b>Departamento de Licencias de Construcción de SCP</b>	Evaluación sobre la solicitud de nuevas licencias de construcción y/o ampliación, cumpliendo los lineamientos del POT que se mencionan con relación a la promoción de áreas permeables y conservación del agua.

Continuación de Cuadro 6.

Actores	Dependencia	Rol, interés y/o influencia
Ing. Erick Josué Hernández	<b>Dirección de Catastro de SCP</b>	Actualización de información catastral sobre el área de los predios vacantes y aproximada del área construida.
Ing. Mary Carmen Morales Cáceres	<b>Departamento de Medio Ambiente de SCP</b>	Actualización de información de las especies nativas que manejan en el municipio como en el vivero municipal. Sitios priorizados de reforestación y conservación. Coordinación para la aprobación de obras municipales y de infraestructura pública en zonas potenciales de recarga hídrica.
Msc. Arq. Diana Karem Osorio  Ing. Mauro Tezen	<b>Mancomunidad Gran Ciudad del Sur</b>  <b>-MGCS-</b>	Como asociación municipal con lógica territorial, apoyo en la gestión y coordinación de alianzas con diferentes instituciones. Coordinación para la elaboración de estudios en el municipio con Universidades.
Msc. Lic. Lucía García	<b>Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala (PROSEHIGUA)</b>  <b>-UICN-</b>	Coordinación para la retroalimentación, asesoría y revisión técnica profesional durante el proceso de elaboración del estudio.
Ing. Francisco Visoni	<b>Instituto Nacional de Bosques</b>  <b>-INAB-</b>	Coordinación para la gestión de aplicación de los incentivos PROBOSQUE y PINPEP en aquellos predios que cumplen con los requisitos.
Msc. Ing. Ángela Méndez	<b>Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala</b>  <b>-FUNCAGUA-</b>	Sistematización de experiencias de la recarga gestionada de acuíferos en distintos municipios de la región metropolitana de Guatemala.  Coordinación para la priorización de zonas óptimas para la recarga hídrica.
Ing. Karem Aguilar	<b>Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación</b>  <b>-FUNDAECO-</b>	Coordinación para la priorización de áreas para su conservación, parques metropolitanos o corredores ecológicos.



En la municipalidad de Santa Catarina Pinula se identificaron como actores clave la Dirección Municipal de Planificación, por su rol importante en la planificación territorial del municipio y en las actuaciones de propiedad municipal. Asimismo, tanto la Dirección de Agua y Saneamiento como el Departamento de Licencias de Construcción, son actores que tienen influencia en la infraestructura urbana actual y futura, mediante la aprobación de licencias de construcción como también en la proporción de servicios de saneamiento y drenaje. Así como, el Departamento de Medio Ambiente, interviene en temas restauración y conservación de áreas naturales, especialmente aquellas de importancia hidrológica.

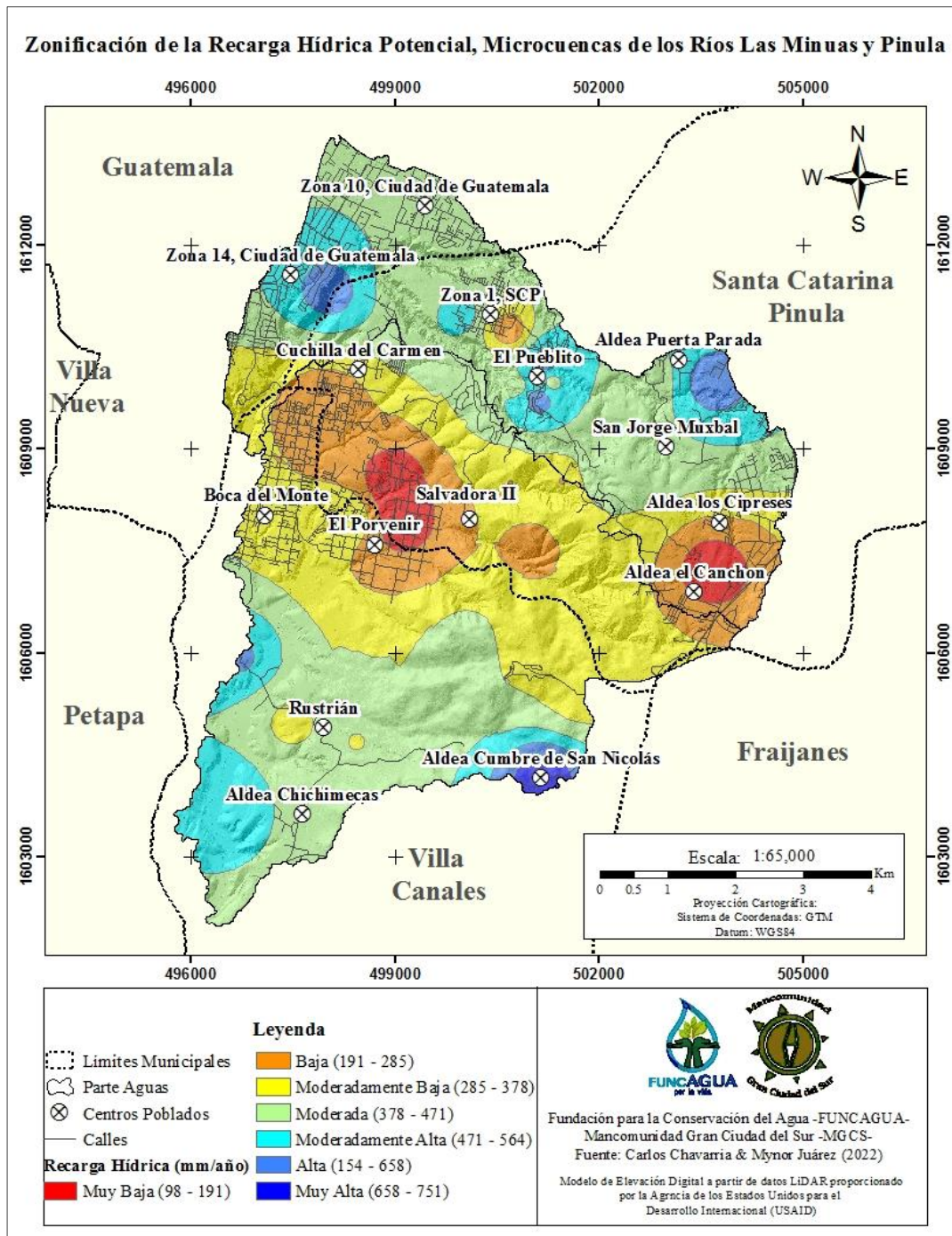
En cuanto a instituciones externas, se identificaron organizaciones como FUNCAGUA, INAB y FUNDAECO para la gestión de alianzas estratégicas; por ejemplo, apoyo en la inscripción de incentivos forestales, creación de parques ecológicos metropolitanos o coordinación de acciones de recarga hídrica. Por último, se identifica instituciones como la MGCS y UICN para el levantamiento y proporción de información para la mejora de las capacidades municipales, como lo fue la elaboración del presente estudio.

## **6.1.2 Análisis territorial**

### **a. Zonas potenciales de recarga hídrica**

Con base al estudio de Chavarría, Juárez, FUNCAGUA y MGCS (2022) realizado con la metodología de Schosincky y Losilla (2020), se determinaron zonas potenciales de recarga hídrica en dos microcuencas: Río Las Minas y Río Pinula (Figura 8). Estas microcuencas ocupan el 48% del territorio municipal y se encuentra en el Suroeste del municipio. Asimismo, del territorio que tiene alto potencial de recarga hídrica, se evidencia que 3.01 % esta con recarga alta (564-658 mm/h), 11.34 % esta con recarga moderadamente alta (471-564 mm/h) y 35.90 % esta con recarga moderada (368-471 mm/h).

Figura 8. Mapa de Zonificación de la Recarga Hídrica Potencial (Rp).

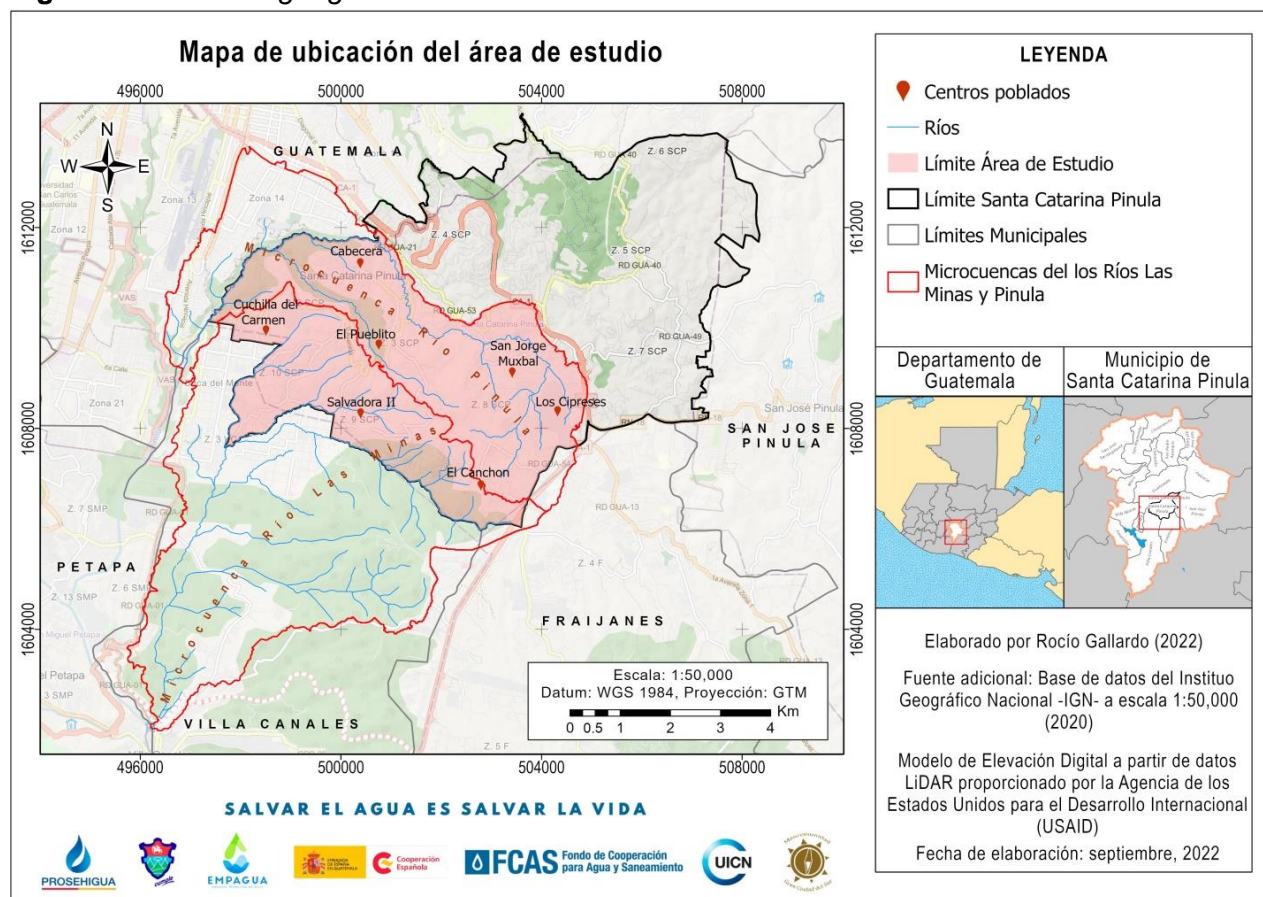


Fuente: Chavarria, Juárez, FUNCAGUA y MGCS (2022).

Considerando la extensión de las zonas potenciales de recarga hídrica, en la Figura 9 se presenta la delimitación geográfica del área de estudio, el cuál comprende una extensión de 25.3

kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) que constituyen el 48% del total del municipio. El resultado de esta delimitación permite alcanzar una mayor profundidad de análisis y de abordar un estudio piloto con la posibilidad de replicarlo en el 52% restante del municipio de SCP.

**Figura 9.** Ubicación geográfica del área de estudio.

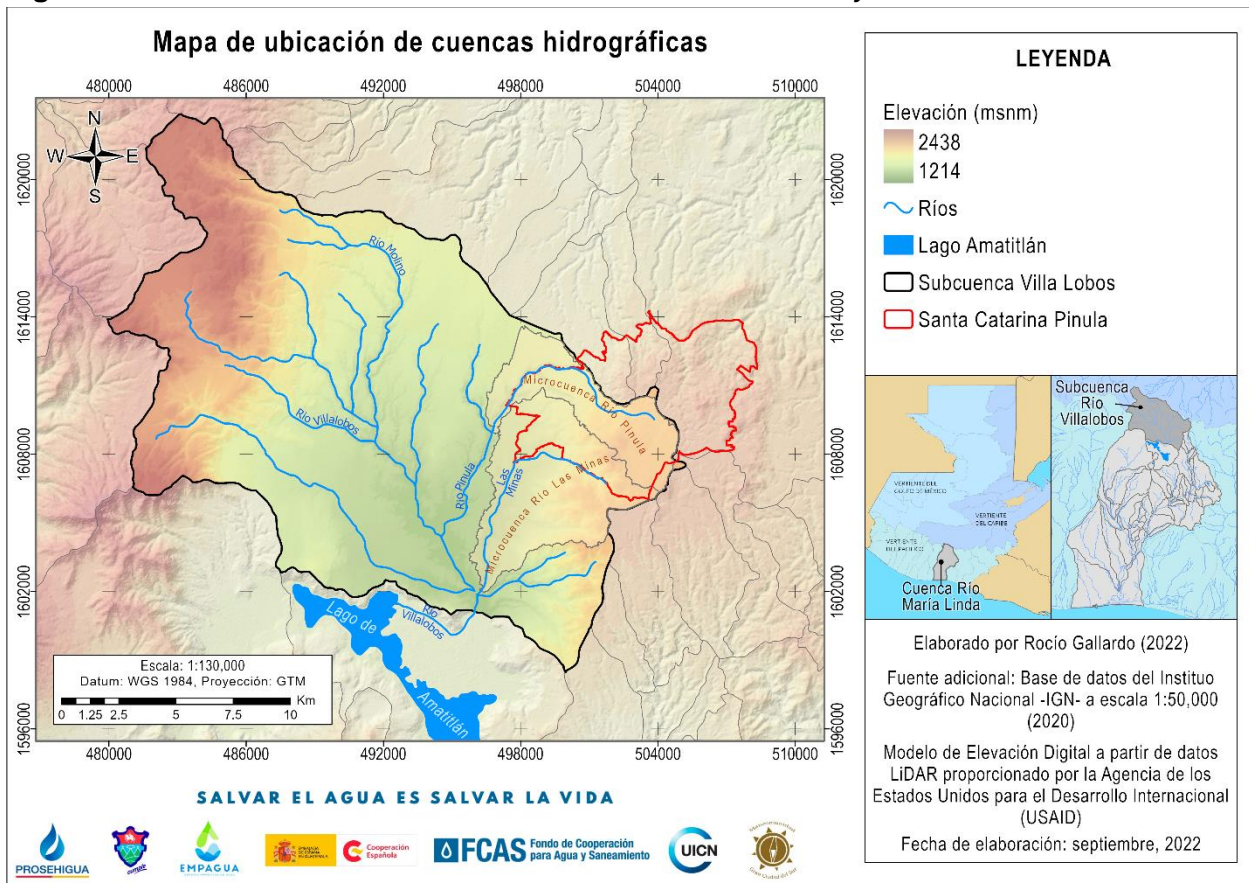


## b. Relación de agua superficial y subterránea

Previo a presentar las prácticas de gestión, se analizó el contexto del territorio en cuánto a la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas dentro del área de estudio. En la Figura 10 se presenta un mapa de ubicación de las cuencas hidrográficas. Las microcuencas de los Ríos Las Minas y Pinula, forman parte de la subcuenca del Río Villalobos, que es parte de la Cuenca del Río María Linda y de la Vertiente del Océano Pacífico. Ambas microcuencas son de tipo exorreico, por ende, sus aguas drenan a un cuerpo receptor: el Lago de Amatitlán. Con relación

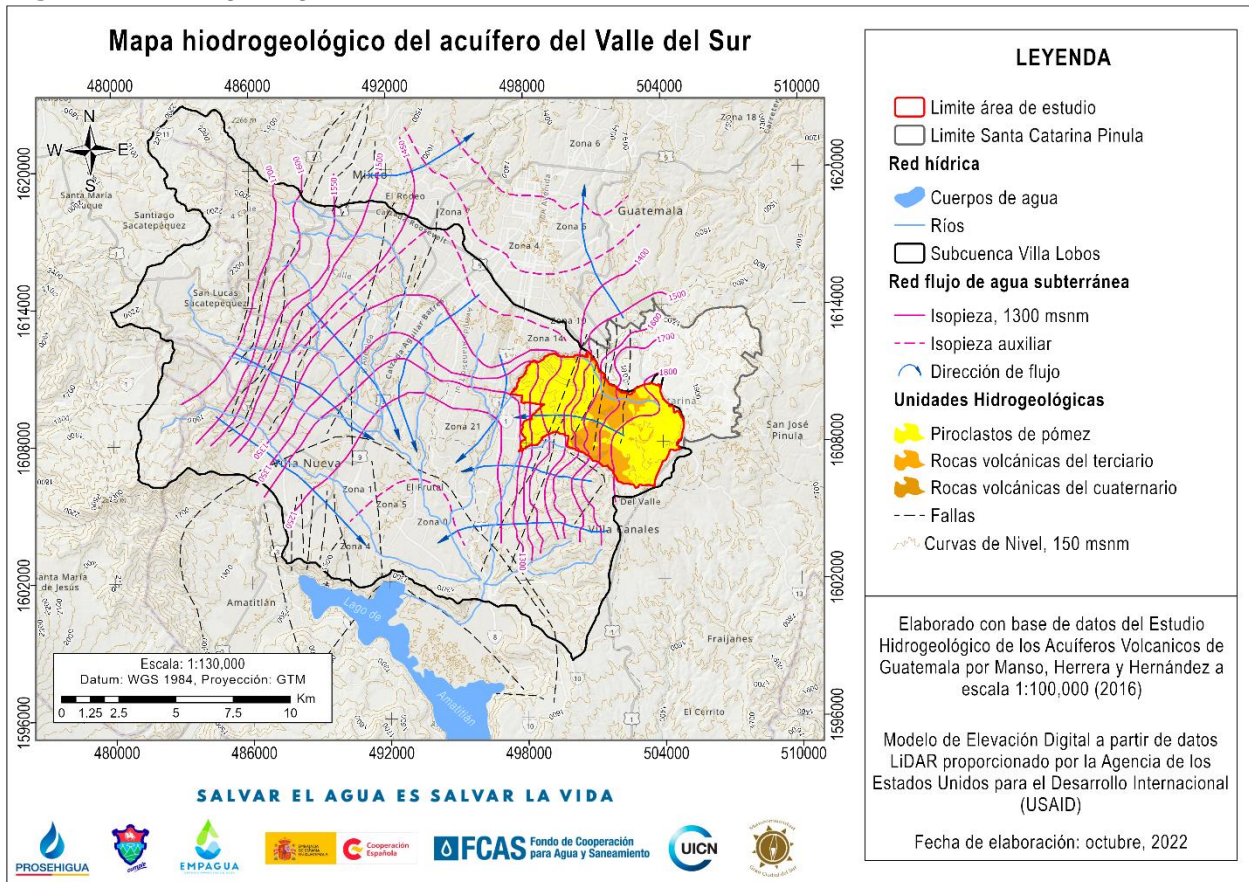
a esto, se identifican las partes altas y bajas de las microcuencas en metros sobre el nivel del mar (msnm). La superficie en rojo corresponde a las partes altas de la microcuenca, estas son de captación hidrológica: lugar donde nacen las corrientes, compuesto por sistemas montañosos y son de importancia para la conservación. Así como también, la zona intermedia se considera la zona de transporte, captando la mayor parte de agua y se transporta a la parte baja de la microcuenca, en donde confluyen todas las masas de agua. Que posteriormente, tanto el río Las Minas y Pinula tributan al río Villalobos, y este al Lago de Amatitlán. Estos resultados muestran el comportamiento del sistema pluvial en el área de estudio, el cual es de Este a Oeste. Por tanto, las actividades que se realicen en el área de estudio tendrán efectos tanto positivos como negativos en las partes bajas y en Lago de Amatitlán.

**Figura 10.** Ubicación de las microcuencas de los Ríos Las Minas y Pinula.



Por otro lado, en la Figura 11 se presenta el comportamiento de las aguas subterránea, para ello se analizó el estudio hidrogeológico de los acuíferos volcánicos de Guatemala realizado por Manzo, Herrera y Hernández (2016) en el cual menciona que Santa Catarina Pinula se encuentra en el acuífero Valle del Sur de la ciudad Guatemala.

**Figura 11. Hidrogeología del acuífero del Valle del Sur.**



El acuífero del Valle del Sur se encuentra conformada por dos acuíferos importantes: uno superior y el otro inferior, el superior constituido esencialmente por depósitos cuaternarios de piroclastos de pómez y el inferior constituido por rocas volcánicas fracturadas de dacitas, andesíticas y tobas (Manzo, Herrera, & Hernández, 2016). De acuerdo con esto, como se muestra en el mapa, la superficie en amarillo corresponde al acuífero superior y en naranja al acuífero inferior. El acuífero superior es más vulnerable a la contaminación. Mientras que, el

inferior tiene condiciones de confinamiento. Como se presenta en la Figura 11, el flujo de agua subterránea es de Este a Oeste, se recarga en las partes montañosas de Santa Catarina Pinula y se dirige hacia el sector Ojo de Agua en Villa Nueva. Por lo cual, las prácticas que incentiven la recarga hídrica tendrán incidencia y favorecerá a otras áreas, incluso a municipios colindantes.

Estos resultados evidencian la importancia de la promoción de prácticas que incentiven la recarga. Puesto que el área de estudio corresponde a la parte alta de la subcuenca del Río Villalobos, es una zona generadora de agua, por ende, es importante su conservación. Por otro lado, el flujo tanto de agua superficial y agua subterránea es de Este a Oeste, resultado de la topografía del terreno y la identificación de los niveles de agua subterránea. Por ende, es de vital importancia controlar la expansión de zonas urbanas, motivando más a la protección de zonas de recarga, que permite recuperar el ciclo natural del agua, evitando cambios en los regímenes de lluvias, caudal de escorrentía, inundaciones y colapso de drenajes.

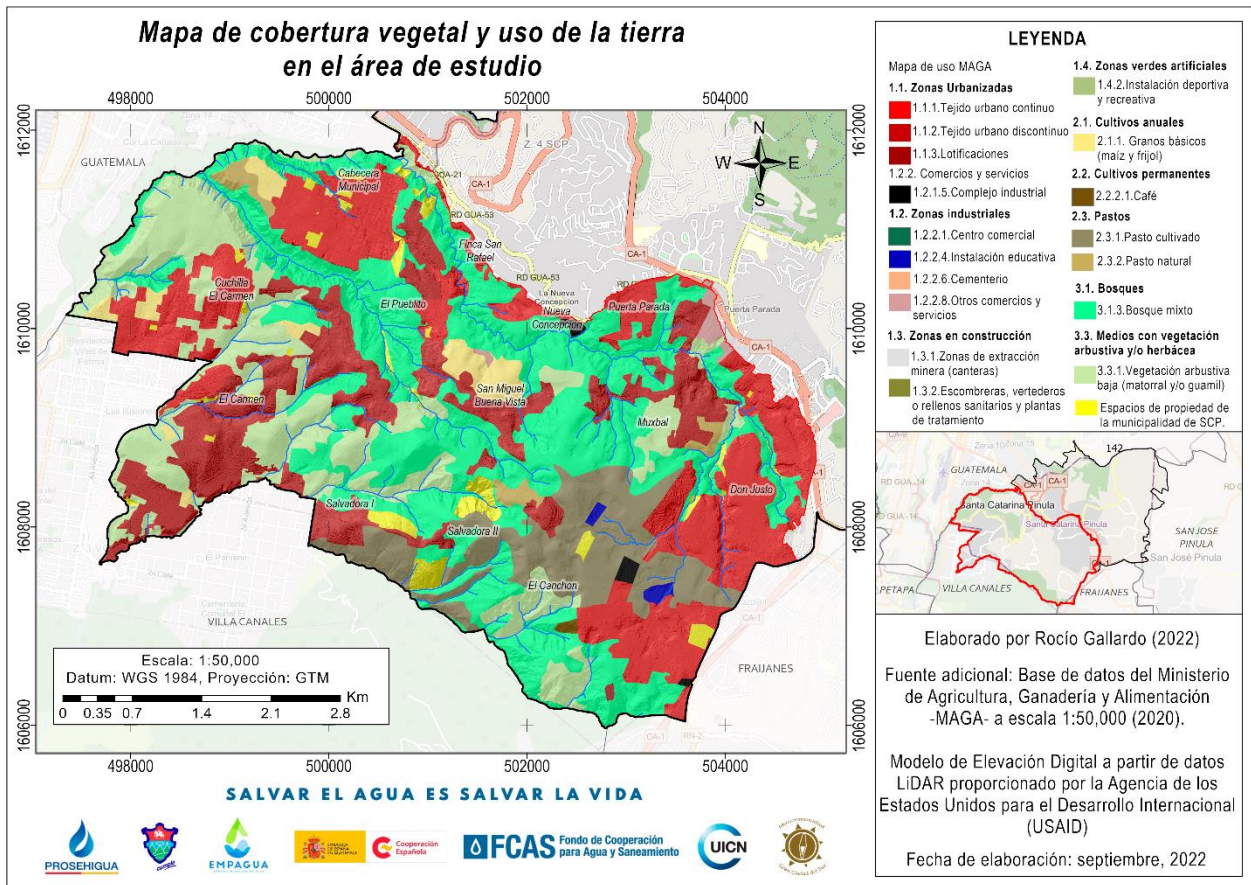
### **c. Diagnostico uso actual de la tierra y usos del suelo establecidos en el POT**

Para la formulación de prácticas de gestión, se realizó un diagnóstico del uso actual de la tierra y de las reglamentaciones de uso que establece el Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

En la Figura 12, se presenta el uso actual de la tierra, con referencia al MAGA (2020). El uso de la tierra predominante es vegetación natural con 51%, del cual el 34% es categorizado como bosque mixto y el 16% como vegetación arbustiva baja. De estas áreas naturales, se observa mayor intervención cerca de zonas urbanas, puesto que los matorrales y pastizales se encuentran con mayor presencia en estas áreas. Esto se puede observar, significativamente, en la aldea de Cuchilla del Carmen y El Carmen. Cuales, de acuerdo con opiniones de actores municipales, se encuentra con mayor presencia del sector inmobiliario. Además, las áreas con cobertura de bosque mixto se encuentran principalmente en áreas con pendiente pronunciada y cercana a los ríos, puesto que las condiciones no permiten una accesibilidad segura.

En cuanto a los territorios agrícolas, está presente en un 11.5% en el área de estudio, reconociendo tipos de cultivos como granos básicos con 1.01%, café con 0.03% y otros cultivos reconocidos como pastos con 10.1%. El municipio no es representativo en la producción agrícola, por lo general son para fines de subsistencia. Igualmente se identifican los espacios con propiedad de la municipalidad de Santa Catarina Pinula.

**Figura 12. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra en el área de estudio.**



**Cuadro 7. Representación de leyenda: uso de la tierra en el área de estudio.**

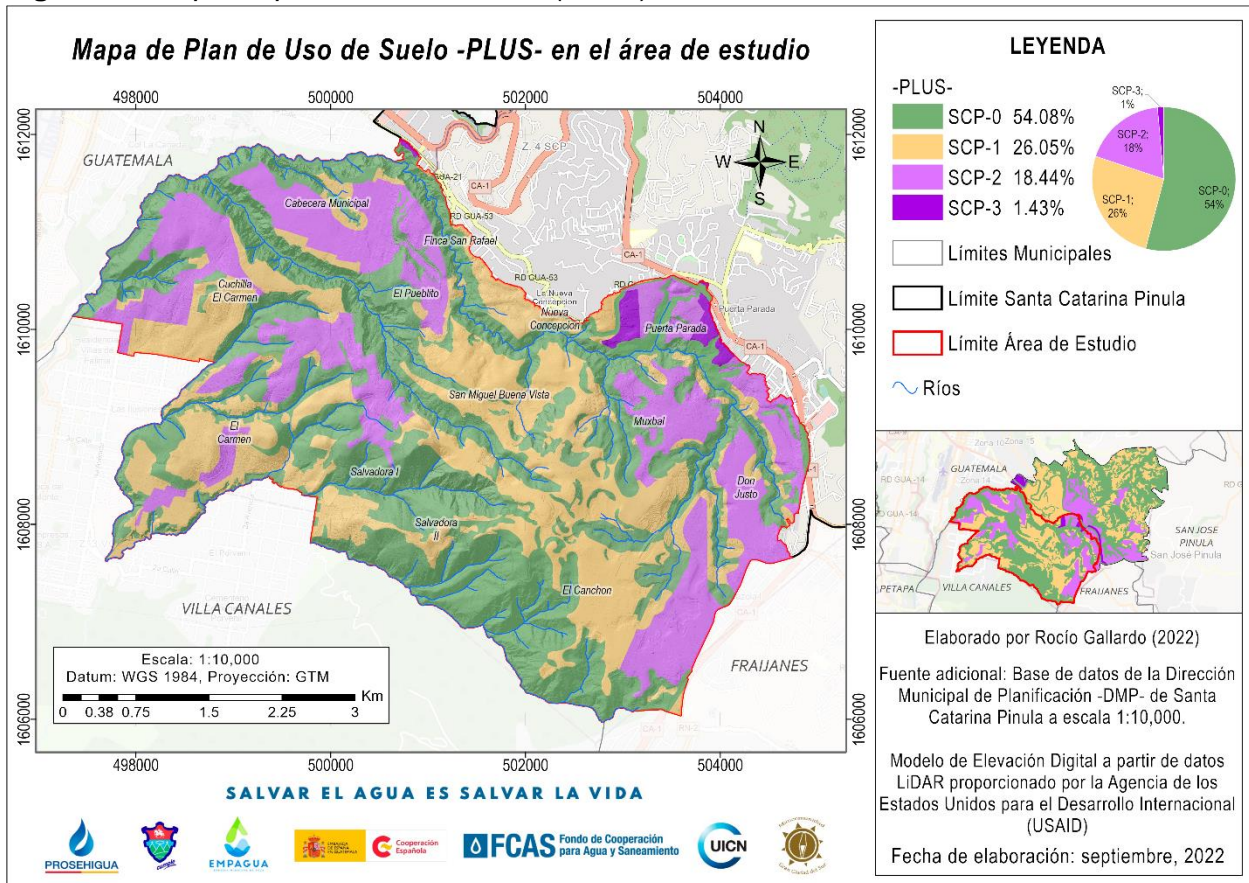
Leyenda	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
<b>Territorios artificializados</b>	<b>9.44</b>	<b>37.43</b>
<b>1.1. Zonas urbanizadas</b>		
1.1.1. Tejido urbano continuo	5.21	20.65
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.78	14.96
1.1.3. Lotificaciones	0.01	0.05
<b>1.2.2. Comercios y servicios</b>		
1.2.2.5. Complejo industrial	0.08	0.32
<b>1.2. Zonas industriales</b>		
1.2.2.1. Centro comercial	0.00	0.02
1.2.2.4. Instalación educativa	0.07	0.27
1.2.2.6. Cementerio	0.02	0.07
1.2.2.8. Otros comercios y servicios	0.11	0.45
<b>1.3. Minas y zonas en construcción</b>		
1.3.1. Zonas de extracción minera (canteras)	0.02	0.10
1.3.2. Escombreras, vertederos o rellenos sanitarios y plantas de tratamiento	0.02	0.08
<b>1.4. Zonas verdes artificiales</b>		
1.4.2. Instalación deportiva y recreativa	0.12	0.46
<b>Territorios agrícolas</b>	<b>2.91</b>	<b>11.5</b>
<b>2.1. Cultivos anuales</b>		
2.1.1. Granos básicos (maíz y frijol)	0.25	1.01
<b>2.2. Cultivos permanentes</b>		
2.2.2.1. Café	0.03	0.10
<b>2.3. Pastos</b>		
2.3.1. Pasto cultivado	2.35	9.30
2.3.2. Pasto natural	0.28	1.09
<b>Bosques y medios seminaturales</b>	<b>12.89</b>	<b>51.07</b>
<b>3.1. Bosques</b>		
3.1.3. Bosque mixto	8.65	34.26
<b>3.3. Medios con vegetación baja</b>		
3.3.1. Vegetación arbustiva baja (matorral y/o guamil)	4.24	16.81
<b>TOTAL</b>	<b>25.26</b>	<b>100</b>

Fuente: MAGA (2020)



En la Figura 13 se presenta el Mapa de Plan de Uso de Suelo (PLUS). El 54% es un suelo destinado a la protección, es un suelo afecto al acuerdo gubernativo 179-2001, áreas con pendientes pronunciadas, con limitación a servicios y ocupación humana. Las demás categorías, permiten construcción, en el cual están enfocados en el uso residencial (26.05%), mixto (18.44%) y núcleo (1.43%), respectivamente.

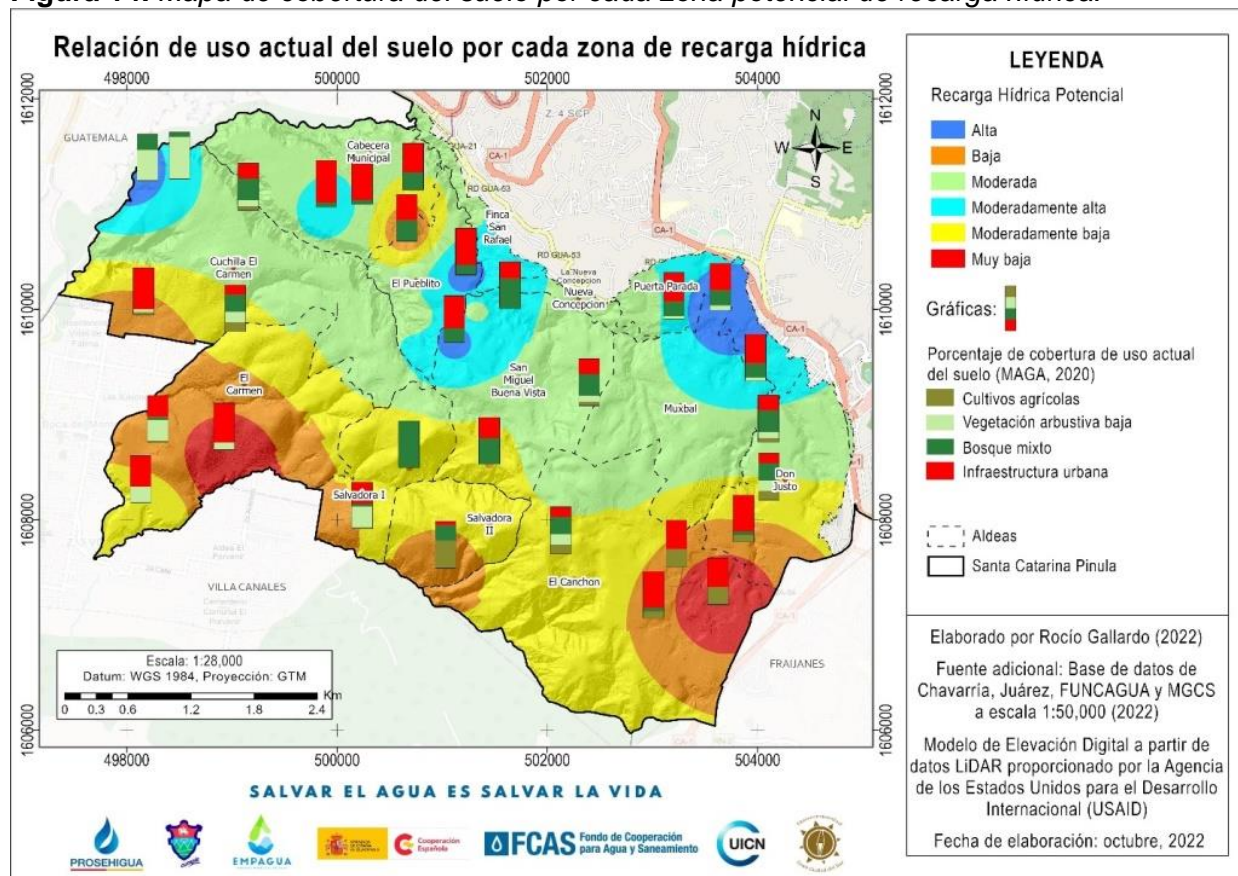
**Figura 13. Mapa de plan de uso de suelo (PLUS) en el área de estudio.**



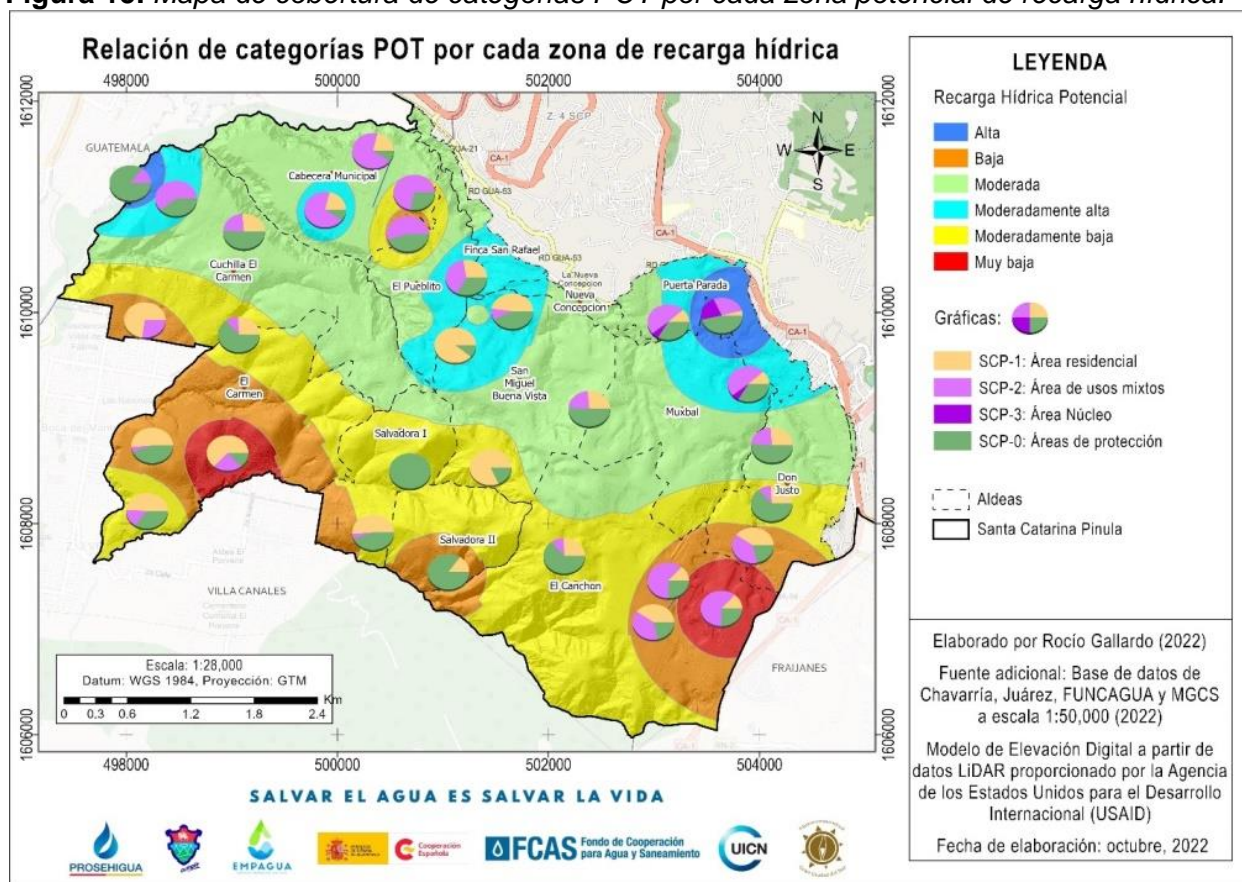
**d. Relación de cobertura de uso actual de suelo y categorías POT en zonas potenciales de recarga hídrica**

Se determinaron los porcentajes de cobertura de uso actual de la tierra del MAGA (2020) y cobertura de categorías POT (Acta del Concejo Municipal 20-22, 2022) en las diferentes zonas potenciales de recarga hídrica. En la Figura 14 y 15 se encuentra de manera segmentada y en el Cuadro 8 y 9 a nivel general. Con el fin de conocer la situación actual del área de estudio en cuanto a las superficies impermeables y superficies naturales actuales, y lo que es promovido por el plan de ordenamiento territorial.

**Figura 14. Mapa de cobertura del suelo por cada zona potencial de recarga hídrica.**



**Figura 15. Mapa de cobertura de categorías POT por cada zona potencial de recarga hídrica.**



La recarga hídrica potencial abarca 25.25 kilómetros cuadrados, de los cuales el 35% es moderada, 30% es moderadamente baja, 15% baja, 11% moderadamente alta, 4% muy baja y 3% alta. En la poca extensión de zonas de alta recarga hídrica, predomina un uso urbano (52%) que la cobertura natural (48%), está se encuentra ubicado en las aldeas El Pueblito, una sección de Puerta Parada y una sección de Cuchilla del Carmen. Sin embargo, el uso que promueve el POT, es mayormente de protección (47%) por lo que, no se permitirá la construcción en estas áreas naturales permitiendo la infiltración y recarga hídrica.

En las zonas con moderadamente alta recarga hídrica, predomina un uso natural (64%) que el uso urbano (45%), como es en una sección de Cuchilla del Carmen, San Miguel Buena Vista. Es importante generar esfuerzos en proteger y restaurar estas zonas de bosque (24%) y

vegetación arbustiva baja (15%). Puesto que se tiene en protección 36% de estas naturales y la superficie restante, permite construcciones SCP-2 (35%), SCP-1 (26%) y SCP-3 (2%).

Por último, en zona de recarga hídrica potencial moderado, predomina un uso natural (73%) que uso urbano (32%), y los espacios agrícolas ocupan un pequeño porcentaje (8%). En cuanto al POT la mitad está destinado a protección (50%) por lo que, la superficie restante, permite construcciones SCP-1 (26%), SCP-2 (22%) y SCP-3 (1%).

**Cuadro 8.** Representación de leyenda de las relaciones de superficie en kilómetros cuadrados y porcentaje del uso actual del suelo (MAGA, 2020) y las zonas potenciales de recarga hídrica.

Zona de recarga hídrica potencial	Total		Infraestructura urbana		Bosque mixto		Vegetación arbustiva		Cultivos	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Alta	0.76	3.01	0.40	52.26	0.23	30.71	0.13	17.03	0	0
Moderadamente alta	2.86	11.34	1.10	45.61	1.41	49.20	0.41	14.63	0	0
Moderada	9.07	35.90	2.26	32.16	5.41	59.69	1.22	13.46	0.75	8.28
Moderadamente baja	7.72	30.56	1.76	27.77	4.58	59.33	1.69	21.91	1.64	17.31
Baja	3.74	14.82	2.02	55.19	1.60	42.74	0.71	18.94	0.55	14.58
Muy baja	1.10	4.36	98.85	71.22	0	0	0.76	6.90	1.69	21.88
<b>Total =</b>	<b>25.25</b>	<b>100</b>	<b>7.84</b>	<b>31.05</b>	<b>13.48</b>	<b>53.36</b>	<b>4.20</b>	<b>16.63</b>	<b>17.76</b>	<b>70.34</b>

**Cuadro 9.** Representación de leyenda de las relaciones de superficie en kilómetros cuadrados y porcentaje de categorías POT (Acta de Concejo Municipal, 2022) y las zonas potenciales de recarga hídrica.

Zona de recarga hídrica potencial	Total		SCP-0		SCP-1		SCP-2		SCP-3	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Alta	0.76	3.01	0.36	47.49	0.12	15.17	0.19	24.31	0.10	13.03
Moderadamente alta	2.87	11.34	1.04	36.25	0.75	26.02	1.02	35.67	0.06	2.06
Moderada	9.08	35.90	4.55	50.17	2.38	26.21	2.07	22.79	0.08	0.83
Moderadamente baja	7.74	30.56	4.65	60.05	1.98	25.61	1.11	14.34	0	0
Baja	3.75	14.82	1.45	38.73	1.59	42.48	0.70	18.79	0	0
Muy baja	1.10	4.36	0.22	19.82	0.38	34.15	0.51	46.03	1.69	0
<b>Total =</b>	<b>25.30</b>	<b>100</b>	<b>7.84</b>	<b>31.05</b>	<b>13.48</b>	<b>53.36</b>	<b>4.20</b>	<b>16.63</b>	<b>17.76</b>	<b>70.34</b>

En resumen, estos resultados demuestran la relación que tienen la recarga hídrica potencial con el uso actual de la tierra y el uso que reglamenta el POT que se promoverá a futuro en esta área. Mostrando una adecuada gestión al destinar porcentaje significativo del uso actual natural a la protección mediante la categoría SCP-0. Sin embargo, se identificó las zonas más altas de recarga hídrica se encuentra mayormente impermeabilizado, por lo que, hay que gestionar acciones que promuevan la infiltración dentro del espacio urbano.

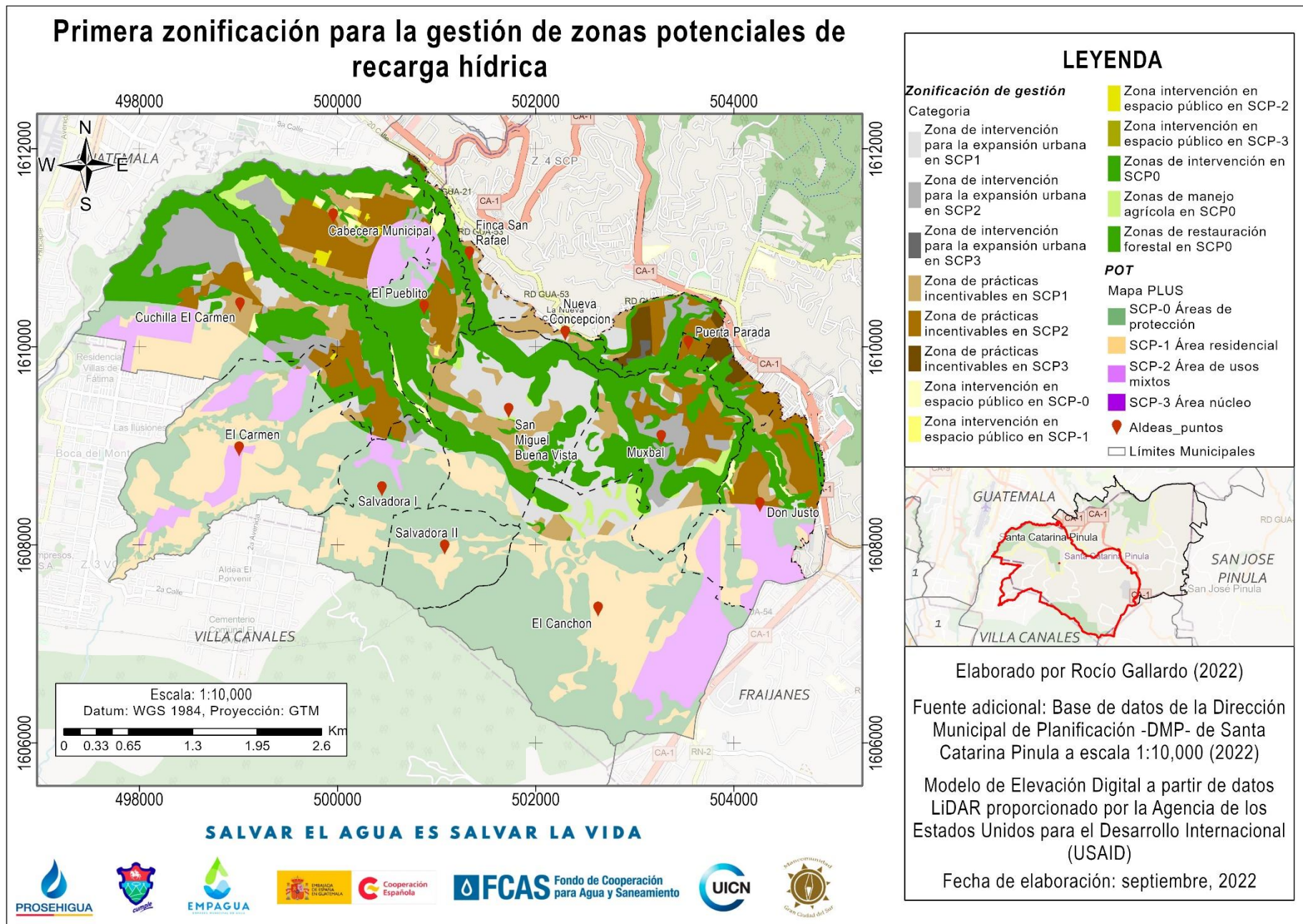
### **6.1.3 *Propuestas de gestión de zonas potenciales de recarga hídrica***

De acuerdo con el análisis del territorio y la socialización con actores, se formuló las siguientes propuestas de gestión (Cuadro 10), estas categorías se representan geográficamente en el mapa de zonificación de gestión (Figura 16)

**Cuadro 10. Formulación de propuestas de gestión.**

Uso actual 2021 SCP	Recarga Hídrica Potencial	Plan de Uso de Suelo (PLUS) 2022			
		SCP-0	SCP-1	SCP-2	SCP-3
Zonas urbanizadas	Alta	Zonas de intervención en infraestructura existente SCP-0	Zonas de prácticas incentivables en SCP1	Zonas de prácticas incentivables en SCP2	Zonas de prácticas incentivables en SCP3
	Moderadamente alta				
	Moderada				
Cultivos anuales	Alta	Zonas de prácticas agrícolas integradas en SCP-0	Zonas de intervención para la expansión urbana en SCP-1	Zonas de intervención para la expansión urbana en SCP-2	Zonas de intervención para la expansión urbana en SCP-3
	Moderadamente alta				
	Moderada				
Cultivos permanentes	Alta				
	Moderadamente alta				
	Moderada				
Pastos cultivados	Alta				
	Moderadamente alta				
	Moderada				
Bosques	Alta				
	Moderadamente alta				
	Moderada				
Medios con vegetación arbustiva y/o herbácea	Alta	Zonas de restauración y conservación forestal en SCP-0			
	Moderadamente alta				
	Moderada				
Espacio público municipal	Alta	Zonas de intervención en espacio público en SCP-0	Zonas de intervención en espacio público en SCP-1	Zonas de intervención en espacio público en SCP-2	Zonas de intervención en espacio público en SCP-3
	Moderadamente alta				
	Moderada				

Figura 16. Zonificación para la gestión de zonas potenciales de recarga hídrica.



En el mapa anterior se clasifica en tonos café, las superficies donde actualmente existe infraestructura humana; por lo que, se promueve realizar prácticas incentivables en torno a la recarga hídrica con el incentivo de optar por un índice de edificabilidad ampliado que está reglamentado en el POT con relación a la categoría que se encuentre: SCP-1, SCP-2 y SCP-3. Con el objetivo, de ir incorporando una adecuada gestión dentro de estas áreas urbanizadas.

Por otro lado, las zonas en tonos grises, corresponde a superficies sin intervención humana en dónde es permitida la construcción de acuerdo con la categoría POT que corresponda. Igualmente, que el anterior puede optar por el incentivo si se incorporan medidas de mitigación; pero con la diferencia de que las puede incorporar desde el diseño de la construcción del proyecto. Además, en estas zonas grises, también se puede generalizar esfuerzos en la municipalidad de SCP para obtener estas propiedades y realizar intervenciones enfocados principalmente a la recarga hídrica.

En cuanto a las zonas en tonos amarillos, se refiere a prácticas de gestión en espacios que son propiedad de la municipalidad de SCP. Esta categoría, servirá tanto para la Dirección Municipal de Planificación como el Departamento de Medio Ambiente para identificar espacios de oportunidad para la planificación e implementación de acciones, obras y/o prácticas que permitan la infiltración y recarga hídrica. Con el fin de incentivar a que la propia municipalidad pueda incorporar acciones para la visibilidad positiva del municipio y motivar a los vecinos a implementarlos dentro de sus construcciones.

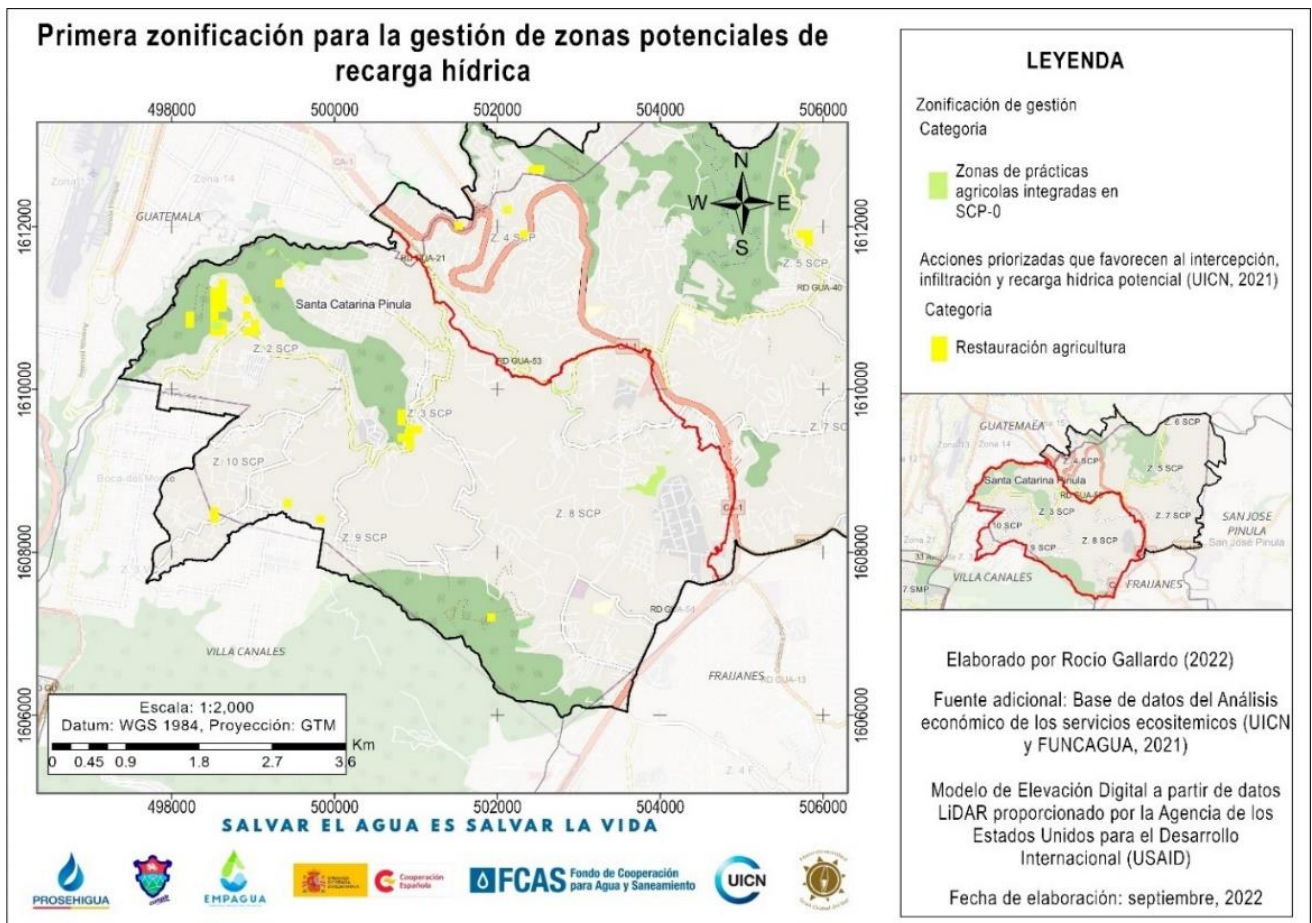
Las zonas en tonos verdes son superficies que actualmente se encuentran en estado natural, se encuentran en categoría POT de SCP-0, que promueve la restauración, conservación y manejo de estas áreas naturales. En la “zona de conservación forestal” se encuentra bosque por lo qué, es necesario restaurar en caso sea necesario y conservar. En el caso de los cultivos agrícolas, se presenta la categoría “zona de manejo agrícola”, puesto que se debe seguir



promoviendo porque significa un beneficio ambiental y social. Desde el punto ambiental posibilitan la infiltración y compostaje favoreciendo la regeneración del suelo. A su vez, se aprovecha eficientemente el espacio público para la producción de alimentos de consumo en al agotamiento de recursos naturales.

En el estudio de “análisis económico de servicios ecosistémicos” elaborado por FUNCAGUA y UICN (2020), se priorizan áreas que favorecen la captación, infiltración y recarga hídrica. En la Figura 17, se identifican las áreas de restauración de agricultura. Del cuál, se incorporó en la zona de gestión “prácticas agrícola integrales”.

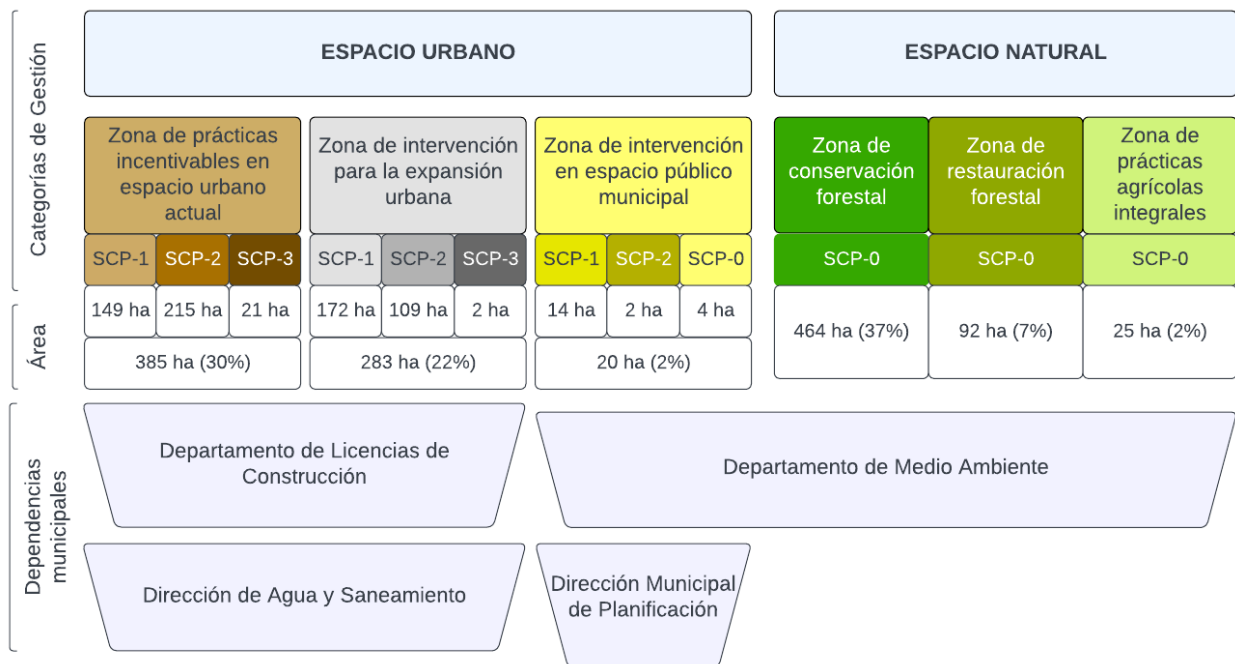
**Figura 17.** Acciones prioritarias de restauración en paisaje forestal que favorecen la intercepción, infiltración y recarga hídrica potencial.



Fuente: UICN & FUNCAGUA (2021).




En áreas con restauración de agricultura, se refiere arreglos agroforestales (con especies frutales) en tierras de agricultura anual; donde se propone implementar acciones de restauración como: cultivos anuales intercalados, cultivos perennes que reducirán la erosión; cultivos en surcos a nivel, labranza reducida, uso de abonos verdes, así como el establecimiento de zanjas de infiltración o acequias a nivel.




**Figura 18.** Representación gráfica de las propuestas y las dependencias municipales que tendrán participación para la gestión de recarga hídrica.



Con la información resultante del estudio, se elaboró una matriz de recomendaciones orientada al manejo de las zonas de recarga hídrica, haciendo distinción entre las medidas más apropiadas para cada una de las zonas, según su potencial.

**Cuadro 11. Descripción de categorías.**

Zonificación	Categoría de gestión	Descripción	Recomendaciones
 <p>Zona de prácticas incentivables en espacio urbano actual.</p>	Zonas de prácticas incentivables en SCP-1	<p>En donde si el propietario lo requiere, de acuerdo con la categoría POT en donde se encuentre: SCP-1, SCP-2 y SCP3. Obtener una ampliación de su índice de edificabilidad si se implementan prácticas incentivables de mitigación del impacto hídrico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promover los sistemas de captación y reutilización de agua pluviales y servidas, con el fin de promover una autosuficiencia hídrica.</li> </ul>
	Zonas de prácticas incentivables en SCP-2		
	Zonas de prácticas incentivables en SCP-3		
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">ESPACIO URBANO</p>  <p>Zona de intervención para la expansión urbana.</p>	Zonas de intervención para la expansión urbana en SCP-1	<p>Según la categoría POT, se permite la construcción respetando los parámetros normativos y urbanísticos. En dónde se puede optar por prácticas de mitigación del impacto hídrico del proyecto; pero a diferencia de que las puede incorporar desde el diseño de la construcción del proyecto. Además, en estas zonas, se puede generalizar esfuerzos para obtener estas propiedades y realizar intervenciones enfocados principalmente a la recarga hídrica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fortalecer los requisitos a adquirir una licencia de construcción, orientar al vecino en el adecuado sistema de drenaje.</li> <li>Adopción de espacios a favor de la municipalidad, para poder intervenir en la conservación y/o incorporación de medidas, en estas zonas de recarga hídrica.</li> </ul>
	Zonas de intervención para la expansión urbana en SCP-2		
	Zonas de intervención para la expansión urbana en SCP-3		
 <p>Zona de intervención en espacio público municipal.</p>	Zona intervención en espacio público en SCP-0	<p>Espacios de oportunidad para incorporar soluciones de diversa tipología, de acuerdo con las importancias de recarga, en dónde se encuentran</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar alianzas con TNC y/o FUNDAECO, para la protección de estas áreas destinadas a la protección, inscripción a incentivos forestales de estos espacios que son de propiedad municipal y de importancia para la recarga hídrica.</li> <li>Consideraciones en el diseño de construcciones de propiedad municipal, adecuación de medidas de mitigación del impacto hídrico.</li> </ul>
	Zona intervención en espacio público en SCP-1		
	Zona intervención en espacio público en SCP-2		

Zonificación	Categoría de gestión	Descripción	Recomendaciones
<p>a.</p>  <p>Zonas de conservación forestal</p>	Zonas de conservación forestal en SCP-0	Se promueve la protección del bosque; mediante la inscripción a incentivos forestales, conservación mediante parques ecológicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección para el rescate de barrancos, evitar su contaminación.</li> <li>• Protección de áreas por medio de incentivos forestales.</li> </ul>
<p>b.</p>  <p>Zonas de restauración forestal</p>	Zonas de restauración forestal en SCP-0	Se promueve la restauración, mediante reforestación con especies nativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo y control antes y después de una jornada de reforestación.</li> <li>• Planes de reforestación forestal para evitar talas masivas.</li> <li>• Crear disipadores de energía natural para mitigar la velocidad de escorrentía en época lluviosa.</li> <li>• Especies nativas: Árboles: <i>Magnolia</i>, <i>Liquidámbar</i>, <i>Piriboque</i>, <i>Calestemo</i>, <i>Jacaranda</i>. Arbustos: <i>Duranta</i>. Estabilización de Taludes: <i>Bettiger</i>.</li> </ul>
<p>c.</p>  <p>Zonas de prácticas agrícolas integrales</p>	Zonas de prácticas agrícolas integrales en SCP-0	Se promueve la incorporación de prácticas agrícolas integradas de conservación de suelos y agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorporación de zanjas de infiltración, siembra de árboles para sombra, barreras muertas, barreras vivas u otras obras de conservación de suelo y agua.</li> </ul>

## 6.2 Lineamientos que incentivan la recarga hídrica

Se establecen los siguientes lineamientos para promover acciones que incentiven una correcta gestión del recurso hídrico dentro del ámbito urbano: tanto en la infraestructura urbana actual como en los futuros desarrollos. Esto en vinculación con los incentivos de ordenamiento territorial del POT, que en el Artículo 136 establece: **Práctica incentivable por desarrollar obra que mitigue el impacto hídrico** (Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 20-2022, 2022).

### 6.2.1 Impacto hídrico

De acuerdo con la situación del municipio y la socialización con actores, se desarrolló una herramienta de cálculo para determinar el impacto hídrico de una obra o proyecto. Esta se determina a consecuencia de dos factores: la impermeabilización del suelo y el consumo de agua de un inmueble o predio. A continuación, se describe el procedimiento y herramienta de cálculo.

En primer punto, en consideración con el balance hídrico elaborado por Chavarría, Juárez, FUNCAGUA & MGCS (2022), que establece la fracción de precipitación en milímetros por año (mm/año) que tiene el potencial de recargar el acuífero para cada zona, se determina el impacto al impermeabilizar una zona de recarga hídrica. Este resultado se obtuvo mediante la conversión de milímetros por año (mm/año) a litros por metro cuadrado por año (litros/m<sup>2</sup>/año); dado que, 1 milímetro (mm) de lluvia equivale a 1 litro (l) de agua en 1 metro cuadrado (m<sup>2</sup>). Por tanto, el resultado de esta conversión se interpreta como el volumen de agua en litros que se están o estarán dejando de recargar por la impermeabilización de una determinada superficie en metros cuadrados en un periodo de un año (Cuadro 12).

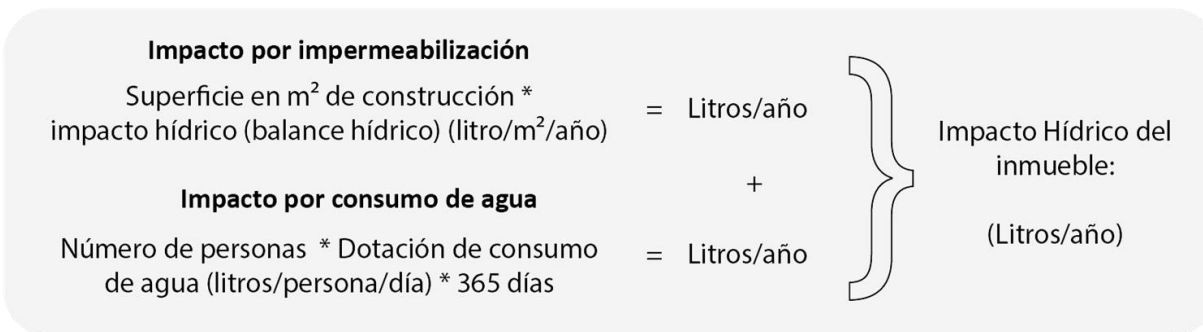
**Cuadro 12.** *Conversión de lámina de agua con potencial de recargar el acuífero a litros/m<sup>2</sup>/año que se estará interceptando con la impermeabilización de una superficie.*

Color	Recarga hídrica potencial	Rango (mm/año)	Impacto por m <sup>2</sup> de impermeabilización del suelo
	Alta	564.49 – 657.74	611.12 Litros/m <sup>2</sup> /año
	Moderadamente Alta	471.24 – 564.49	517.87 Litros/m <sup>2</sup> /año
	Moderada	377.99 – 471.24	424.62 Litros/m <sup>2</sup> /año
	Moderadamente Baja	284.74 – 377.99	331.37 Litros/m <sup>2</sup> /año
	Baja	191.49 – 284.74	238.12 Litros/m <sup>2</sup> /año
	Muy Baja	98.42 – 191.49	144.96 Litros/m <sup>2</sup> /año

En segundo punto, el impacto por el consumo de agua se determina mediante la dotación de consumo por persona, por el número de personas que ocupan u ocuparán el inmueble, por los 365 días al año. Obteniendo como resultado el consumo del inmueble en litros por año (litros/año). Para las dotaciones de consumo se recomendó utilizar el Código de Instalaciones Hidráulicas de Costa Rica (Morales, y otros, 2011), porque presenta las dotaciones de forma segmentada dependiendo del tipo de proyecto: vivienda, apartamento, local, entre otros. Sin embargo, se recomendó a la Dirección de Agua y Saneamiento de SCP generar esta información mediante estadísticas, con el fin de manejar dotaciones de consumo en el contexto del municipio de Santa Catarina Pinula.

Establecido el proceso de cálculo, en la Figura 19 se encuentra un resumen del procedimiento para obtener el impacto hídrico de un inmueble dependiendo de su superficie construida o a construir, y la cantidad de personas que habitan o habitarán el inmueble. Este resultado, permite cuantificar el impacto mediante un volumen de agua, de esta manera desarrollar respectivas medidas, obras y/o prácticas que mitiguen el impacto cuantificado mediante un volumen de agua. hídrico, permitiéndolo acceder al índice de edificabilidad ampliado del inmueble o predio del interesado.

**Figura 19. Síntesis del método de cálculo del impacto hídrico de un inmueble.**



Este procedimiento se transfirió a una hoja de cálculo (Excel) para tener una herramienta de fácil comprensión de para los actores municipales. Este resultado servirá a la municipalidad de SCP en los procedimientos de solicitud de una licencia de construcción que tenga por objeto acceder a las prácticas incentivables por desarrollar obras que mitiguen el impacto hídrico. Puesto que, se encuentra reglamentado en el POT que por cada 75% de mitigación del impacto hídrico el interesado tendrá el derecho de acceder al índice de edificabilidad ampliado, que se refiere a: aumentar los metros cuadrados de construcción que se permite en un inicio por las categorías de uso de suelo del POT (Cuadro 2).

La herramienta de cálculo, contiene una parte introductoria (Figura 20) y la calculadora para introducir valores para calcular el impacto hídrico de manera sencilla e intuitiva (Figura 21). Para calcular el impacto hídrico por la impermeabilización del predio se tienen dos opciones A y B. En la opción A permite colocar el área de construcción del predio establecida por el interesado, ya sea si es una infraestructura ya construida o en la solicitud de la licencia establece los metros cuadrados a construir. En la opción B, se permite colocar el área total del predio o inmueble, seleccionar la categoría POT, para obtener el máximo de metros cuadrados que se puede construir de acuerdo con el porcentaje (%) mínimo de permeabilidad establecido en el POT. De esta forma, permite manejar dos tipos de escenarios, uno real en la Opción A porque se obtiene el impacto al impermeabilizar una superficie en específico y uno teórico en la Opción B porque

se obtiene el impacto máximo que se tendría al construir el porcentaje máximo de construcción permitido en el área del predio. Por otro lado, para calcular el impacto por el consumo de agua, se ingresa el número de personas que habitan o habitarán el inmueble, y se selección la dotación de consumo, y automáticamente calcula el impacto total por consumo que tendría en un periodo de un año. De esta manera, en el costado derecho se tiene el resultado final: el impacto hídrico total que tiene o tendría el inmueble o predio.

**Figura 20.** Hoja de cálculo: Parte introductoria.

	A	B	C	D	E	F
2	<b>Calculadora para la determinar el impacto hídrico a consecuencia de la impermeabilización del suelo y consumo de agua de un predio/proyecto.</b>					
3	<b>Definición de concepto:</b>					
4	Se define "impacto" a los posibles efectos sobre el medio ambiente producto de una modificación del entorno natural (Real Academia Española, 2014). Por otro lado, en Europa o Estados Unidos está bien implantado la gestión de aguas pluviales dentro del contexto urbano, se ha introducido el concepto "Impacto Hidrológico Cero", el cual se define como: controlar el aumento de la escorrentía del predio impermeabilizado, debido a la construcción de una obra o actividad humana, buscando llevar la condición hidrológica de la parcela a su estado natural (Menjívar, 2016).					
5						
6						
7						
8						
9						
10	<b>Método de cálculo:</b>					
11	<b>Impacto hídrico total = Impacto por impermeabilización + Impacto por consumo.</b>					
12						
13	<b>Impacto por impermeabilización = Superficie m<sup>2</sup> a construir * impacto hídrico (Determinado por el balance hídrico)</b>					
14	<b>Impacto por consumo = Número personas * Dotación de consumo: Litros/persona/día * 365 días al año</b>					
15						
16	<b>Referencias utilizadas:</b>					
17	<b>Concepto:</b>	Real Academia Española. (2014). Diccionario de la lengua española, 23a. Ed. Obtenido de: <a href="https://dle.rae.es/impacto">https://dle.rae.es/impacto</a> Menjívar, E. (2016). <i>En busca del impacto hidrológico cero: implementación de pequeños dispositivos</i> . Agua, Saneamiento & Ambiente, Vol. 11 (No. 1).				
18	<b>Balance Hídrico:</b>	Chavarría, C., Juárez, M., FUNCAGUA, & MGCS. (2022). <i>Estudio para la determinación de zonas potenciales de recarga hídrica en las microcuencas de los ríos Las Minas y Pinula</i> . Guatemala.				
19	<b>Dotación de consumo de</b>	Morales, Á., Mora, D., Vargas, L., Chanto, L., Zamora, P., & Jiménez, Ó. (201). <i>Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones</i> . (Segunda edición ed.). Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.				
20						
21						
22	Gallardo, A. (2023). Elaboración de un plan local de gestión de zonas potenciales de recarga hídrica en las micorcuencas de los ríos las Minas y Pinula, para la planificación territorial de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.					
23						
24						
25	<b>SALVAR EL AGUA ES SALVAR LA VIDA</b>					
26						
27						
28						
29						
30						

**Impacto por impermeabilización**  
Volumen de agua interceptado por la superficie impermeable, evitando la infiltración y recarga hídrica en esta superficie.

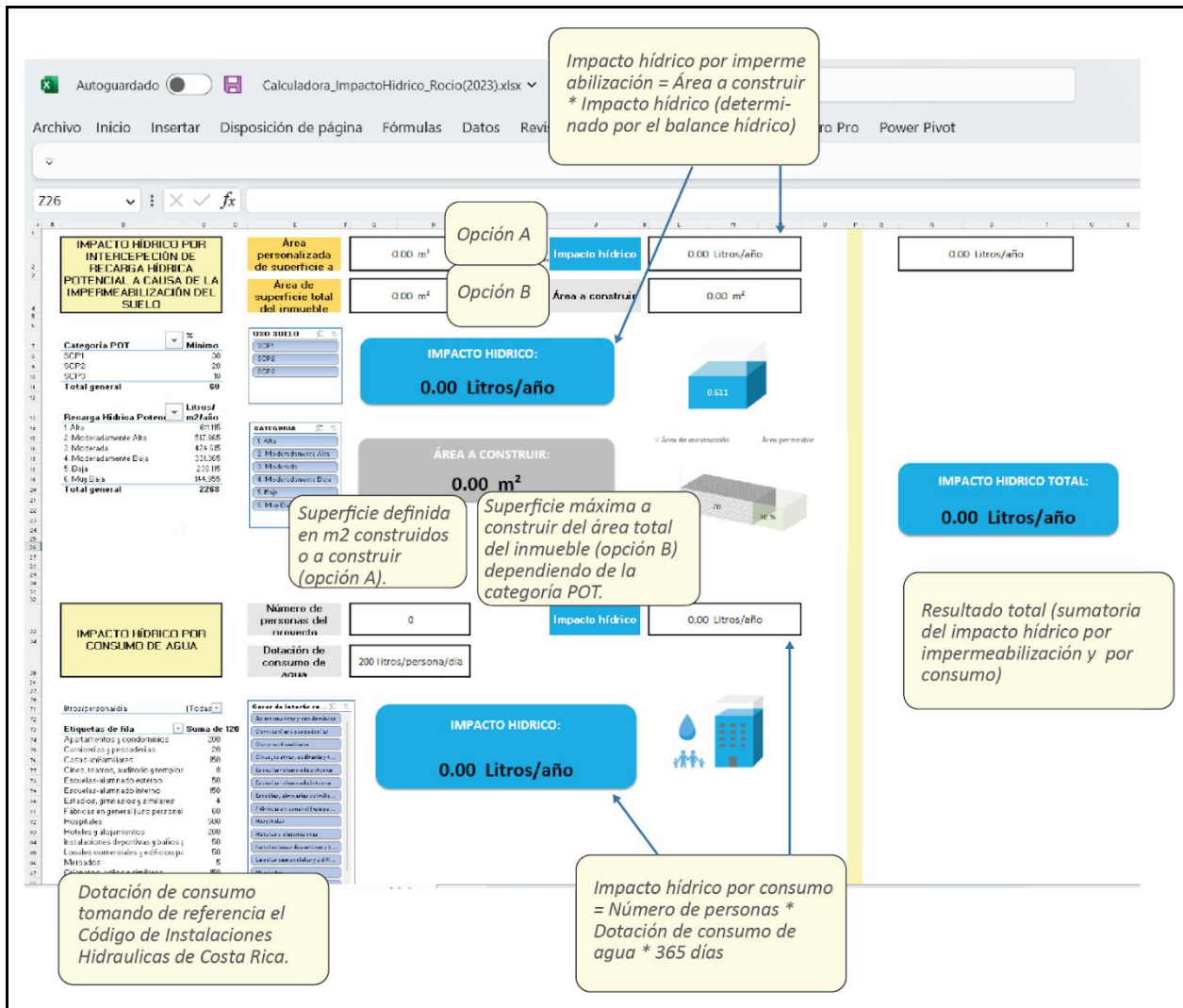


**Impacto por consumo**  
Volumen de agua consumido por el número de personas que habitan o habitarán en el inmueble.





Figura 21. Hoja de cálculo: Calculadora para la determinación del impacto hídrico.



### 6.2.2 Prácticas de mitigación de impacto hídrico

Por otro lado, determinado el impacto hídrico en el Cuadro 13 se recomienda un listado de posibles medidas, obras y/o prácticas que mitiguen el impacto hídrico, orientadas a: disminuir el consumo, ralentizar la escorrentía, promover la infiltración, recuperar el nivel y calidad del freático, y a la medida de lo posible recuperar el ciclo hidrológico previo a la intervención humana. Para cada medida se establece una condición: un indicador de aplicación que es el requerimiento que se le pedirá al interesado para evidenciar que la medida de mitigación es implementada y

también, un indicador de impacto que es la manera en qué se realizará la comparación para determinar cuánto porcentaje (%) del impacto hídrico total se está mitigando y en qué manera.

En la Figura 22, se construyó una segunda herramienta en dónde se encuentra el listado de posibles medidas de mitigación del Cuadro 13 en una hoja de cálculo (Excel). Este resultado servirá a la municipalidad, para tener una descripción de cada una las medidas y hacer una comparación de cuánto volumen de agua se está mitigando del impacto hídrico total.

**Figura 22.** Hoja de cálculo: Listado de medidas, obras y/o prácticas de mitigación.

**Sistemas de cosecha de agua de lluvia (SCALL)**

**Descripción**  
Se refiere a estructuras que interceptan el agua pluvial que cae en techos o superficies impermeables y la conducen por medio de canaletas, a un filtro para su almacenamiento y uso posterior. Para su uso como agua potable para consumo humano se requiere un sistema de purificación.

**Cálculo mitigación de impacto**  
Comparativa del impacto total con el volumen de agua captado con SCALL y que se consume (para uso sanitario)

**Beneficios**  
Control de escorrentía de aguas pluviales  
Disminución consumo de agua

	Nombre proyecto	Área de techo m <sup>2</sup>	Coeficiente de captación anual promedio	Coeficiente de material de techo	Volumen captado litros/año
1	Condominio Arand	1,882.69	1,186.37	0.7	1,563,495.19
2					
3					
4					

**Comparación**

	Impacto hídrico Litros/año		Volumen SCALL utilizado para consumo		%
	3,011,250.00	vs	1,563,495.19		51.92

**CRITERIOS PARA LA COSECHA DE AGUA DE LLUVIA**

1. El techo debe estar en buen estado, libre de (piedras o cualquier otro material que sea contaminante como piedras, alambres, bloques, llantas, basura, entre otros).
2. Instalación de canaletas, que son los que se encargan de conducir el agua de lluvia que fue captada por el techo al filtro y
3. Instalación del filtro que permitirá limpiar el agua lluvia de materiales contaminantes
4. Instalación de un tanque de almacenamiento, donde el agua lluvia se almacenará en un recipiente con tapa que debe contener un desagüe para su limpieza
5. Techos y superficies con una pendiente mínima del 2%

**Desvío de aguas lluvias**  
Almacenamiento  
Utilización

1. Filtro  
2. Tanque de almacenamiento  
3. Utilización: Lavado de ropa, Limpieza general, Riego de plantas, Lavado del auto

**Comparación en % de mitigación del impacto hídrico total, con la incorporación de la medida de mitigación**

**Cuadro 13. Listado de posibles prácticas de gestión de zonas potenciales de recarga hídrica**

Objetivo	Medidas, obras y/o prácticas de mitigación	Indicador de aplicación.	Indicador de Impacto.	CONDICIÓN											
				PI-SCP-1	PI-SCP-2	PI-SCP-3	IEU-SCP-1	IEU-SCP-2	IEU-SCP-3	IEM-SCP-0	IEM-SCP-1	CF-SCP-0	PAI-SCP-0		
Disminución de consumo	Disminución de consumo de agua con la utilización de artefactos de bajo consumo.	Instalación de artefactos sanitarios de bajo consumo de agua (planos)	Reducción porcentual, comparación aparatos convencionales con aparatos de bajo consumo.	●	●	●	●	●	●	●	●				
Autosuficiencia hídrica.	Sistemas de cosecha de agua de lluvia (SCALL) para consumo propio	Aval municipal de la propuesta que presente el solicitante (uso en saneamiento familiar, riego áreas naturales y agrícolas)	Demanda de agua sin SCALL (m <sup>3</sup> ) Volumen de agua utilizado con SCALL (m <sup>3</sup> )	●	●	●	●	●	●	●	●				
Recuperación del ciclo hidrológico.	Pozos de infiltración de agua pluvial.	Aval municipal de la propuesta que presente el solicitante	Área de captación (m <sup>3</sup> ) Volumen infiltrado (m <sup>3</sup> )			●				●				●	
Recuperación del ciclo hidrológico.	Jardines de lluvia en espacios naturales	Aval municipal de la propuesta que presente el solicitante	Área de captación (m <sup>3</sup> ) Volumen infiltrado (m <sup>3</sup> )	●			●				●	●			
Autosuficiencia hídrica.	Incorporación de aguas residuales depuradas en uso de agua gris. (sanitarios, riego).	Aval de la municipalidad sobre la eficiencia del sistema de depuración y calidad del agua previo a infiltración. (cumplimiento AG 236-2006)	Volumen de agua utilizada para actividades (m <sup>3</sup> )			●				●					
Recuperación del ciclo hidrológico	Pavimentos permeables en calles, caminamientos y áreas exteriores	Colocación de adoquín, concreto permeable, recubrimiento con piedrín.	Superficie m <sup>2</sup> de pavimentos	●	●	●	●	●	●	●	●			●	

Continuación de Cuadro 13.

Objetivo	Propuestas de mitigación	Requerimiento de aplicación.	Comprobación de Impacto.	CONDICIÓN									
				APLICA A:									
				PI-SCP-1	PI-SCP-2	PI-SCP-3	IEU-SCP-1	IEU-SCP-2	IEU-SCP-3	IEM-SCP-0	IEM-SCP-1	CF-SCP-0	PAI-SCP-0
Recuperación del ciclo hidrológico	Áreas verdes recreativas, deportivas y de estancia.	Aval municipal de la propuesta que presente el solicitante (áreas con vegetación, superficies impermeables)	Superficie m <sup>2</sup> áreas verdes							●	●		
Recuperación del ciclo hidrológico	Prácticas agrícolas que promueven la infiltración	Implementación de zanjas de infiltración, siembra de árboles para sombra, barreras muertas, barreras vivas u otras obras de conservación de suelo y agua.	Superficie intervenida (ha)										●
Recuperación del ciclo hidrológico	Reforestaciones con especies nativas.	Siembra de árboles para sombra, infiltración y conservación del suelo.	Superficie restaurada (ha)							●		●	
Recuperación del ciclo hidrológico	Espacios naturales protegidos (incentivos PROBOSQUE)	Inscripción de hectáreas de superficie en incentivos forestales.	Superficie protegida (ha)							●		●	

### **6.3 Propuesta de indicadores de sostenibilidad**

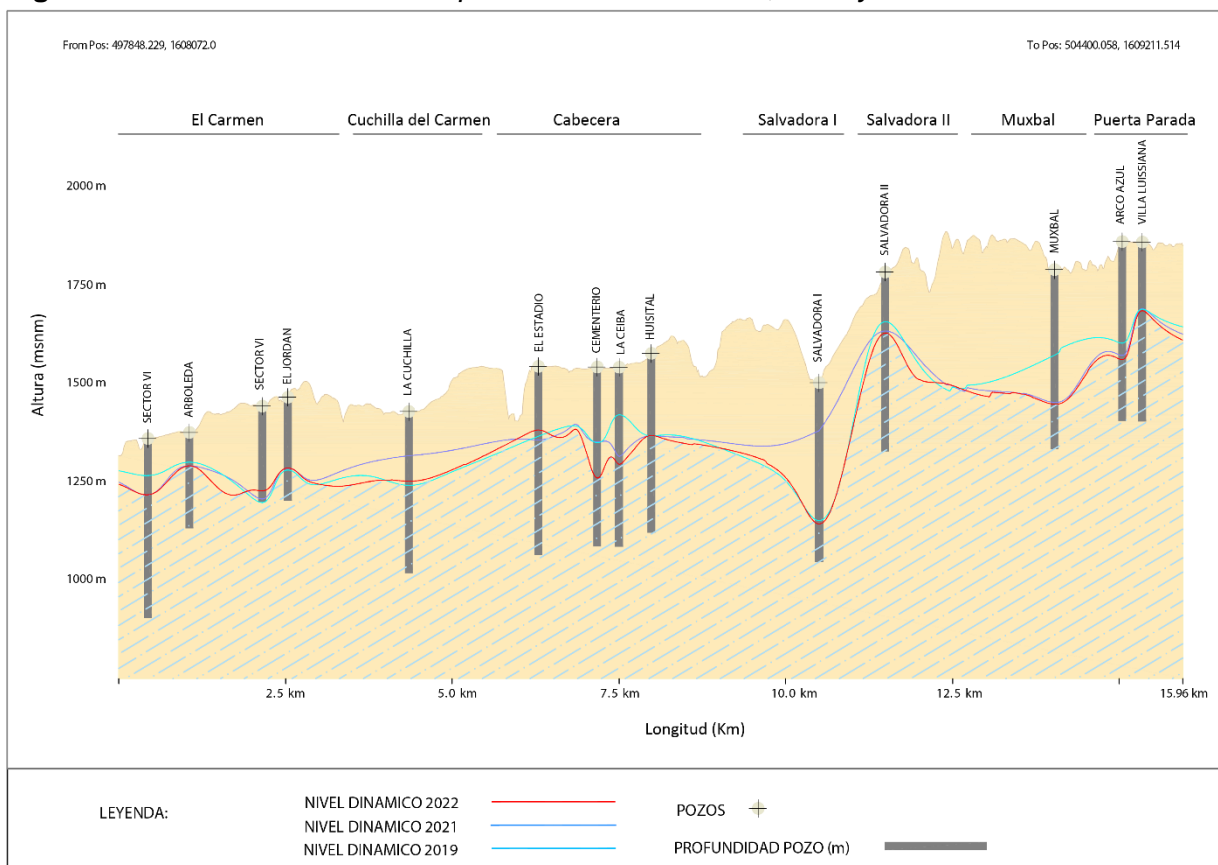
A partir de la situación actual del recurso hídrico y las propuestas de gestión, se formularon indicadores para el monitoreo de las mejoras y/o deficiencias en la sostenibilidad del recurso hídrico en especial las aguas subterráneas. El resultado de estos indicadores son una herramienta estratégica para la municipalidad de SCP, para mejorar la toma de decisiones en el marco de una gestión sostenible del recurso hídrico.

#### **6.3.1 Situación hídrica del municipio**

En relación con el nivel del acuífero, se realiza el siguiente perfil en la Figura 23 de los niveles dinámicos (ND) de los pozos monitoreados durante la época lluviosa en los años: 2019, 2021 y 2022. La información presenta únicamente los pozos ubicados en el área de estudio, en el Anexo 1 (Figura 27) se encuentra el perfil completo con todos los pozos monitoreados dentro del municipio de Santa Catarina Pinula.

Este resultado evidencia el comportamiento del nivel de agua subterránea en el área de estudio. En el 2022 la FUNCAGUA registra veintidós (22) pozos municipales, cuya profundidad oscila entre 238 a 488 metros de profundidad. En algunos pozos presenta un descenso en el nivel piezométrico del año 2019 época seca a 2022 época seca. El caso más representativo es el pozo denominado Salvadora I que tuvo un fuerte descenso en el nivel dinámico (ND) de -216.4 metros (m). Asimismo, el pozo La Ceiba ubicado en cabecera descendió 127.35 metros (m), el pozo El Cementerio ubicado en la cabecera municipal descendió 109.8 metros (m), el pozo Sector IV ubicado en El Carmen descendió 49.05 metros (m) el pozo Arco Azul ubicado en Puerta Parada descendió 42.25 metros (m) y el pozo Salvadora II tuvo un descenso descendió 28.9 metros (m).

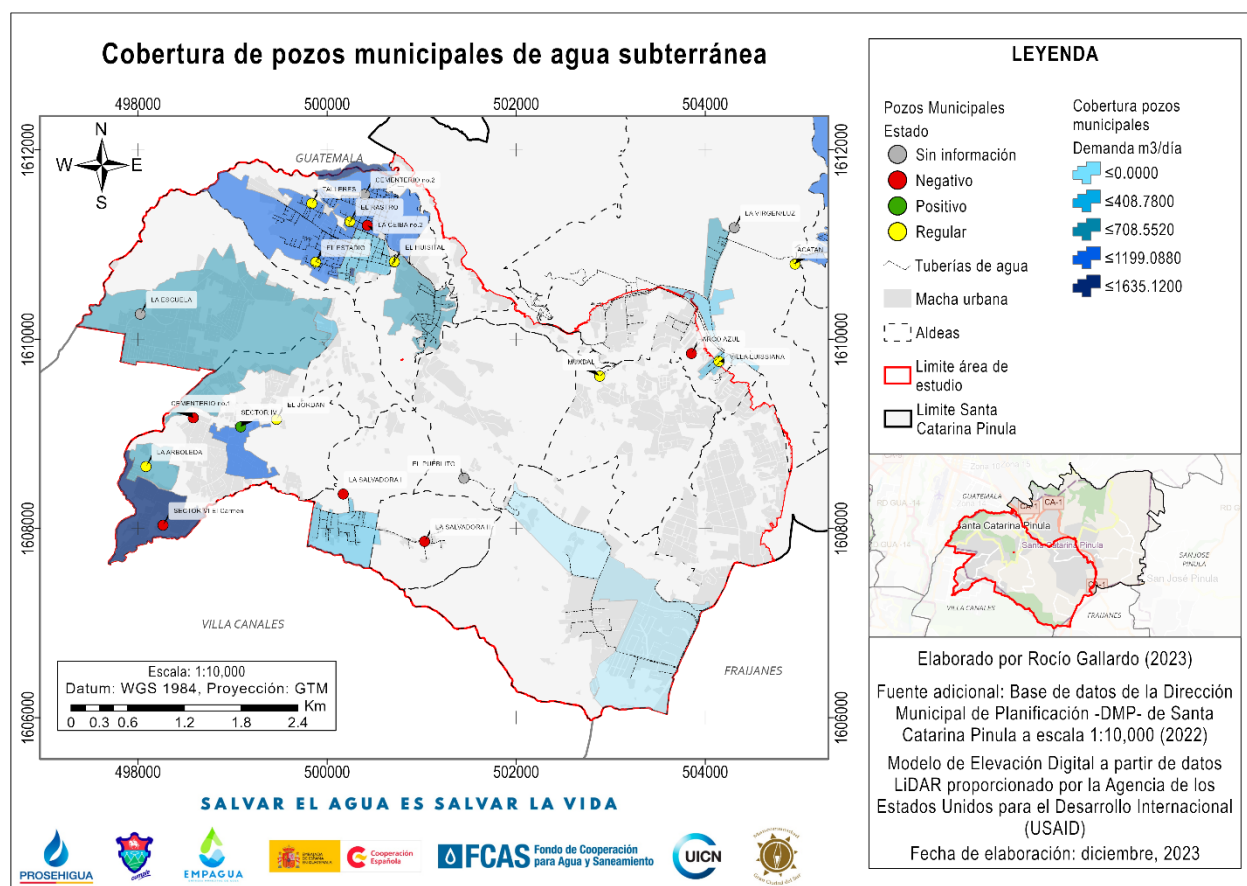
**Figura 23. Nivel Piezométricos de pozos en los años 2019, 2021 y 2022.**



*Fuente:* Elaboración propia con base de datos de FUNCAGUA (2019-2022).

Por otro lado, en la Figura 24 se representa geográficamente la ubicación de los pozos municipales que presentaron descensos en su nivel piezométrico en un periodo tres años, siendo ubicados en las aldeas: **Cabecera, El Carmen, Salvadora I, Salvadora II y Puerta Parada**. De acuerdo con la opinión de actores municipales, las áreas más críticas de abastecimiento de agua en el municipio son: Cabecera, El Pueblito, Cuchilla del Carmen, El Carmen y Piedra Parada Cristo Rey. Este resultado justifica la importancia de la incorporación de acciones en el municipio en respuesta al descenso de pozos y aumento en la demanda de agua, que se dan principalmente, en la parte Suroeste del municipio, que es dónde se encuentra el área de estudio. Por tanto, en estas aldeas identificadas se recomienda priorizar medidas de disminución de consumo, reutilización de agua y autosuficiencia hídrica.

**Figura 24. Mapa de cobertura de pozos municipales.**



### 6.3.2 Indicadores de sostenibilidad

En estrecha relación con la municipalidad de Santa Catarina Pinula, la MGCS y la UICN, se identificó indicadores relacionados al tema del recurso hídrico que mejor se adaptan al contexto del municipio. Los indicadores se encuentran estructurados de la siguiente manera: definición del indicador, escala de análisis, parámetro de cálculo, parámetro de evaluación, consideraciones técnicas.

**a. Consumo hídrico por sectores.**

Este primer indicador “Consumo hídrico por sectores” expresa las dotaciones de consumo de agua segmentada por sectores o incluso por aldeas. Que se calcula conociendo el consumo de agua dividido por la cantidad de número de personas. Por ejemplo, en una aldea se abastecen de tres pozos municipales que tiene una demanda de agua de tantos litros al día, conociendo este dato y la cantidad de personas que se le suministra agua del pozo, se puede obtener dotaciones de consumo expresadas como (litros/persona/día). Este indicador permitirá conocer las dinámicas de consumo de agua en el municipio: en que sectores se está dando un adecuado, sobreuso o subuso del agua. Con el objetivo de tener criterios para tomar decisiones adecuadas de gestión, que haga posible, desarrollar una nueva cultura de uso correcto, eficiente y consciente del agua en el municipio (Cuadro 14).

**Cuadro 14. Indicador 1: Consumo hídrico por sectores.**

Nombre indicador:	<b>“Consumo hídrico por sectores”.</b>	
Objetivo:	Optimizar el consumo de agua, que haga posible, desarrollar una nueva cultura de uso correcto, eficiente y consciente del agua en el municipio.	
Descripción:	Dotación de consumo de agua por sectores.	
Método de cálculo:	Litros/persona/día = consumo total / habitantes quienes se le suministra agua potable y por los días al año.	
Parámetro de evaluación:	Deseable:	120 – 200 litros/persona/día
	Regular:	80 – 120 o 200 – 250 litros/persona/día
	Deficiente:	<80 0 >250 litros/persona/día
Fuente de referencia: (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2013), (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2008)		



## b. Autosuficiencia hídrica

Este segundo indicador “Autosuficiencia Hídrica” expresa el porcentaje de la demanda total de agua que se satisface mediante el aprovechamiento de diferentes fuentes de suministro: aguas subterráneas, superficiales, pluviales y regeneradas (reutilización de aguas residuales depuradas). De tal modo, incentivar el aprovechamiento de diferentes fuentes de agua, en sus tres niveles: atmosfera, superficie y subsuelo. Con el fin de vincular el desarrollo urbano al ciclo del agua para alcanzar, siempre que sea posible, la autosuficiencia de la demanda urbana en marco de una gestión sostenible de la cuenca. Considerando el contexto del municipio, que el abastecimiento es principalmente de aguas subterráneas, se debe priorizar el suministro de agua por fuentes como aguas pluviales y regeneradas. De tal manera disminuir el grado de presión sobre este recurso hídrico (Cuadro 15).

**Cuadro 15.** *Indicador 2: Autosuficiencia hídrica.*

Nombre indicador:	<b>“Autosuficiencia Hídrica”.</b>	
Objetivo:	Fomentar la sustitución de fuentes urbanas no convencionales.	
Descripción:	Porcentaje de autosuficiencia hídrica de la demanda total.	
Método de cálculo:	$\% = [(Volumen\ total\ de\ aguas\ aprovechables\ (m^3) / Demanda\ de\ agua\ total\ (m^3))] \times 100$	
Parámetro de evaluación:	Deseable:	80 a 100% de autosuficiencia hídrica.
	Regular:	60 a 79% de autosuficiencia hídrica.
	Deficiente:	<60% de autosuficiencia hídrica.
Fuente de referencia: (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2013), (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2008)		

### c. Índice de permeabilidad del suelo en zonas de recarga hídrica

Este tercer indicador “Índice de permeabilidad del suelo en zonas de recarga hídrica” determina el porcentaje de área funcionalmente permeable que tiene una zona potencial de recarga hídrica. Estas zonas que se encuentran delimitadas, especialmente aquellas con alto potencial de recarga hídrica, es imprescindible priorizar una infiltración adecuada, reduciendo el sellado e impermeabilización estas áreas a medida de lo posible (Cuadro 16).

**Cuadro 16.** *Indicador 3. Índice de permeabilidad del suelo en zonas de recarga hídrica.*

Nombre indicador:	<b>“Índice de permeabilidad del suelo en zonas de recarga hídrica”.</b>	
Objetivo:	Garantizar la permeabilidad en zonas potenciales de recarga hídrica. Reducir el sellado y la impermeabilización del suelo.	
Descripción:	Porcentaje de suelo funcionalmente significativo para la infiltración.	
Método de cálculo:	$\% = [(Área \text{ de suelo permeable} / Área \text{ de suelo total})] \times 100$	
Parámetro de evaluación:	Deseable:	>80% de área permeable
	Deficiente:	<50% de área permeable
Fuente de referencia: (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2013), (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2008)		

#### d. Comportamiento de agua subterránea en el municipio

Este cuarto indicador “Comportamiento de agua subterránea en el municipio” permite identificar alertas en cuánto al descenso del nivel freático de los pozos de abastecimiento de agua subterránea. El cálculo de este indicador es mediante el monitoreo de los niveles piezométricos de los pozos municipales en un largo periodo de años, observando la dinámica de estos, realizar una comparación si hubo un aumento o descenso significativo o si bien se mantuvo el nivel del agua subterránea (Cuadro 17).

**Cuadro 17.** *Indicador 4: Comportamiento de agua subterránea en el municipio.*

Nombre indicador:	<b>“Comportamiento de agua subterránea en el municipio”</b>	
Objetivo:	Monitorear la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos mediante la medición de los niveles piezométricos de los pozos de agua subterránea.	
Descripción:	Comparación de niveles piezométricos.	
Método de cálculo:	Medición de nivel piezométrico. Realizar la comparación de datos registrados de años anteriores, con el nivel piezométrico actual.	
Parámetro de evaluación:	Deseable:	Aumento significativo en el nivel piezométrico.
	Regular:	Se mantiene gradualmente el nivel piezométrico.
	Deficiente:	Descenso significativo en el nivel piezométrico.
Fuente de referencia: (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2013), (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2008)		

## 6.4 Socialización de herramientas de planificación

En el Cuadro 18 se presentan todos los espacios de participación y socialización realizados en la presente práctica profesional para el alcance de los objetivos. Estos espacios permitieron la vinculación de actores en todo el proceso, resultando mayor veracidad en los resultados y garantizar su implementación en la municipalidad de SCP.

**Cuadro 18.** *Síntesis del proceso de participación y socialización.*

Fecha	Actividad	Objetivo	Principales resultados
06-09-2022, 26-09-2022	Presentación de plan de trabajo	Presentar la metodología a utilizar, los objetivos y alcances que tendrá el estudio.	Se construyó plan de trabajo y se recibió sugerencias por parte de asesor URL y actores municipales.
14-10-2022	Presentación de avances con personal técnico de UICN y MGCS.	Presentar resultados del análisis SIG para identificar mejoras en términos de representación e interpretación de información espacial.	Se recibió orientación de la delimitación de escala de trabajo, uso de una metodología SIG y ajustes en la representación de información cartográfica.
05-11-2022	Entrevista con el Departamento de Medio Ambiente.	Conocer la opinión del departamento de medio ambiente de la restauración, manejo y conservación de áreas naturales de importancia hidrológica.	Se identificaron los proyectos de conservación realizados en el municipio, las áreas inscritas a incentivos forestales, y también se obtuvo el listado de especies autóctonas del municipio.
07-11-2022	Presentación de avances con personal técnico de MGCS.	Presentar resultados de las propuestas de gestión y evaluación del impacto hídrico.	Se realizó un trabajo colaborativo de posibles requerimientos necesarios a obtener licencias de construcción.
25-11-2022	Presentación de avances con personal técnico de UICN.	Presentar resultados de las propuestas de gestión y evaluación del impacto hídrico	Se recibió retroalimentación de la información presentada y coordinación de espacios participativos con actores municipales.
30-11-2022	Taller participativo con el Departamento de Licencias de Construcción.	Presentar la evaluación de un impacto hídrico y los lineamientos de prácticas incentivables para su mitigación. Con el fin de incorporar la información necesaria e identificar la información faltante.	Se recibió retroalimentaciones en la definición de un impacto hídrico. Se identificó qué acciones son un incentivo y cuales son una obligatoriedad.

Continuación del Cuadro 18.

Fecha	Actividad	Objetivo	Principales resultados
5-12-2022	Mapeo participativo con diferentes actores territoriales.	Presentar las propuestas preliminares a diferentes dependencias municipales, especialmente hacer de su conocimiento las propuestas a nivel público-municipal y en las áreas verdes sin intervención humana. Con el objetivo de generar un espacio de intercambio de ideas para alcanzar una adecuada implementación de las propuestas de gestión.	Se identificaron limitaciones en la implementación de las propuestas de gestión de acuerdo con el conocimiento empírico del territorio, así como también se identificaron espacios de oportunidad y acciones a promover. Cada dependencia municipal reconoció cambios a realizar para poder priorizar estas zonas y trabajar en la recarga hídrica.
12-01-2023	Socialización de indicadores con personal técnico de MGCS	Presentar los indicadores de sostenibilidad propuestos, con el fin de recibir retroalimentaciones considerando el contexto del municipio.	Se reconstruyeron los indicadores de manera de presentar los más relevantes considerando el contexto del municipio.

#### **6.4.1 Taller participativo de la determinación de impacto hídrico**

Como primera actividad participativa, se realizó la cordial invitación a actores que tienen vinculación con el Plan de Ordenamiento Territorial; para recibir retroalimentaciones y comentarios, de la definición de un impacto hídrico, la propuesta de cálculo y las posibles medidas de mitigación. En donde, se tuvo aceptación del método de determinación de impacto hídrico. Así como, retroalimentación en que medidas son incentivo y cuales son una obligatoriedad que debe presentar el propietario a solicitar una licencia de construcción (Ver Anexo 3).

#### **6.4.2 Mapeo participativo de las propuestas de gestión de zonas de recarga hídrica**

Durante este espacio, se socializó las prácticas de gestión propuestas en zonas potenciales de recarga hídrica, hacia actores municipales de diferentes unidades: Departamento de Medio Ambiente, Dirección de Agua y Saneamiento, Dirección Municipal de Planificación. Con el fin, de resaltar la importancia de la priorización de la incorporación de acciones en las zonas con mayor potencial de recarga hídrica. Realizando un trabajo en conjunto, en dónde cada dependencia municipal actué desde sus propias obligaciones y responsabilidades adscritas.

En el Cuadro 19 se muestran los resultados obtenidos del mapeo participativo con actores municipales, en dónde se resaltaron aspectos importantes que se consideraron en las prácticas de gestión propuestas (Ver Anexo 4).

**Cuadro 19. Resultados principales obtenidos del mapeo participativo.**

Dependencia Municipal	Comentarios recibidos en las propuestas de gestión.	Ideas identificadas en el mapa.	¿Qué considera que debería realizar su departamento o dirección, para poder darle prioridad y poder tomar acción en las propuestas de gestión de recarga hídrica?
<b>Departamento de Medio Ambiente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo y control antes y después de una jornada de reforestación.</li> <li>• Crear disipadores de energía natural para mitigar la velocidad de escorrentía en época lluviosa.</li> <li>• Regenerar bosques con especies endémicas.</li> <li>• Campañas masivas de sociabilización con temas de residuos y desechos y cuidado del agua</li> <li>• Planes de reforestación forestal para evitar talas masivas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorear los puntos críticos de desfuegos para mitigar la contaminación de aguas residuales sin tratamientos.</li> <li>• Monitoreo permanente de las autoridades y propietarios sobre aguas residuales, cumplimiento de los requisitos de ley (AG 236-2006).</li> <li>• Proponer espacios para priorizar áreas de parques con zonas de infiltración pluvial.</li> </ul>	<p>Fortalecer al Departamento de Medio Ambiente con personal de campo para que se realicen trabajo de conservación y rescate de barrancos para evitar contaminación y mitigar las áreas contaminadas y con pérdida de vegetación.</p> <p>Destinar presupuesto para campañas de sensibilización y proyectos de conservación.</p> <p>Como departamento, obtener enlaces con iniciativas privadas para reforestar zonas consideradas de recarga hídrica.</p> <p>Fortalecer el departamento de ambiente con cuadrillas de personal de campo. Para ejecutar trabajos de brechas en época seca para prevención de incendios.</p>
<b>Dirección Municipal de Planificación (Diseño y Planificación)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En Zona 1 de Cabecera se tiene sistema separativo de drenaje, se tiene el problema que se tapan las rejillas por el transporte de tanta basura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En Zona 1 de Cabecera se tiene el problema que se tapan las rejillas por el transporte de tanta basura.</li> </ul>	<p>Reunir por medio de estudios conjuntamente las dependencias municipales, tales como planificación, obras, ambiente, agua y saneamiento para mitigar y solucionar los problemas hídricos a corto y largo plazo.</p>

Continuación Tabla 19.

Dependencia Municipal	Comentarios recibidos en las propuestas de gestión.	Ideas identificadas en el mapa.	¿Qué considera que debería realizar su departamento o dirección, para poder darle prioridad y poder tomar acción en las propuestas de gestión de recarga hídrica?
<b>Dirección de Agua y Saneamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para los sistemas de captación de agua de lluvia se debe promover una gran concientización a los vecinos. Licencias de construcción tiene una gran responsabilidad con las autorizaciones.</li> <li>• Las áreas más críticas de abastecimiento de agua son: Cabecera, El Pueblito, Cuchilla del Carmen, El Carmen, Cristo Rey.</li> <li>• Se ha pensado tener en cabecera, una planta de captación de agua pluvial, potabilizarle y que esta misma abastezca.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En Zona 1 de Cabecera se tiene sistema separativo de drenaje, se tiene el problema que se tapan las rejillas por el transporte de tanta basura.</li> <li>• Quizá en cabecera es factible los sistemas de cosecha de agua de lluvia. Porque los problemas de agua en verano se complican, a pesar de que se tienen perforado una gran cantidad de pozos.</li> <li>• El Pueblito, se recomienda más la implementación de pozos de infiltración y un sistema separativo de aguas.</li> </ul>	<p>Sugerir un manual a la vivienda, cuando se venda el servicio, explicándole al vecino la separación que debe de hacer.</p> <p>El procedimiento solicitud de licencia, como te vas a abastecer de agua y cómo vas a hacer el desfogue de esas aguas. Actualmente no nos le decimos, no hay un manual que debes de hacer esto, porque no tenemos red de drenaje. Un vecino x no podemos asegurar que desfogue sus aguas adecuadamente. Sería ideal crear un manual, recomendaciones a la hora de que no se pueda vender el drenaje al vecino, puede usar este manual y que con base al manual construya esto...</p> <p>Cambio administrativo, manual o forma informativa para decirle al vecino que capte agua de lluvia, este son los beneficios que obtiene.</p>
<b>Dirección Municipal de Planificación (Área de Riesgo)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El poco control de la escorrentía durante la época lluviosa hace transportar grandes cantidades de agua, colapsando los drenajes. Esto va afectando a municipios vecinos, en especial dado por el flujo del agua superficial y subterránea es hacia Amatitlán, en dónde han ocurrido problemas de socavamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Pueblito, inundación por colapso de alcantarillado de agua pluvial.</li> <li>• Cuchilla del Carmen, Problemas de deslizamiento por problemas de desfogue de aguas pluviales.</li> <li>• Cuchilla del Carmen, Problemas pozo atrás de Residenciales Las Villas.</li> <li>• San Miguel Buena Vista, fallo en el sistema de conducción de aguas.</li> </ul>	<p>Como parte de la Dirección Municipal de Planificación, se debe asegurar el correcto diseño, funcionamiento y mantenimiento tanto como pozos de absorción de aguas servidas y pluviales, como el drenaje.</p>



## 7 CONCLUSIONES

- En la presente sistematización de práctica profesional se elaboró un Plan Local de Gestión de zonas potenciales de recarga hídrica en marco del Plan de Ordenamiento Territorial para la mejora de las capacidades municipales de Santa Catarina Pinula, en dónde se construyeron tres herramientas: 1. Descripción y mapa interpretativo de propuestas de gestión, 2. Lineamientos para la determinación de un impacto hídrico y 3. Indicadores de sostenibilidad.
- Se delimitó geográficamente prácticas de gestión de zonas con alto potencial de recarga hídrica en seis categorías, éstas se segmentan en intervenciones en el espacio urbano y en el espacio natural. El espacio urbano se propone: prácticas incentivables en infraestructura urbana actual (385 ha), prácticas incentivables en infraestructura urbano tendencial (283 ha), intervenciones en espacio público municipal (20 ha). Por otro lado, en el espacio natural, se proponen: prácticas agrícolas integradas (25 ha), restauración ecológica (92 ha) y conservación forestal (464 ha). Que permitirá a la Dirección Municipal de Planificación y el Departamento de Medio Ambiente la priorización de estas áreas identificada para la planeación e implementación de las prácticas de gestión.
- Se construyeron lineamientos y una herramienta para el cálculo de un impacto hídrico de un inmueble previo a la solicitud de una licencia de construcción o ampliación, como también se identificaron posibles prácticas incentivables de mitigación. Que servirá en el Departamento de Licencias, para guiar al propietario en la medición de su impacto hídrico y proponerle las prácticas incentivables que mejor se adapten a su tipo de proyecto y su ubicación en el uso de suelo.

- En estrecha coordinación con la municipalidad e intuiciones externas, se propuso indicadores estratégicos que mejor se adaptan al contexto del municipio. Que servirá para la Dirección de Agua y Saneamiento, quién medirá y evaluará el cambio a lo largo del tiempo, la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo, permitiendo evidenciar mejoras o deficiencias en consecuencia de las decisiones e iniciativas municipales a efectuar en el tiempo.
- La participación de actores municipales permitió hacer de su conocimiento los resultados generados en la presente práctica profesional, con el objetivo principal de incorporar los resultados dentro de sus obligaciones y responsabilidades, creando liderazgo y un trabajo en conjunto, para darle prioridad a intervenir, restaurar y conservar estas zonas de importancia para la recarga hídrica.
- Los actores municipales estratégicos e importantes en la incorporación de las herramientas generadas son: Departamento de Licencias de Construcción, Dirección de Agua Saneamiento, Dirección Municipal de Planificación y Departamento de Medio Ambiente de la Municipalidad Santa Catarina Pinula. Quienes, tienen un rol, participación e influencia en la adopción de prácticas de gestión en el espacio urbano, espacio de propiedad municipal y espacio natural.
- El área de estudio representa la parte alta de la subcuenca del Río Villalobos, es una zona captadora de agua, por ende, es de importancia su conservación. Por otro lado, el flujo tanto de agua superficial y agua subterránea es de Este a Oeste, a causa de la topografía del terreno y el descenso en los niveles de agua subterránea. Por ende, la importancia de controlar la expansión de zonas urbana, motivando más a la protección de zonas de recarga, que permite recuperar el ciclo natural del agua, evitando cambios en los regímenes de lluvias, caudal de escorrentía y colapso de drenajes.

## 8 RECOMENDACIONES

- Considerando que se realizó un estudio piloto en el 48% del municipio de Santa Catarina Pinula, resulta imprescindible la elaboración de estudios hidrológicos en el 52% restante. Por ejemplo, la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en las microcuencas que pertenecen a la cuenca del Motagua.
- Generar los respectivos reglamentos, acuerdos y/o manuales que justifiquen y respalden tanto el concepto como el método de cálculo para la determinación de un impacto hídrico de un inmueble al solicitar una licencia de construcción, modificación o ampliación de la construcción con el objeto de acceder a las prácticas incentivables de mitigación de impacto hídrico.
- Gestionar internamente un liderazgo en la municipalidad de SCP para la intervención, protección y conservación en zonas con alto potencial de recarga hídrica. A su vez, se recomienda realizar mejoras en procesos administrativos. Como en la Dirección de Agua y Saneamiento, formular procedimientos de venta de servicio de drenaje municipal mediante la construcción de un manual o documento informativo que guíe al vecino a incorporar sistemas adecuados de drenaje como la instalación de contadores o de un sistema separativo de aguas servidas y pluviales.
- Realizar otros estudios de investigación que respalden la información generada, como la elaboración de un estudio de ingeniería civil que dicte especificación en el diseño de construcción de las diferentes prácticas incentivables propuestas; dando el detalle de los costos asociados y el estándar de la magnitud de mitigación que tendría dicha práctica.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2008). *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla*. Barcelona: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona.
2. Alcaldía de Barranquilla. (2020). *Planes de Ordenamiento Zonal -POZ- Alcaldía de Barranquilla*. Obtenido de <https://www.barranquilla.gov.co/planeacion/planeacion-territorial/planes-de-ordenamiento-zonal>
3. Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (2013). Anexo II: Indicadores de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles. En *Guía Metodológica del Programa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (2a ed.)*.
4. Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (2016). *Guía Metodológica del Programa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (3a ed.)*.
5. Chavarría, C., Juárez, M., FUNCAGUA, & MGCS. (2022). *Estudio para la determinación de zonas potenciales de recarga hídrica en las microcuencas de los ríos Las Minas y Pinula*. Guatemala.
6. Cobo, E., & Piñeiros, L. (2020). *Infraestructura Natural: Oportunidades para optimizar la gestión de sistemas hídricos*. Quito - Educador: UICN.
7. CONAVI. (2017). *Política para el Mejoramiento Integral de Barrios. Hacia la transformación de asentamientos precarios a barrios consolidados y de viviendas dignas, seguras y saludables*. Guatemala: CONAVI.

8. Consejo Municipal de Santa Catarina Pinula y SEGEPLAN. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial (PDM-OT) de Santa Catarina Pinula, Guatemala*. Municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala, Centro América: SEGEPLAN/DTP.
9. Courty, L. (2021). Hacia una gestión de las aguas urbanas en la naturaleza. *Persepectivas IMTA*(6). doi: doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2021-06
10. Dillon, P., Fernández Escalante, E., Megdal, S., & Massmann, G. (2020). Managed Aquifer Recharge for Water Resilience. *Water*, 12(7), 1846. Doi: <https://doi.org/10.3390/w12071846>.
11. Figueroa-Arango, C. (2020). *Guía para la integración de las soluciones basadas en la naturaleza en la planificación urbana. Primera aproximación para Colombia*. Berlín: Alexander von Humboldt Stiftung. Ecologic Institute, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos.
12. FUNCAGUA. (2018). *Plan de conservación de agua*. Guatemala.: Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala.
13. FUNCAGUA y UICN. (2020). *Análisis económico de los servicios ecosistémicos, mapeo e identificación de oportunidades de restauración del paisaje forestal de importancia en la captación, infiltración y recarga hídrica del acuífero, del Valle de Guatemala*.
14. Fundación para la Conservación del Agua (FUNCAGUA). (2019). *Análisis piezométrico de pozos de agua para los municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur: Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva, Guatemala*. Guatemala: Funcagua.
15. Global Water Partnership (GWP). (2017). *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: hacia una gestión integrada*. Centro América: GWP-CA.

16. Ilobe. (2017). *Vulnerabilidad hídrica: de la tendencias del pasado reciente a las del futuro*. Bilbao.
17. Insituto de Agricultura, Reursos Naturales y Ambiente (IARNA-URL). (2017). *Gota a gota, el futuro se acota. Una mirada a la disponibilidad presente y futura del agua en Guatemala*. Guatemala: IARNA-URL.
18. Insivumeh, IGN y UVG. (1978). *Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Comunicaciones y Obras Publicas.
19. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA-URL). (2005). *Situación del Recurso Hídrico en Guatemala*. Guatemala: IARNA-URL.
20. International Groundwater Resources Assesment Centre (IGRAC). (s.f.). *Managed Aquifer Recharge (MAR)*. Obtenido de <https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/MAR%20Booklet%202016%20Web.pdf>
21. Manzo, B. (2008). *Reconocimiento hidrogeológico para la determinación de zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Pinula, jurisdicción de Santa Catarina Pinula, Guatemala*. Guatemala: Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.
22. Manzo, D., Herrera, I., & Hernández, E. (2016). *Estudio Hidrogeológico de los Acuíferos Volcánicos de la República de Guatemala*. Guatemala: Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales.
23. Menjívar, E. (2016). En busca del impacto hidrológico cero: implementación de pequeños dispositivos. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, Vol. 11(No. 1).

24. Morales, Á., Mora, D., Vargas, L., Chanto, L., Zamora, P., & Jiménez, Ó. (2011). *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones*. (Segunda ed.). Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
25. Municipalidad de Santa Catarina Pinula. (2020). *Plan de Ordenamiento Territorial (POT)*. Obtenido de <https://scp.gob.gt/inicio/pot/>
26. Municipalidad de Santa Catarina Pinula. (2022). *Estructura organica 2022*. Obtenido de <https://scp.gob.gt/inicio/organigrama/>
27. Naciones Unidas. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El valor del agua*. París, Francia: UNESCO.
28. Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española, 23a. Ed.* Obtenido de <https://dle.rae.es/impacto>
29. Rogríguez-Rojas, M. I. (2017). *Guía para la integración de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en el Proyecto Urbano*. Granada: Editorial Universidad de Granada.
30. Sauto, J. S. (2020). *La recarga gestionada de acuíferos en España: previsiones en materia de planificación y gobernanza en el corto plazo*. España: CONAMA.
31. Shamsi, U. M. (2005). *GIS applications for water, wastewater, and stormwater systems*. Florida: CRC Press.
32. Sistema Nacional de Planificación (SNP). (2020). *Sistema Nacional de Planificación*. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia SEGEPLAN.
33. Tucci, C. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*. Brasil: Secretaria de la OMM.
34. UICN. (2020). *Orientación para usar el Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza*. (Primera ed.). Gland, Suiza: UICN.

## 9.1 Leyes, normativas y acuerdos gubernativos

35. Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 20-2022. (2022, 8 julio). Acta Municipal 20-2022. *Reglamento de observancia general: Plan de ordenamiento territorial del municipio de Santa Catarina Pinula*. Diario de Centro América.
36. Acta del Concejo Municipal de Santa Catarina Pinula 12-2021. (2021, 10 marzo). Acta Municipal 12-2021. *Reglamento del servicio de agua a cargo de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula del departamento de Guatemala*. Diario de Centro América.
37. Acuerdo Gubernativo del presidente de la República de Guatemala 179-2001. (2001, 16 mayo). Acuerdo Gubernativo Número 179-2001. *Declaratoria de sectores de alto riesgo de las cuencas de Amatitlán, Villalobos y Michatoya*.
38. Acuerdo Gubernativo del presidente de la República de Guatemala 265-2004. (2004, 21 septiembre). Acuerdo Gubernativo Número 265-2004. *Declaratoria de sector de alto riesgo terreno adyacente al Acueducto Nacional*.
39. Acuerdo Gubernativo del presidente de la República de Guatemala 236-2006. (2006, 5 mayo). Acuerdo Gubernativo Número 236-2006. *Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas residuales y de la Disposición de Lodos*.
40. Constitución Política de la República de Guatemala [Const.] (1985, 3 junio). *Constitución Política de la República de Guatemala*. Reformada por acuerdo legislativo 18-93 del 17 de noviembre de 1993. (Guatemala).
41. Decreto del Congreso de la República de Guatemala 11-2002. (2002, 15 abril). Decreto Número 11-2002. *Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural*.
42. Decreto del Congreso de la República de Guatemala 12-2002. (2002, 13 mayo). Decreto Número 12-2002. *Código Municipal*.



43. Decreto del Congreso de la República de Guatemala 14-2002. (2002, 13 mayo). Decreto Número 14-2002. *Ley General de Descentralización*.
44. Decreto del Congreso de la República de Guatemala 1-87. (1987, 17 febrero). Decreto Número 1-87. *Ley de Servicio Municipal*.
45. Decreto del Congreso de la República de Guatemala 2-2015. (2015, 27 octubre). Decreto Número 2-2015. *Ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala -PROBOSQUE-*.
46. Decreto del Congreso de la República de Guatemala 51-2010. (2010, 17 diciembre). Decreto Número 68-86. *Ley de Incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal -PINPEP-*. Diario de Centro América
47. Decreto del Congreso de la República de Guatemala 68-86. (1986, 19 diciembre). Decreto Número 68-86. *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*.
48. Decreto del Congreso de la República de Guatemala 90-97. (1997, 7 noviembre). Decreto Número 90-97. *Código de Salud*.

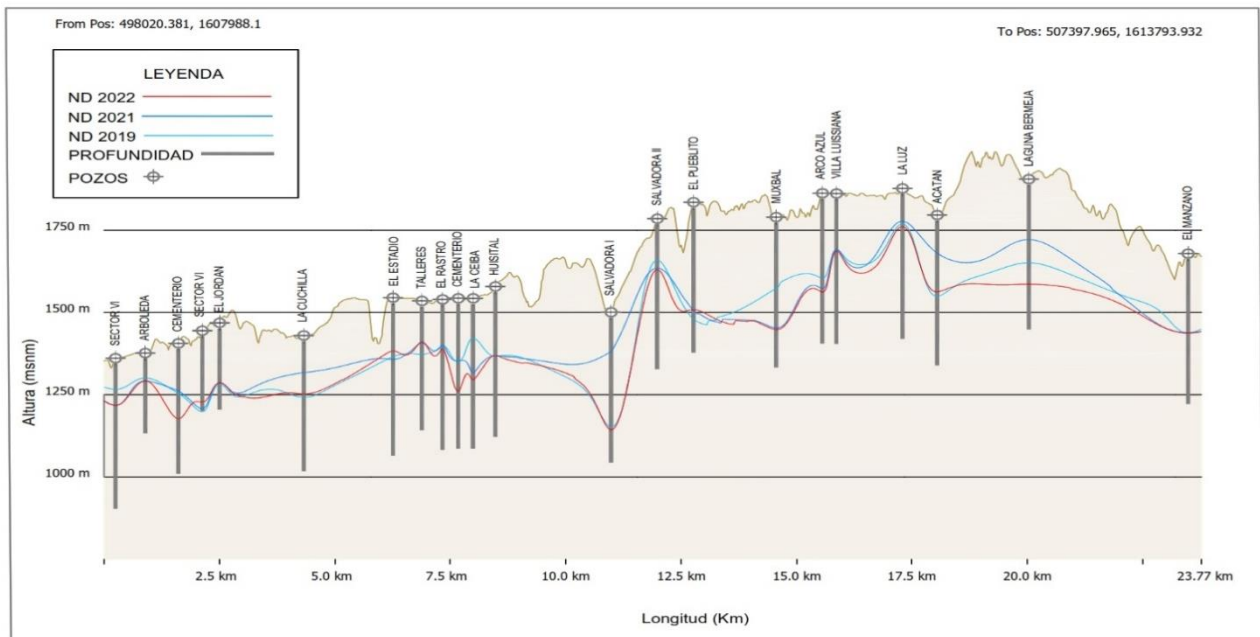
# ANEXOS

## Anexo 1

### Otros resultados

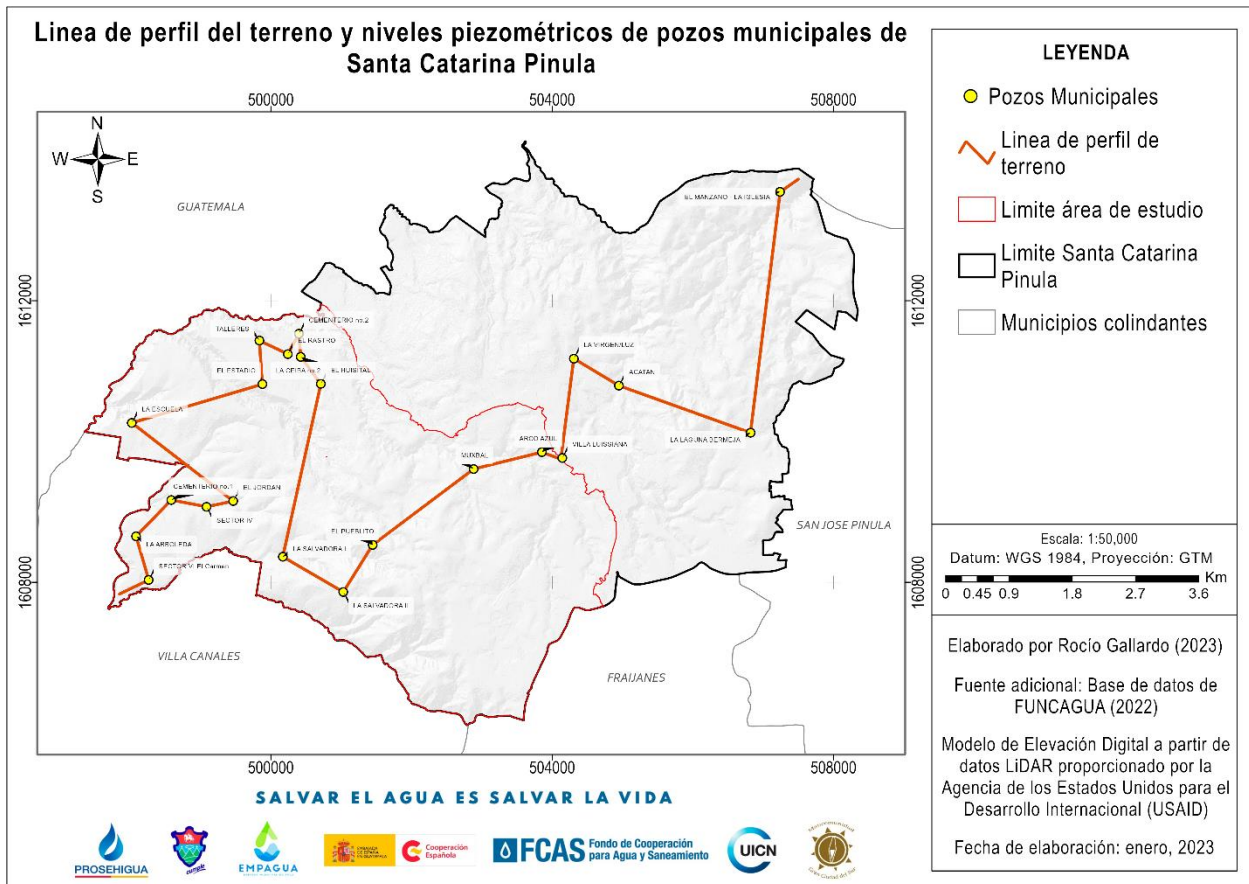
Se presentan otros resultados generados en la presente práctica profesional, estos fueron generados en todo el territorio de Santa Catarina Pinula fuera de la delimitación geográfica del área de estudio.

**Figura 25.** Perfil de los Niveles Piezométricos de los pozos municipales de Santa Catarina Pinula en los años 2019, 2021 y 2022.



Fuente: Elaboración propia con base de datos de FUNCAGUA (2019 - 2022).

**Figura 26. Línea de Perfil del terreno y Niveles Piezométricos de los pozos municipales**



## Anexo 2


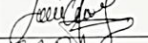

### Presentación de resultados con actores de UICN y MGCS

Medios de verificación de los espacios de participación y socialización realizados con actores técnicos de las instituciones en cooperación, en dónde se presentan fotografías y el listado de participantes.

**Figura 27.** Listado de participantes de la primera reunión de validación de resultados.

**Listado de participantes**

**Nombre de la actividad:** Reunión de presentación de resultados.  
**Lugar y Fecha:** Oficinas UICN, 14 de octubre de 2022.  
**Hora:** 2:00 p.m.

No.	Nombre	Dependencia	Rol	Firma
1	Jerson Quevedo	UICN-VRI	Asesor	
2	Lucía García	UICN	Coordinadora Proyecto	
3	Guillermo Petzays	UICN	Especialista SIG	
4				
5				

**Figura 28.** Fotografía de validación de resultados con personal técnico de UICN.



### Anexo 3

#### Taller participativo con actores municipales de SCP

Medios de verificación del primer espacio participativo y socialización de resultados con actores municipales de Santa Catarina Pinula, en dónde se presentan fotografías y el listado de participantes.


**Figura 29.** Listado de participantes del taller participativo con actores municipales.

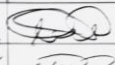






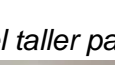
Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala

Taller/Reunión: Taller Participativo

Lugar: Municipalidad de Santa Catarina Pinula

Fecha: 30 de Noviembre de 2022.



No.	Nombre	Género		Institución	Cargo	Teléfono	Correo electrónico	Firma
		M	F					
	Lea Miguel Lopez	X		MUNI SCP	Profesional DUT	58243771	llopez@scp.gob.gt	
	Mauro Tecun	X		MGCS	Profesional CAG	30037992	mauro.tecun@mgcs.gub.gt	
	JENNIFER REYES		X	MUNI SCP	Jefe Planeación	30587449	jreyes@scp.gob.gt	
	Jorge Izquierdo	Y		MdSCP	JEFE Monitoreo	33663836	jmdominguez@scp.gob.gt	
	CHRISTIAN LINTZ	X		DMP SCP	Tecnico Municipalidad	30021057	clintz@scp.gob.gt	
	Osberto Flores	X		Licencias/Const. Muni Sta Cat. Pin.	Profesional eval. exp	56303769	oflores@scp.gob.gt	
	Rolfo Simoes	X		UCN	Asesorare tecnico	41383639	rolfo.simoes@ucn.org	
	Lucía Granich	X		UCN	Especialista Program	30417779	lucia.granich@ucn.org	

**Figura 30.** Fotografía de presentación y resolución de comentarios en el taller participativo.



## Anexo 4

### Mapeo participativo con actores municipales de SCP

Medios de verificación de la segunda presentación de resultados y mapeo participativo realizado con actores municipales de Santa Catarina Pinula, en donde se presentan fotografías y el listado de participantes.

**Figura 31. Listado de participantes de la presentación de resultados y mapeo participativo.**

Taller/Reunión: Taller Presentación Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala  
 Lugar: Sala Consejo Municipal SCP - Jusinos - 10200 - P.O. Box 10200 - P.O. Box 10200 - P.O. Box 10200  
 Fecha: 05/11/22

**PROSEHIGUA**

No.	Nombre	Género		Institución	Cargo	Teléfono	Correo electrónico	Firma
		M	F					
	FRANKLIN KEVIN HERNANDEZ	X		Muni STA CAT. PINULA	Aux AMBIENTE	4637 8377	fxhernandez@scopob.gt	
	Lesther Daniel Soto Istury	X		Muni Santa Catarina Pinula	Aux Proyectos Verdes	35753204	lestherdaniel@outlook.com	
	Antonio Carlos Morales	X		Muni Santa Catarina Pinula	Técnico Proyectos Verdes	4214 5610	acmorales@gmail.com	
	Mary C. Morales		X	Muni SCP	Jefe Ambiente	37836831 55887170	mc.morales@scopob.gt	
	Dennis Gómez	X		Muni Sta. Cat. Pinula	Aux	56031403	dgomez@scopob.gt	
	Miguel López	X		Muni SCP	Técnico Proyectos Verdes	5532 2701	mlopez@scopob.gt	
	Oscar Calderón	X		Muni SCP	Técnico Proyectos Verdes	5532 2701	oc Calderon@scopob.gt	
	José Daniel Figueroa	X		Municipalidad de Santa Catarina Pinula	Técnico de Gestión del Riesgo	44458894	jfigueroa@scopob.gt	
	Mario Tezen Pizarro	X		MGCS	Profesional SIG	50057042	mario.tezen@municipalidadscopob.gt	
	Constantino Rojas	X		Muni Sta. Cat. Pinula	Técnico CIR	51323555	croyas@scopob.gt	

La UICN y sus socios podrán publicar las imágenes fijas, audiovisuales y audios que sean grabados durante este evento para publicaciones en sus medios de comunicación y redes sociales con fines estrictamente divulgativos e institucionales, nunca con fines comerciales.  
 Debido al carácter público de esta actividad, las fotografías, videos y audios de entrevistas y presentaciones podrán ser publicados por terceros en web institucionales, redes sociales, medios de...

**Figura 32. Fotografía de presentación de resultados y mapeo participativo.**



**Figura 33.** Mesa de trabajo 1. Departamento de Medio Ambiente.



**Figura 34.** Mesa de trabajo 2. Dirección Municipal de Planificación: Gestión Integral del Riesgo.



**Figura 35.** Mesa de trabajo 3. Dirección de Agua y Saneamiento.



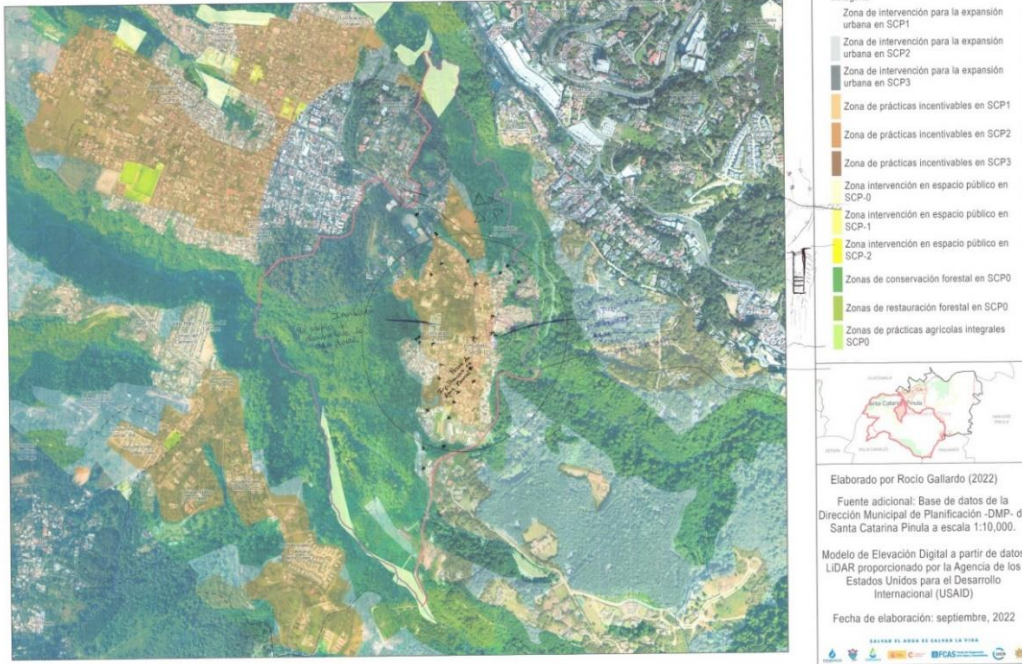
**Figura 36.** Mesa de trabajo 4. Dirección Municipal de Planificación: Planificación y Diseño.





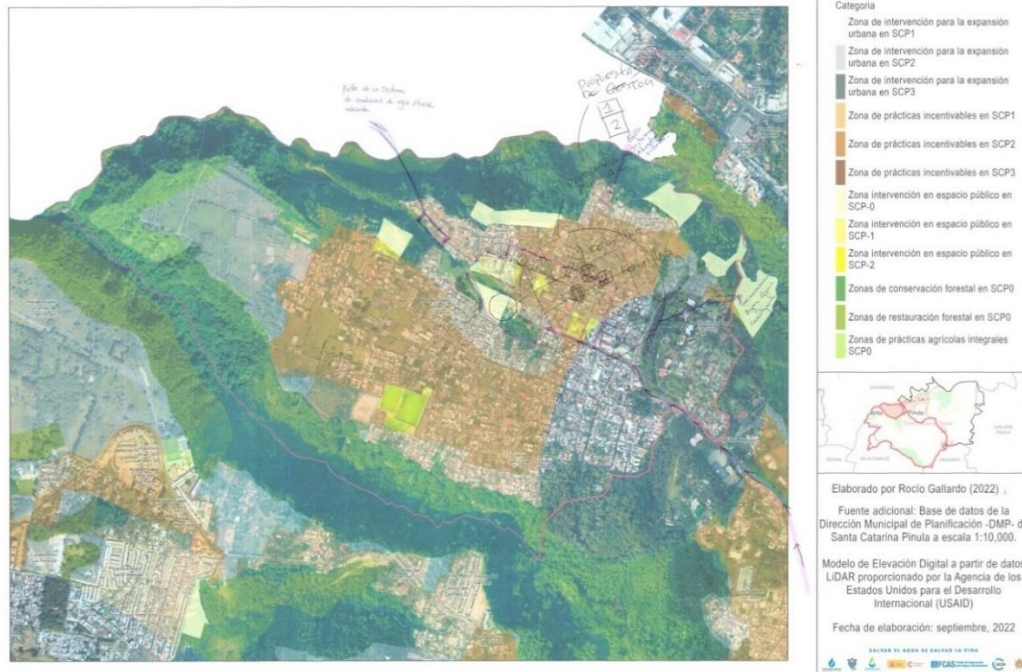
**Figura 37. Resultado del mapeo participativo, El Pueblito.**

Primera zonificación para la gestión de zonas potenciales de recarga hídrica (El Pueblito)



**Figura 38. Resultado del mapeo participativo, Cabecera Municipal.**

Primera zonificación para la gestión de zonas potenciales de recarga hídrica (Cabecera Municipal)



## Anexo 5

### Presentación final de resultados

Medios de verificación de la presentación final de resultados hacia actores municipales de Santa Catarina Pinula, con apoyo del equipo de UICN y MGCS, en dónde se presentan fotografías y el listado de participantes.

Figura 39. Listado de participantes de la presentación final de resultados 1/2.

Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala  
 Taller/Reunión: Presentación Final de Resultados de los Pueblos Comunes.  
 Lugar: Santa Catarina Pinula  
 Fecha: 17/01/2013

**PROSEHIGUA**

No.	Nombre	Género		Institución	Cargo	Teléfono	Correo electrónico	Firma
		M	F					
	José Manuel López	X		MUNI SCP	Asesor comunicación UICN	5020 2741	jlopez@scp.gob.gt	[Firma]
	Pablo Santos	X		UICN	Asesor Técnico	5020 2659	Pablo.Santos@uicn.org	[Firma]
	Luz Carolina G.		X	UICN	Coordinadora Higro	5020 7779	luzcarolina@uicn.org	[Firma]
	Jonny Avila H.	X		Muni SCP	Asesor	5020 0581	javila@scp.gob.gt	[Firma]
	Christian Guio	X		Muni SCP	Asesor	5020 4977	chguio@scp.gob.gt	[Firma]
	Mila Raquel Méndez Ovalle		X	Municipalidad Santa Catarina Pinula	Profesional en Planificación Técnica	5025 0852	mmendez@scp.gob.gt	[Firma]
	Oscar René Gómez R.	X		Muni S.C.P.	Técnico Lic. en Ingeniería	5025 3738	orgomez@scp.gob.gt	[Firma]
	Isabel Elizabeth Chila P.		X	Muni SCP	Asesor Comun. Ambiental	5022 2291	ichila@scp.gob.gt	[Firma]
	Francisco Alvarado B.		F	Municipalidad SCP	Asesor Técnico Ambiental	5025 5025	Falvarado@scp.gob.gt	[Firma]
	Mario Tezcu	X		MGSC	Profesional SIG	3005 7472	mtezcu@mgsc.gob.gt	[Firma]

La UICN y sus socios podrán publicar las imágenes fijas, audiovisuales y audios que sean grabados durante este evento para publicaciones en sus medios de comunicación y redes sociales con fines estrictamente divulgativos e institucionales, nunca con fines comerciales.  
 Debido al carácter público de esta actividad, las fotografías, videos y audios de entrevistas y presentaciones podrán ser publicadas por terceros en web institucionales, redes sociales, medios de comunicación impresos, electrónicos y audiovisuales, no representando así responsabilidad de su uso para la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) y sus socios.

Figura 40. Listado de participantes de la presentación final de resultados 2/2.

Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala  
 Taller/Reunión:  
 Lugar:  
 Fecha:

**PROSEHIGUA**

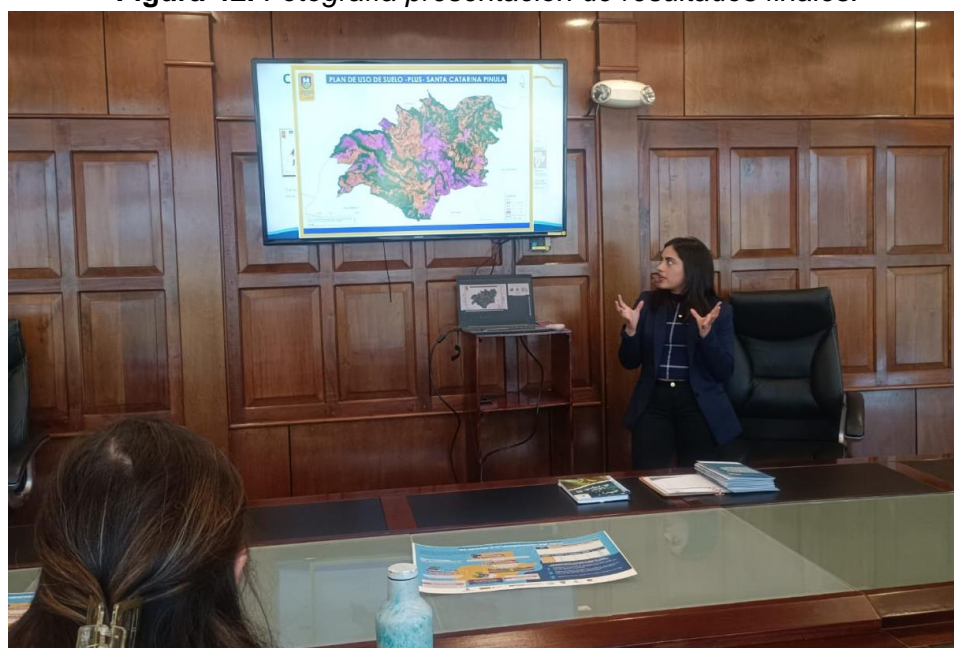
No.	Nombre	Género		Institución	Cargo	Teléfono	Correo electrónico	Firma
		M	F					
	César Mingüía	X		Muni Sep.	Asesor Técnico	5025 4250	Cminguia@scp.gob.gt	[Firma]
	Osberto Flores	X		Muni S.C.P.	Técnico de Evaluación	5020 3767	oflores@scp.gob.gt	[Firma]
	Ana Rocío Gallardo Cano		X	Pasante UICN	Pasante en Evaluación Ambiental	3033 8132	arocciogallardo@mgsc.com	[Firma]

La UICN y sus socios podrán publicar las imágenes fijas, audiovisuales y audios que sean grabados durante este evento para publicaciones en sus medios de comunicación y redes sociales con fines estrictamente divulgativos e institucionales, nunca con fines comerciales.  
 Debido al carácter público de esta actividad, las fotografías, videos y audios de entrevistas y presentaciones podrán ser publicadas por terceros en web institucionales, redes sociales, medios de comunicación impresos, electrónicos y audiovisuales, no representando así responsabilidad de su uso para la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) y sus socios.

**Figura 41. Fotografía presentación de resultados finales.**



**Figura 42. Fotografía presentación de resultados finales.**



**Figura 43.** *Fotografía de participantes en la presentación de resultados finales con apoyo del equipo de UICN y MGCS.*

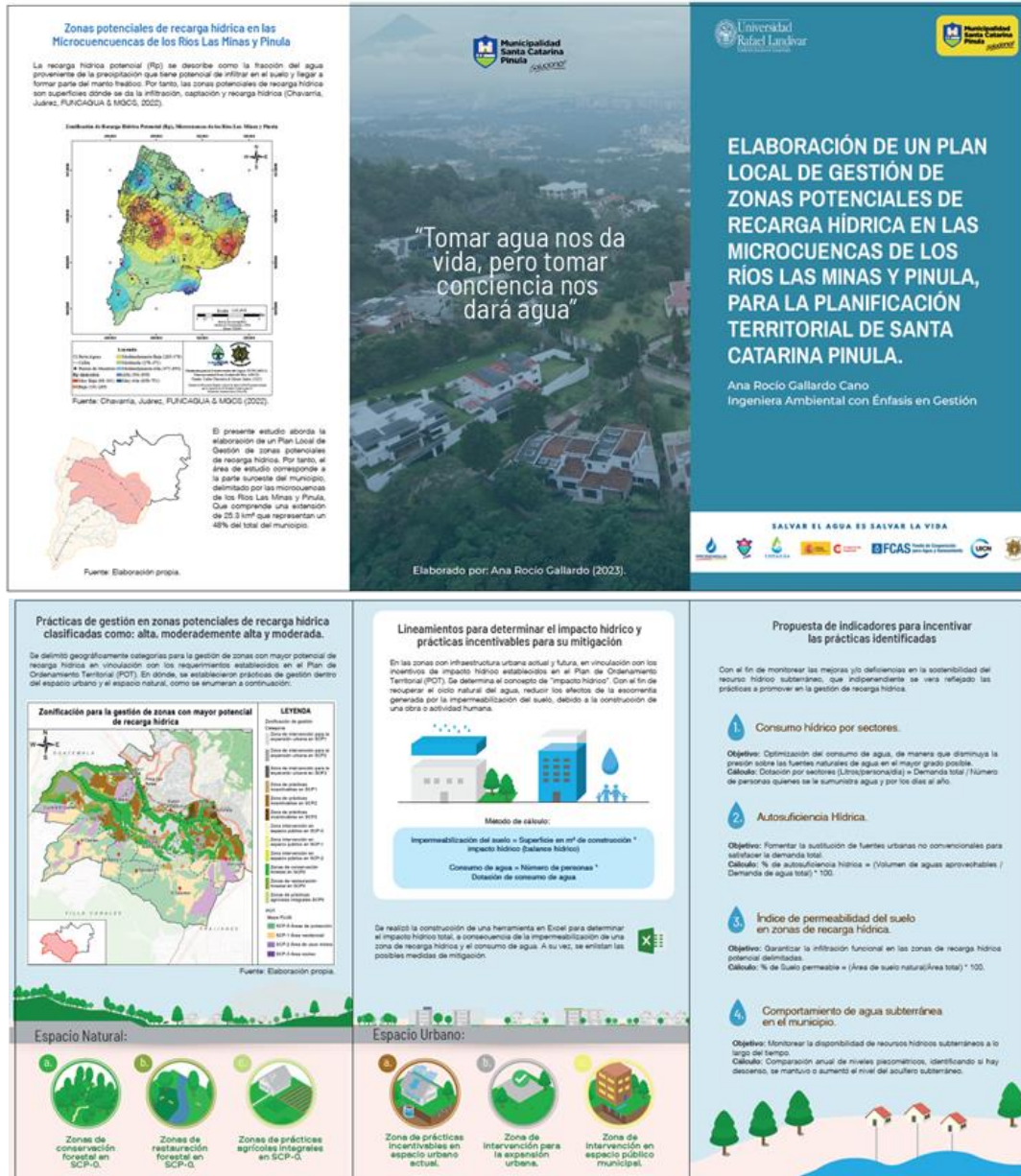


## Anexo 6

### Infografía

Material realizado para actores municipales de Santa Catarina Pinula que sintetizan los resultados obtenidos en la práctica profesional. Con el motivo de agradecer su participación durante el proceso, y especialmente divulgar la información generada hacia actores importantes.

**Figura 44.** Infografía que resume los resultados de la presente práctica profesional.



**Figura 45. Entrega de infografías a actores municipales.**



**Figura 46. Fotografía de infografía.**

